

Métodos psicofísicos y teoría de la detección de señales

PERCEPCIÓN VISUAL

Tema 4

Profesora María Cinta Puell

Grado Óptica y Optometría

Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

Índice

- Introducción a la psicofísica: umbrales y funciones psicométricas
- Métodos psicofísicos
- Teoría de la detección de señales y curva ROC

¿Qué es la psicofísica?

- El estudio de la relación entre los **estímulos físicos** y la **sensación o percepción**.
- Los estímulos físicos se pueden medir pero su percepción, que es subjetiva, es difícil de medir.
- Herramientas
 - Variables independientes: luz, sonido....
 - Variables dependientes: respuestas de comportamiento como vocalizaciones (si lo veo) o pulsar botones.

¿Para qué se puede usar la psicofísica?

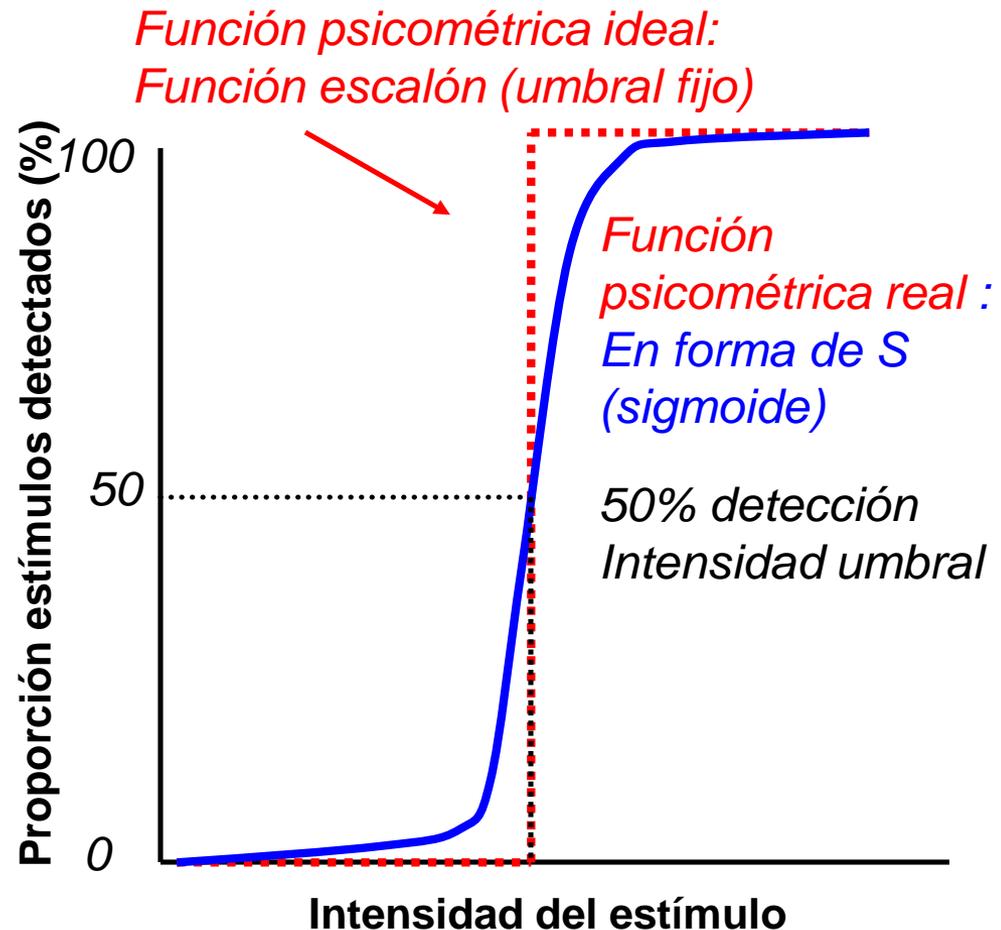
- Sistema sensorial
 - Límites sensoriales de la visión, el oído, el tacto ...
 - Inferencia de mecanismos neuronales (por ejemplo, ilusiones, post-imágenes)
- Percepción
 - Percepción de la velocidad, movimiento ...
 - Atención
 - Herramienta de diagnóstico (pruebas de visión...)
 - Herramienta de evaluación (eficacia terapéutica...)

Concepto de umbral

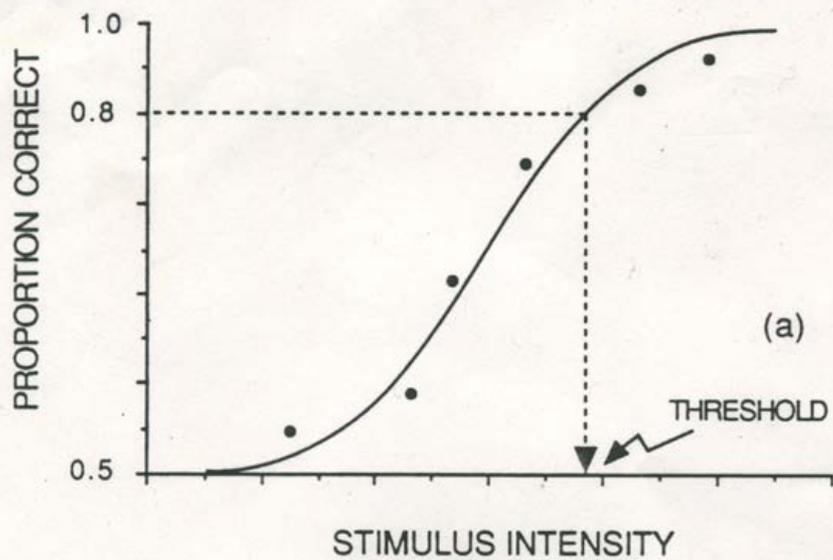
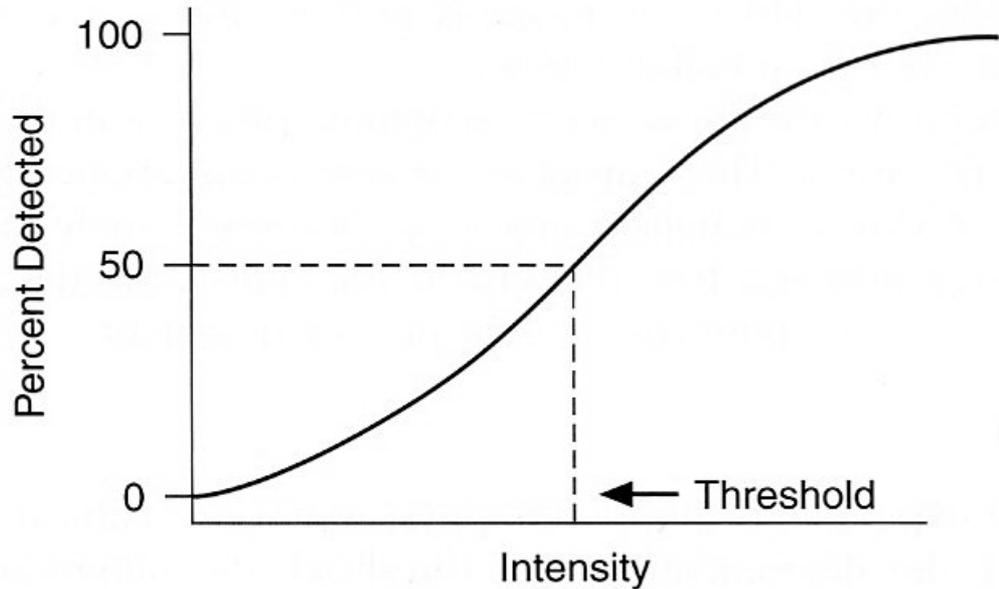
- **Umbral de detección:** la intensidad más débil detectable en un estímulo que produce una percepción sensorial
 - Umbral visual (luz detectable más débil): ¡cerca de 10 fotones!
 - Umbral de sonido (vibración de aire detectable más débil)
- **Umbral de discriminación o diferencia:** la menor diferencia detectable entre dos estímulos que produce una diferencia perceptiva
 - La menor diferencia detectable en la orientación de dos líneas.
 - La menor diferencia de color correspondiente a un cambio de categoría de color
- Los umbrales se pueden medir cuantitativamente

Umbrales y funciones psicométricas

- **Función psicométrica:** gráfico de la proporción de estímulos detectados frente a la intensidad del estímulo.
- **Función psicométrica ideal:** siempre 100% por encima del umbral, siempre 0% por debajo del umbral - función escalonada
- ¿Por qué la función psicométrica real no es una función escalonada?
Por el ruido



Función psicométrica



Métodos psicofísicos

- Método de los ajustes
- Método de los límites
- Método de los estímulos constantes
- Métodos adaptativos: escaleras
- Procedimientos de elección forzada

Método de los ajustes

- El sujeto controla la intensidad del estímulo.
- El sujeto ajusta la intensidad del estímulo (o la diferencia entre dos estímulos) hasta que
 - puede casi detectar (visible) o
 - discriminar el estímulo
- Esta intensidad de estímulo (o diferencia) es el umbral.

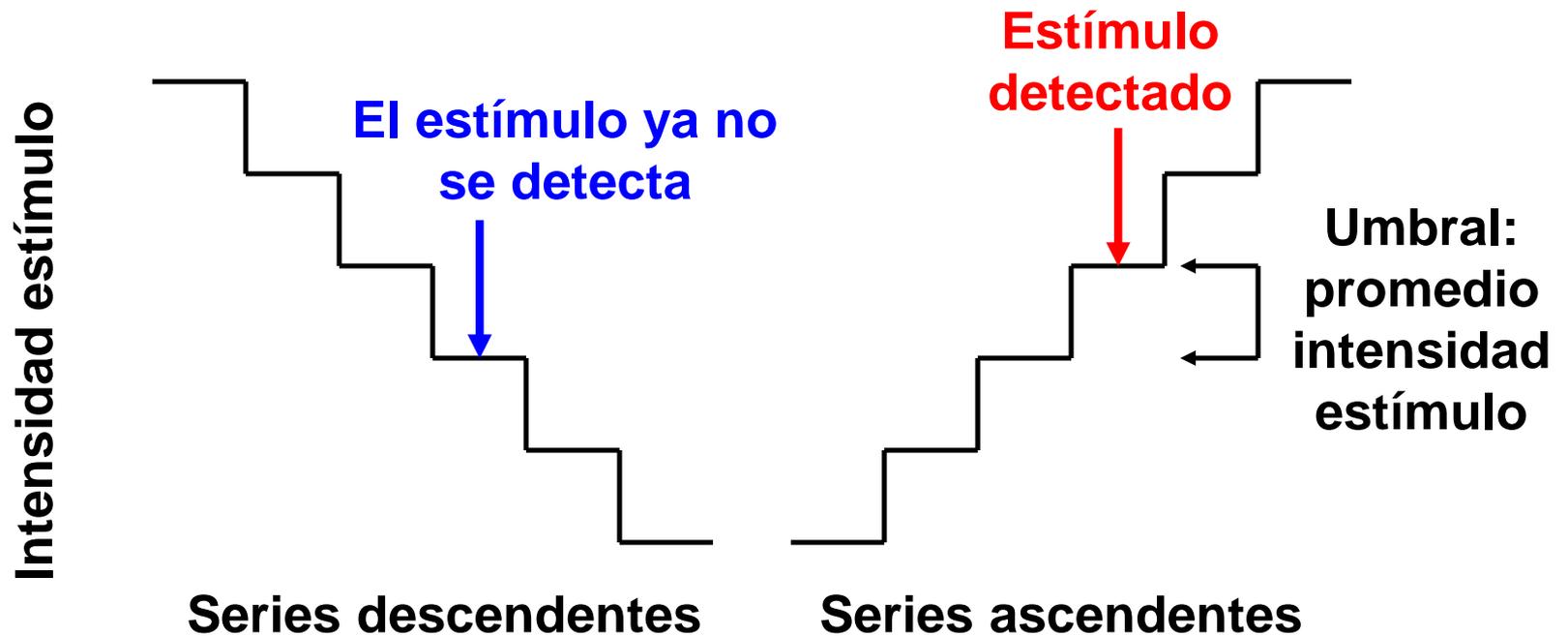
Método de los límites

- La intensidad del estímulo (una cantidad fija) gradualmente se:
 - Incrementa (Serie Ascendente)
 - Disminuye (Serie Descendente)
- El sujeto indica en cada prueba (en cada presentación) si el estímulo fue "visto" o "no visto"
- (o sentido, oído, u olido, etc.)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Intensity	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
103	Y		Y		Y		Y	
102	Y		Y		Y		Y	
101	Y		Y		Y		Y	Y
100	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y
99	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y
98	N	N	Y	N	N	N	N	Y
97		N	N	N		N		N
96		N		N		N		N
95		N		N		N		N
Crossover values →	98.5	99.5	97.5	99.5	98.5	98.5	98.5	97.5

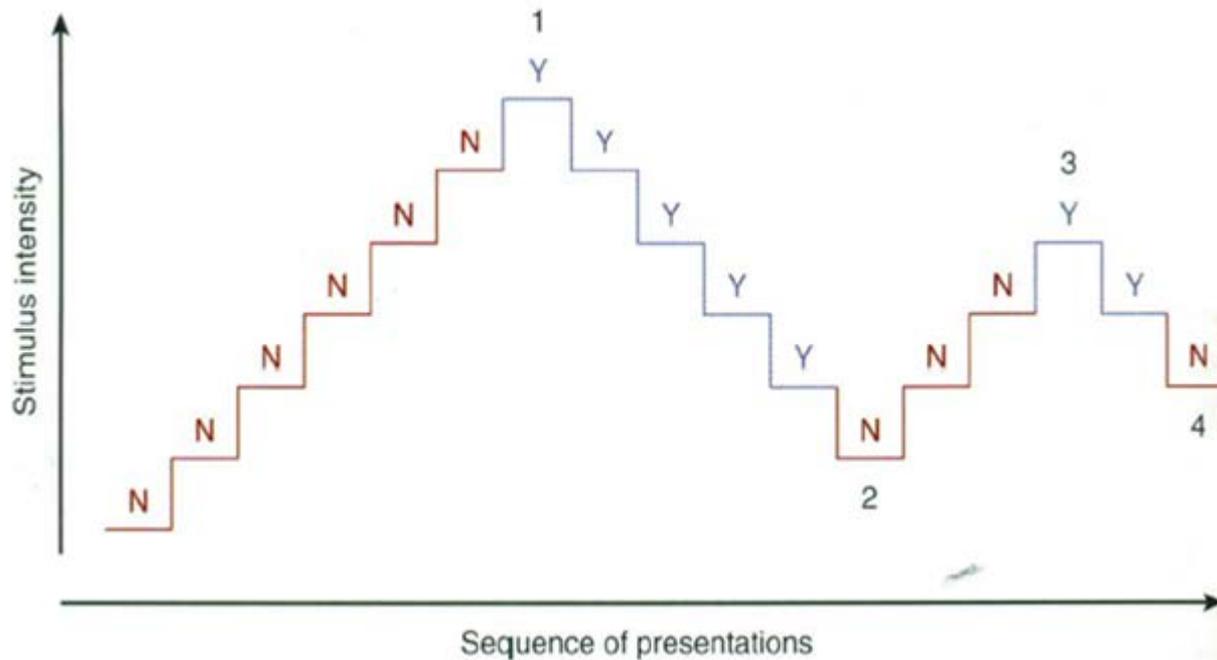
Umbral: media de los cruces = 98.5

Método de los límites



Métodos adaptativos: escaleras

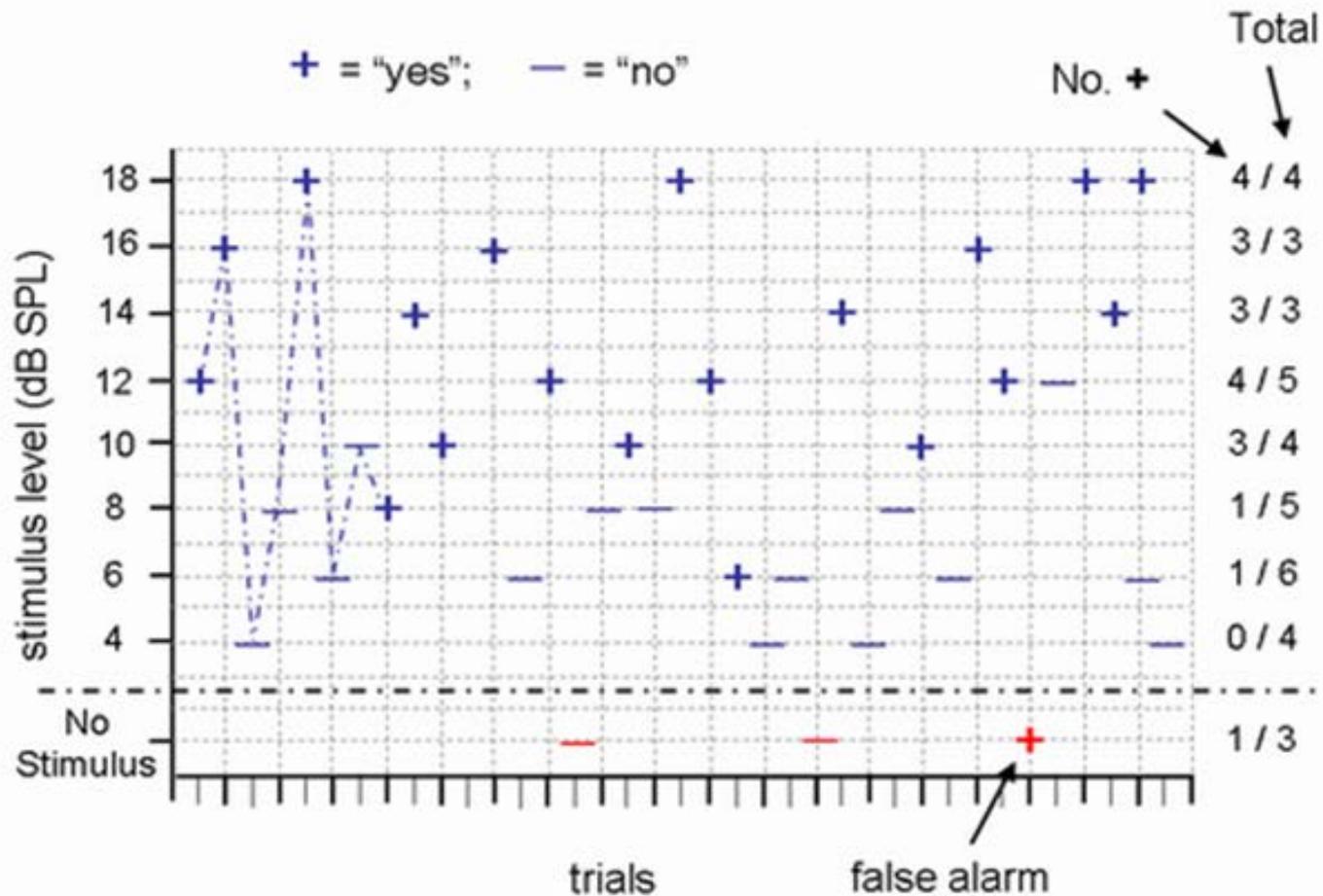
- Similar al método de los límites, pero las series cambian de dirección siempre que la decisión cambia.



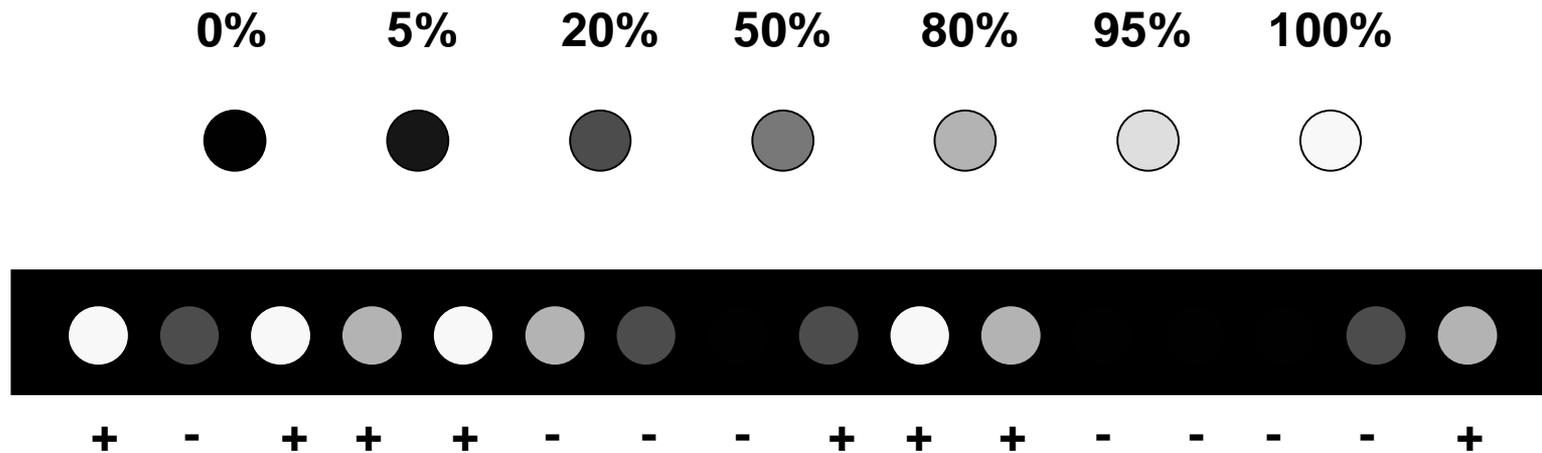
Método de escalera para determinación del umbral. La intensidad del estímulo se incrementa desde no visto (N) hasta visto (Y). Una inversión ocurre en el punto 1 y a continuación la intensidad disminuye hasta que ocurre otra inversión en el punto 2. El umbral puede ser, por ejemplo, la intensidad de la inversión 4.

Método de los estímulos constantes

- Los estímulos con niveles de **intensidad fijos** se presentan muchas veces en orden aleatorio
- Los sujetos dicen si el estímulo se ve (+) o no se ve (-)

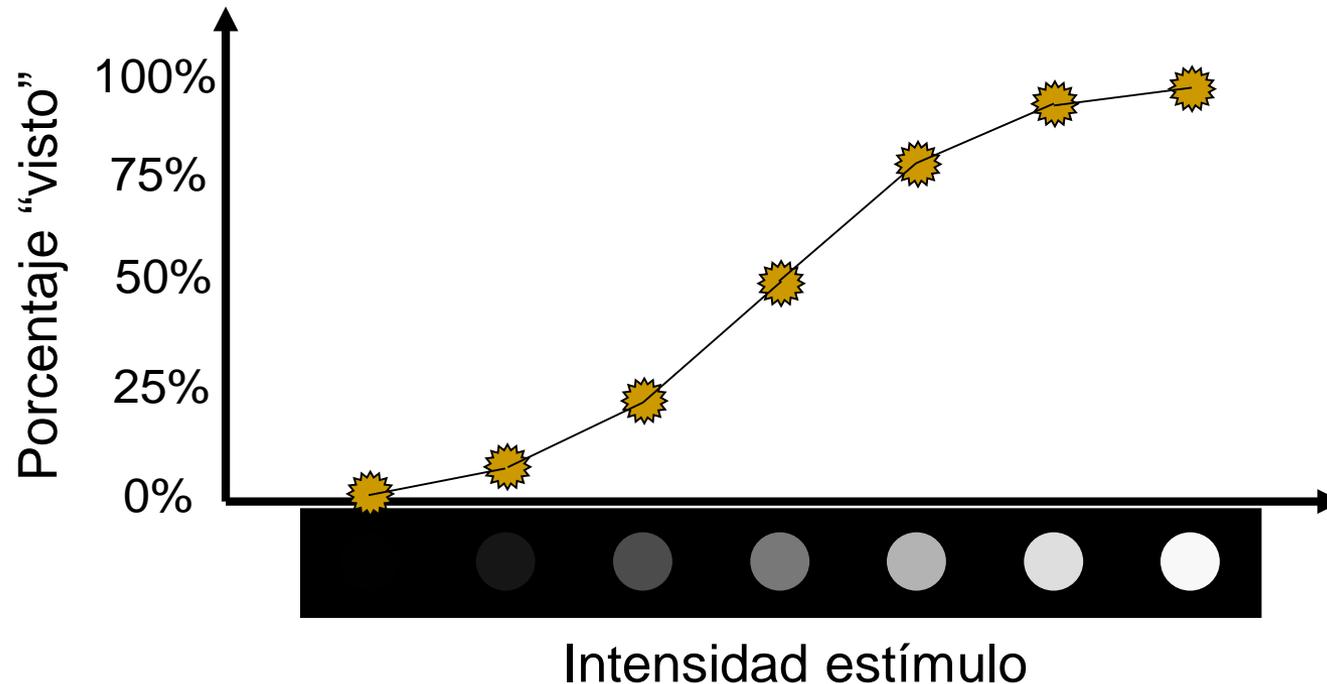


Método de estímulos constantes para medir umbrales absolutos



Se calcula la proporción de respuestas “sí” y “no” en cada nivel de luz

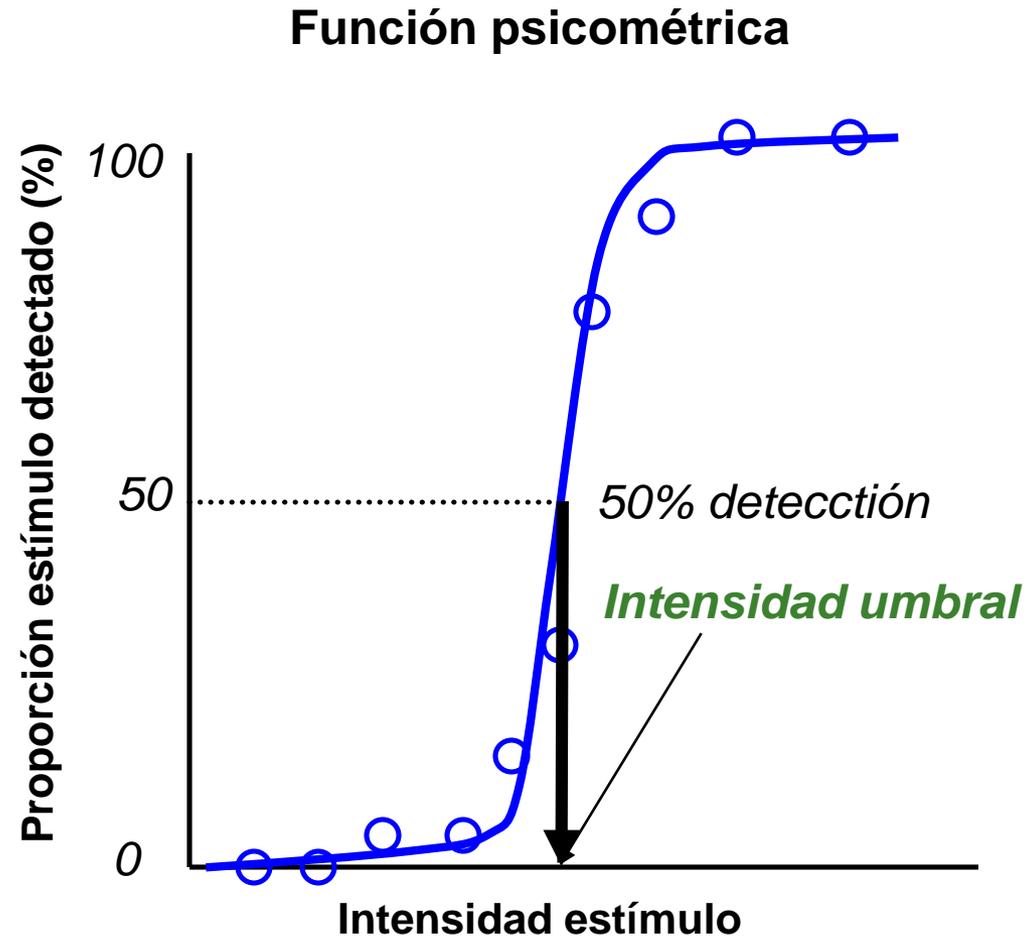
Método de estímulos constantes para medir umbrales absolutos



Los % de respuestas (visto) se representan en función de la intensidad del estímulo → **función psicométrica**

Método de los estímulos constantes

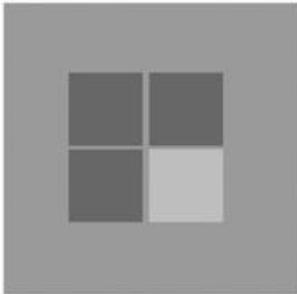
- Para cada nivel de intensidad de estímulo, calcular y representar la proporción de estímulos detectados
- Ajustar la función psicométrica (sigmoide) a los datos.
- El umbral es la intensidad del estímulo en el punto de inflexión (medio de la curva) entre la detección por azar y la detección del 100%



Procedimientos de elección forzada (FC)

- Se presentan dos o más alternativas:
 - 2AFC (two-alternative forced choice)
 - 4AFC (four-alternative forced choice)
 - Se debe seleccionar un estímulo aunque no se vea claramente.

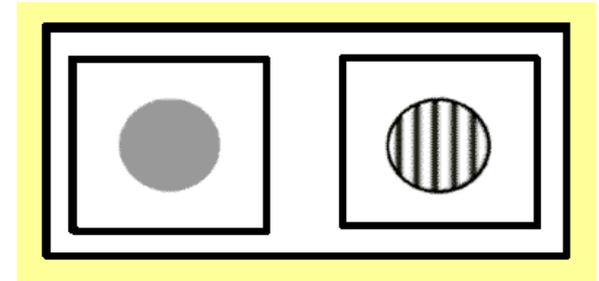
4AFC



La elección se codifica como:
"Correcto" o "incorrecto"

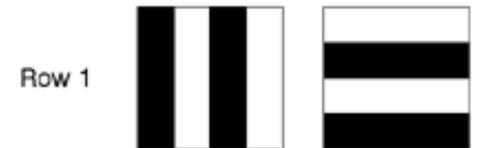
- Las alternativas se pueden presentar:
 - simultáneamente (elección forzada espacial)
 - secuencialmente (elección forzada temporal)

2AFC



Resolution Acuity Chart

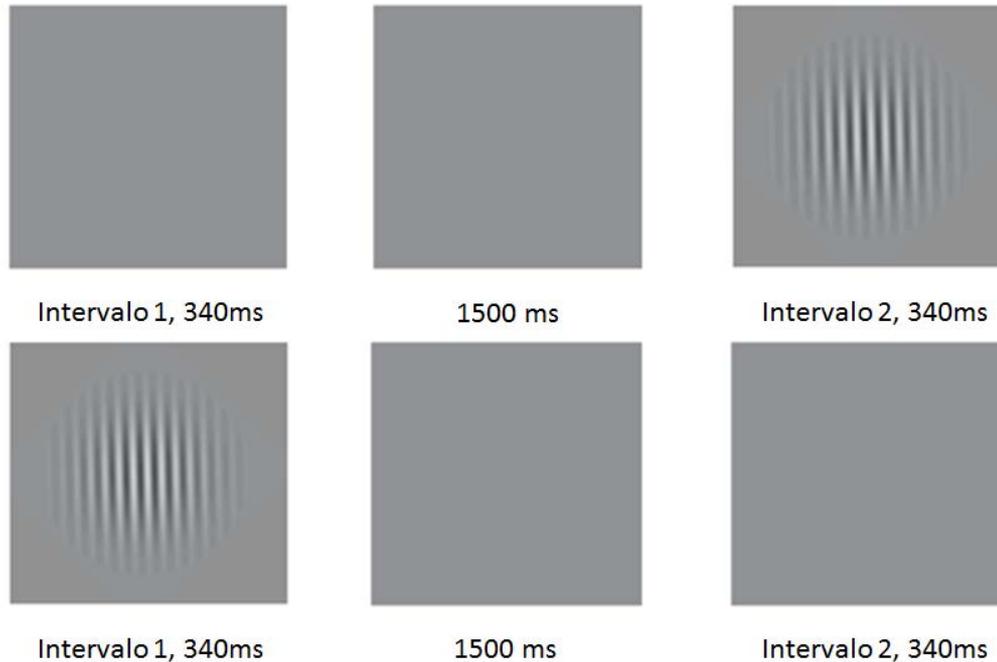
Are horizontal stripes on left or right side?



Endpoint=Minimum Angle of Resolution (MAR)

Procedimientos de elección forzada (FC)

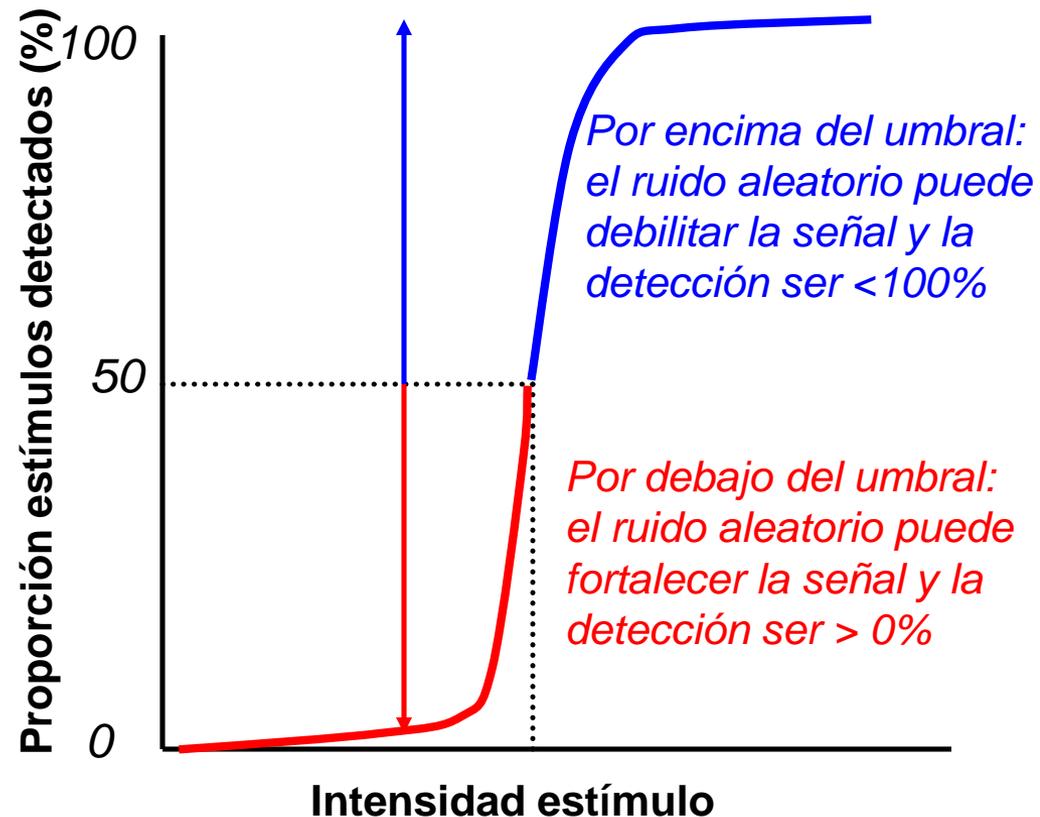
2AFC: elección forzada temporal



¿En cuál de los intervalos aparece el estímulo?
¿Es en el primero o en el segundo intervalo?

El efecto del ruido sobre la función psicométrica

- La detección de estímulos siempre está sujeta a ruido:
 - *neuronal*
 - *estímulo (físico)*
 - *atención*
 - *Tipo de respuesta*
- El ruido aumentará o disminuirá aleatoriamente la intensidad de la señal percibida
Ej: señal de WhatsApp
- El sujeto percibe ***señal + ruido***



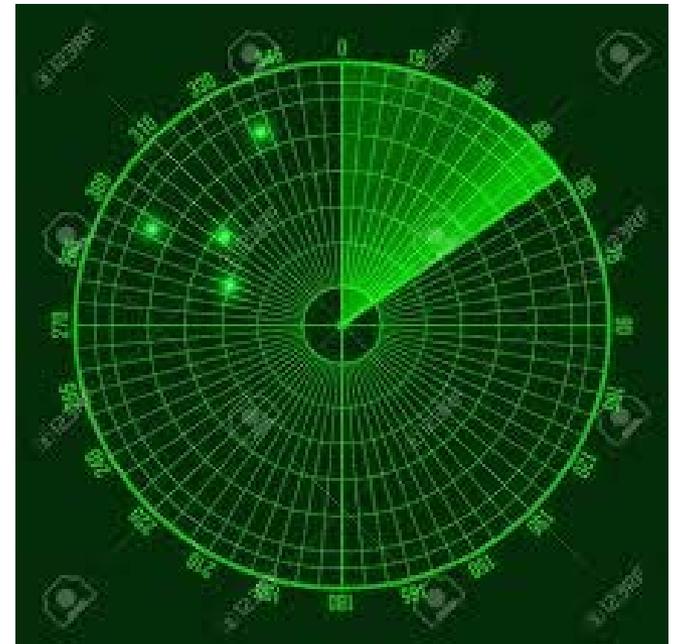
Detección de estímulos en presencia de ruido: Teoría de la detección de señales (TDS)

- ¿Cómo se **detectan o discriminan los estímulos** respecto al **ruido de fondo**?
- Como tomar decisiones
 - en situaciones de incertidumbre.
 - decisiones óptimas a partir de datos ambiguos.
 - buenas decisiones a partir de mala información
- La TDS explica
 - ¿Por qué la forma de la función psicométrica varía con el ruido?
 - cómo el criterio de un sujeto (sesgo de respuesta) afecta a las decisiones y cómo medirlo
- La TDS permite medir la sensibilidad (capacidad de dar respuestas o tomar decisiones correctas) independientemente del criterio / sesgo

Origen de la TDS: operador de radar de la Segunda Guerra Mundial

- Tarea: avisar de la aparición de aviones
- ¿Son las manchas aviones enemigos?
¿O es simplemente ruido (p.ej, nubes)?
- La decisión depende del **criterio subjetivo**: cómo de grandes deben ser las manchas para que sea un avión
- La decisión tiene consecuencias:
 - Si pierdes un avión podría morir gente
 - Si confundes el ruido con un avión se desperdicia combustible, mano de obra y recursos.

Pantalla de radar



Resultados de la toma de decisión y sus consecuencias

DECISIÓN

¿Debes alertar a la fuerza aérea?

Sí

No

SEÑAL

Sí

¿Son los puntos verdaderos aviones enemigos?

No

Acierto	Fallo
Falsa alarma	Rechazo correcto

La decisión depende del criterio

■ Criterio laxo

- Alerta por cada mancha o punto: te aseguras de no fallar nunca, pero hay **muchas alarmas falsas**

■ Criterio estricto

- Alerta solo de manchas realmente grandes: no hay falsas alarmas, pero hay **muchos fallos o pérdidas**

■ ¿Qué criterio es el “mejor” u óptimo? Depende de:

- Los costes de cometer errores ...
- que errores son aceptables ...
- pero también de lo buena que es tu información (incertidumbre)

TDS en Campimetría

- La perimetría utiliza conceptos de la TDS como:
ruido, señal, señal+ruido y criterio
- El estímulo debe ser detectado contra un fondo ruidoso
- El individuo tiene su propio **criterio** de respuesta.



TDS en Campimetría

- La sensibilidad en el campo visual según la TDS depende de:
 - a) de la intensidad de la señal
 - b) de la sensibilidad local del observador, influenciada por el ruido y la atención
 - c) del criterio adoptado por el observador, determinado por sus motivaciones y expectativas.
- Cambios en el criterio de respuesta durante o entre las perimetrías pueden influir en los umbrales obtenidos.

Matriz de resultados

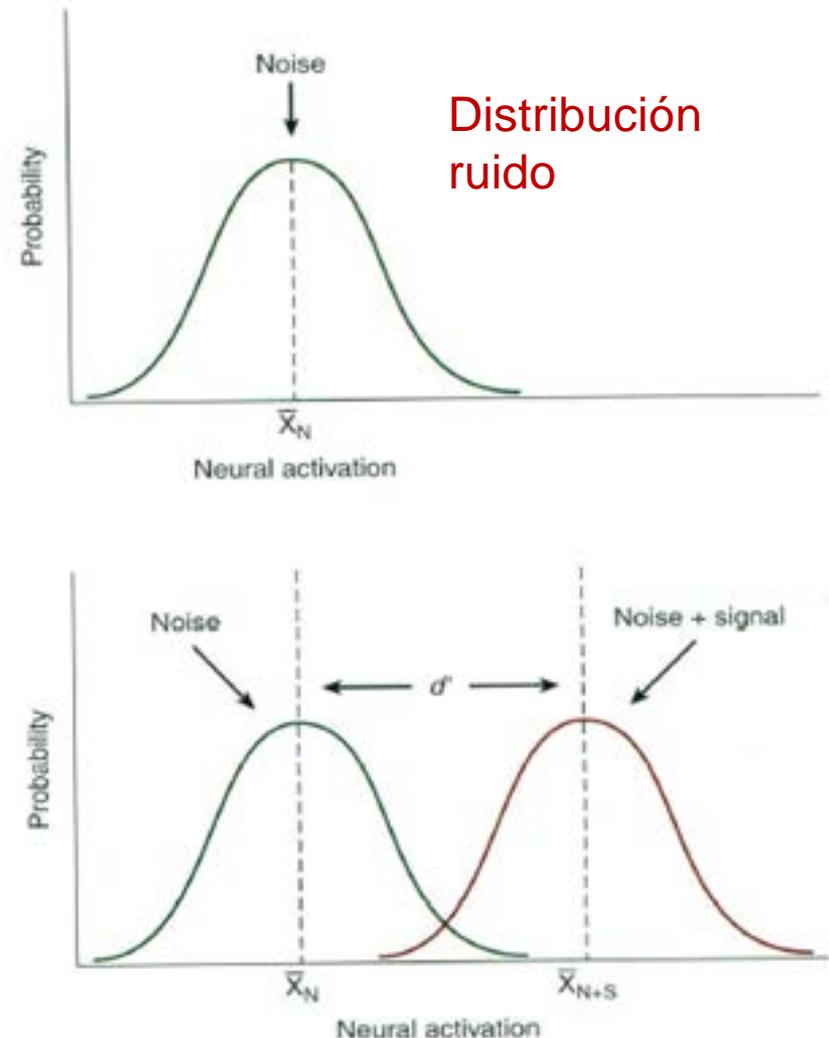
		RESPUESTA	
		“Si”	“No”
ESTIMULOS	Presente	Acierto verdadero	Falso negativo
	Ausente	Falso Positivo	Rechazo correcto

Falso negativo: respuesta negativa falsa (pérdida, fallo, miss)

Falso positivo: respuesta positiva falsa (falsa alarma)

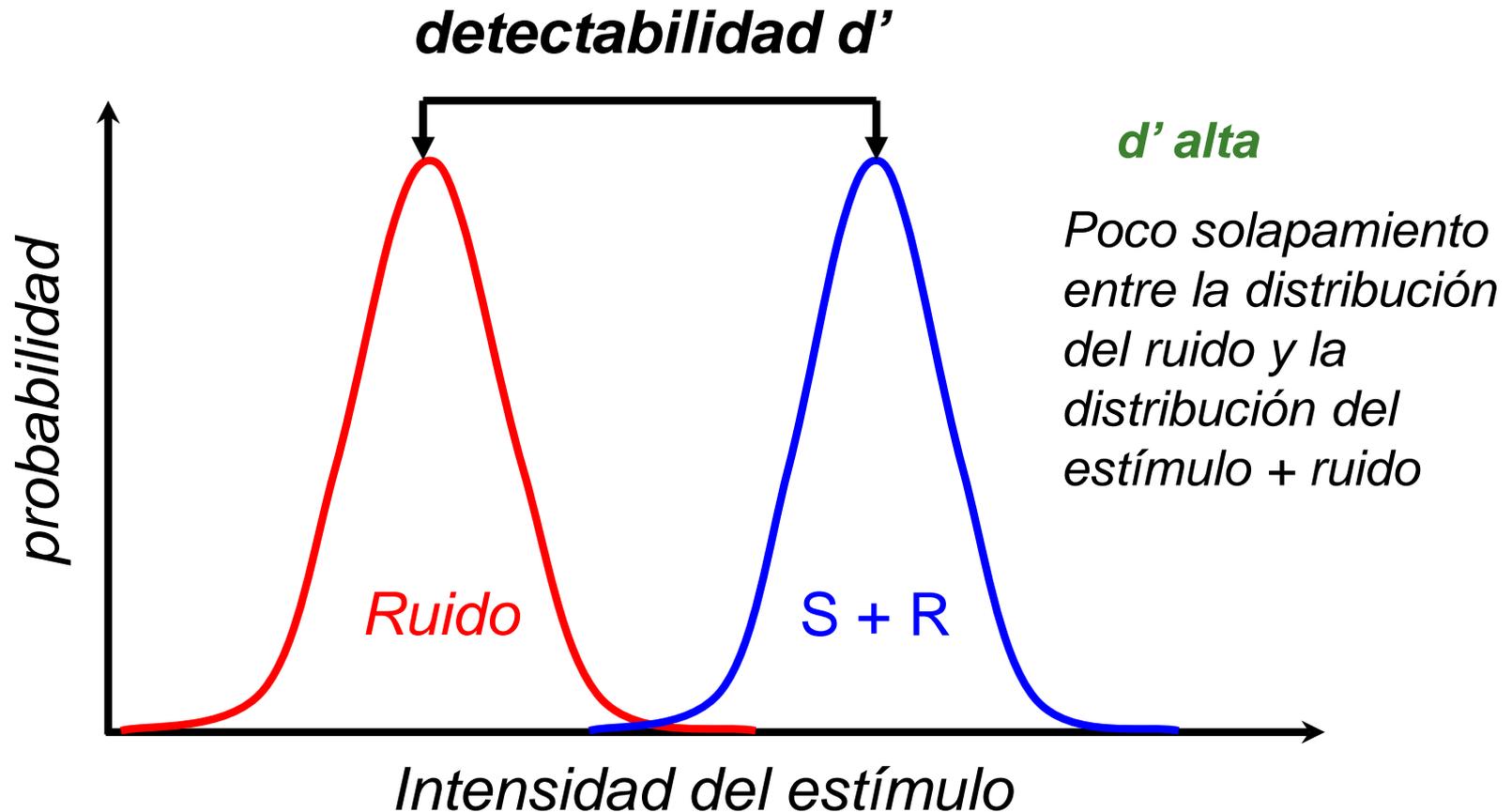
Detectabilidad o discriminabilidad de la señal (d')

- El **ruido neuronal (R)** se distribuye aleatoriamente en el tiempo
- Un **estímulo** provoca una **señal (S)** que se puede sumar a la distribución de ruido para producir una distribución de: **ruido + señal**
- La **detectabilidad (d')** es una medida de la fuerza del estímulo
- d' es la diferencia entre las distribuciones de ruido (R) y de estímulo + ruido (SR)



Alta detectabilidad y sensibilidad

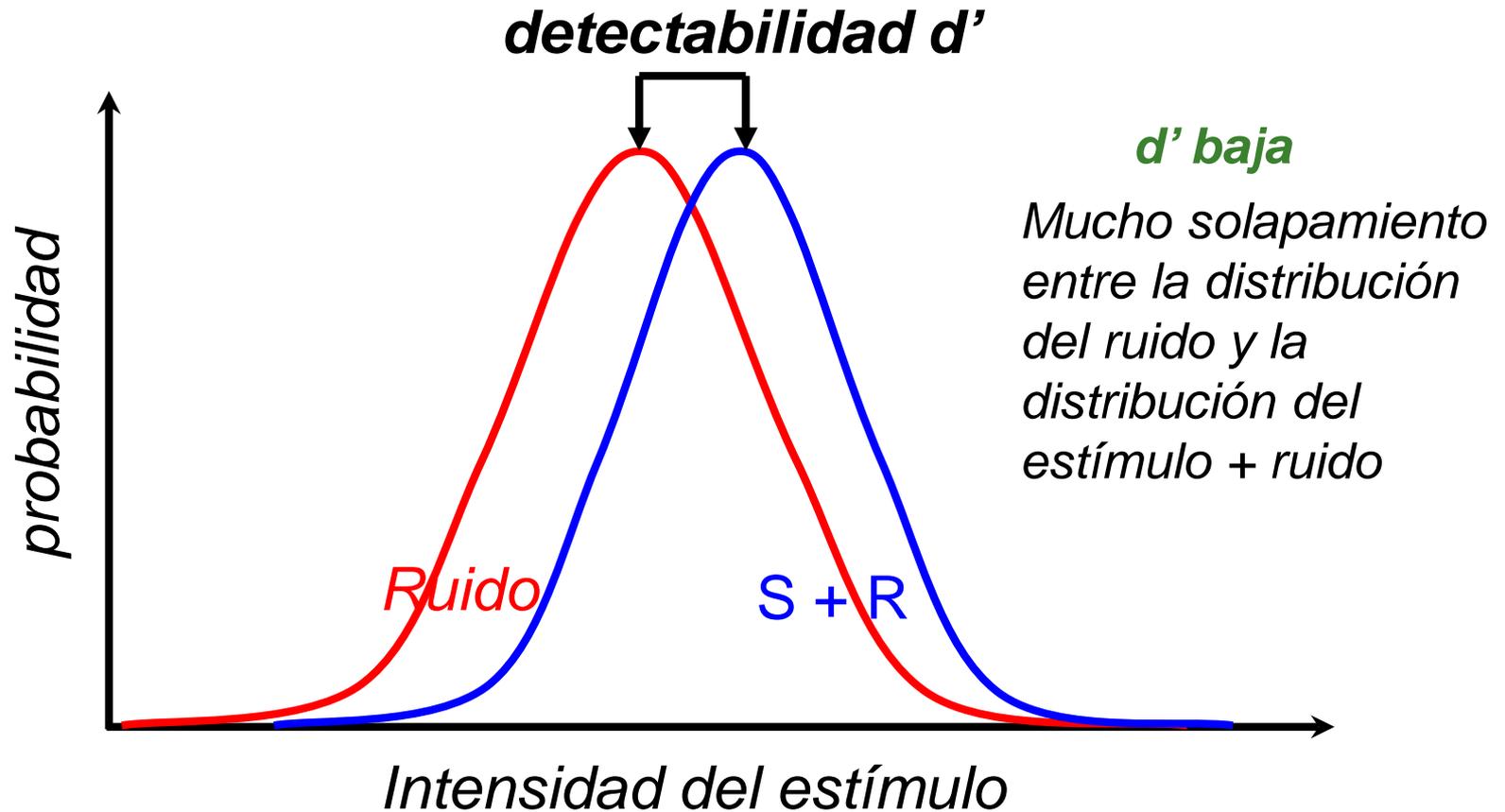
(Pocas pérdidas y falsos positivos (alarmas))



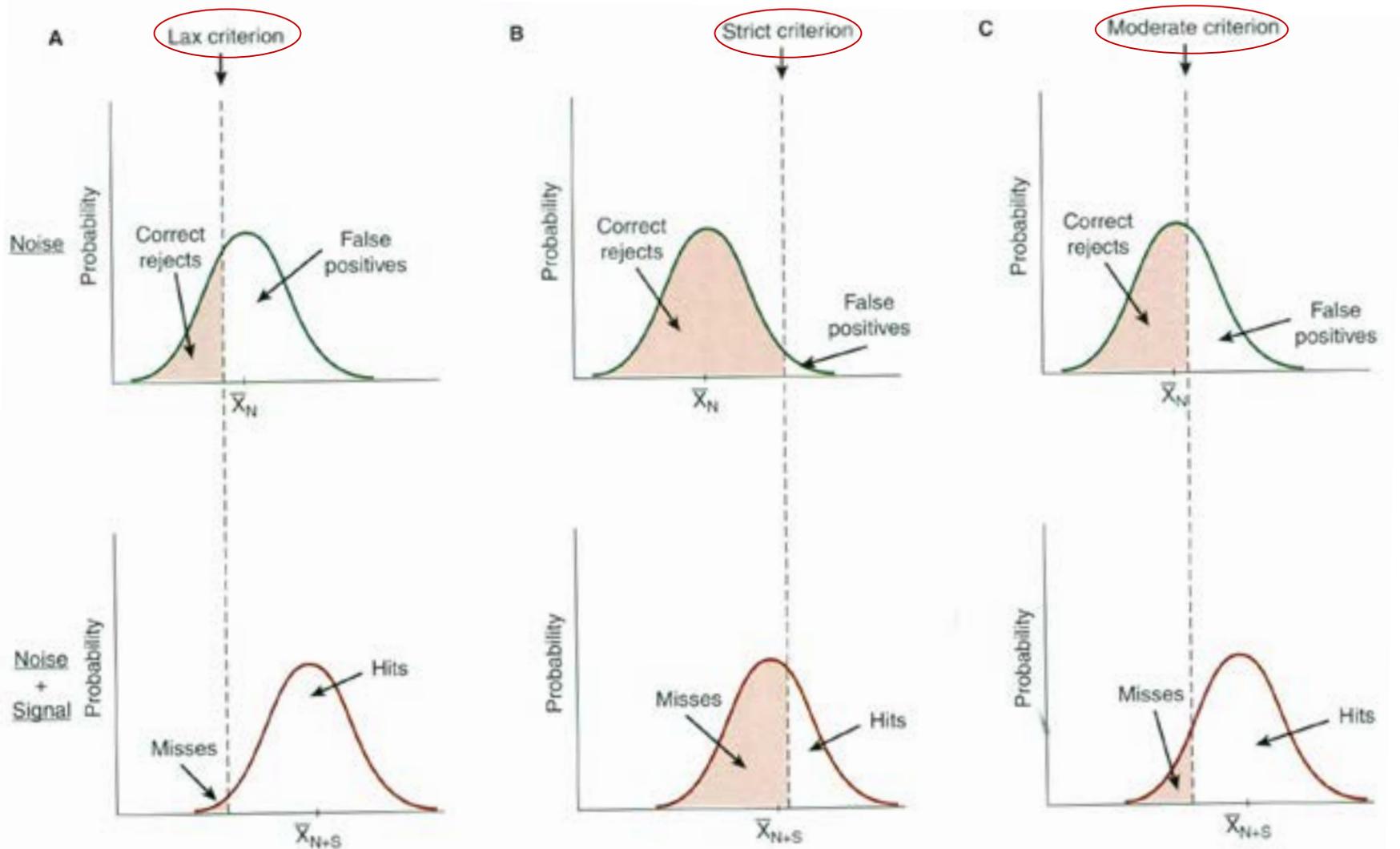
Es fácil para el observador determinar si el nivel de activación neuronal se debe al ruido solo o a S + N

Baja detectabilidad y sensibilidad

(Muchas pérdidas y falsos positivos (alarmas))



Criterios de respuesta

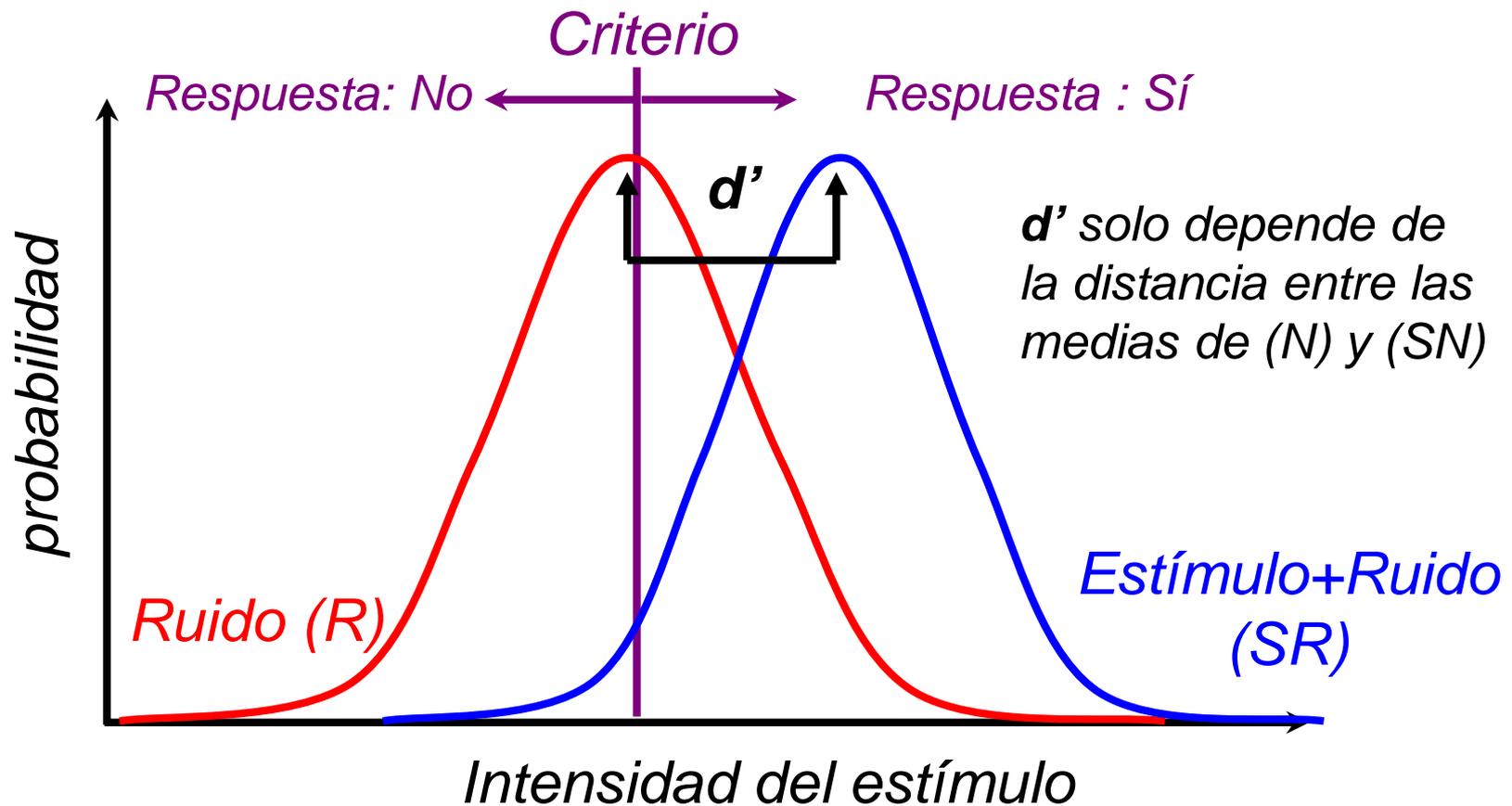


En los tres ejemplos **la detectabilidad es la misma.**

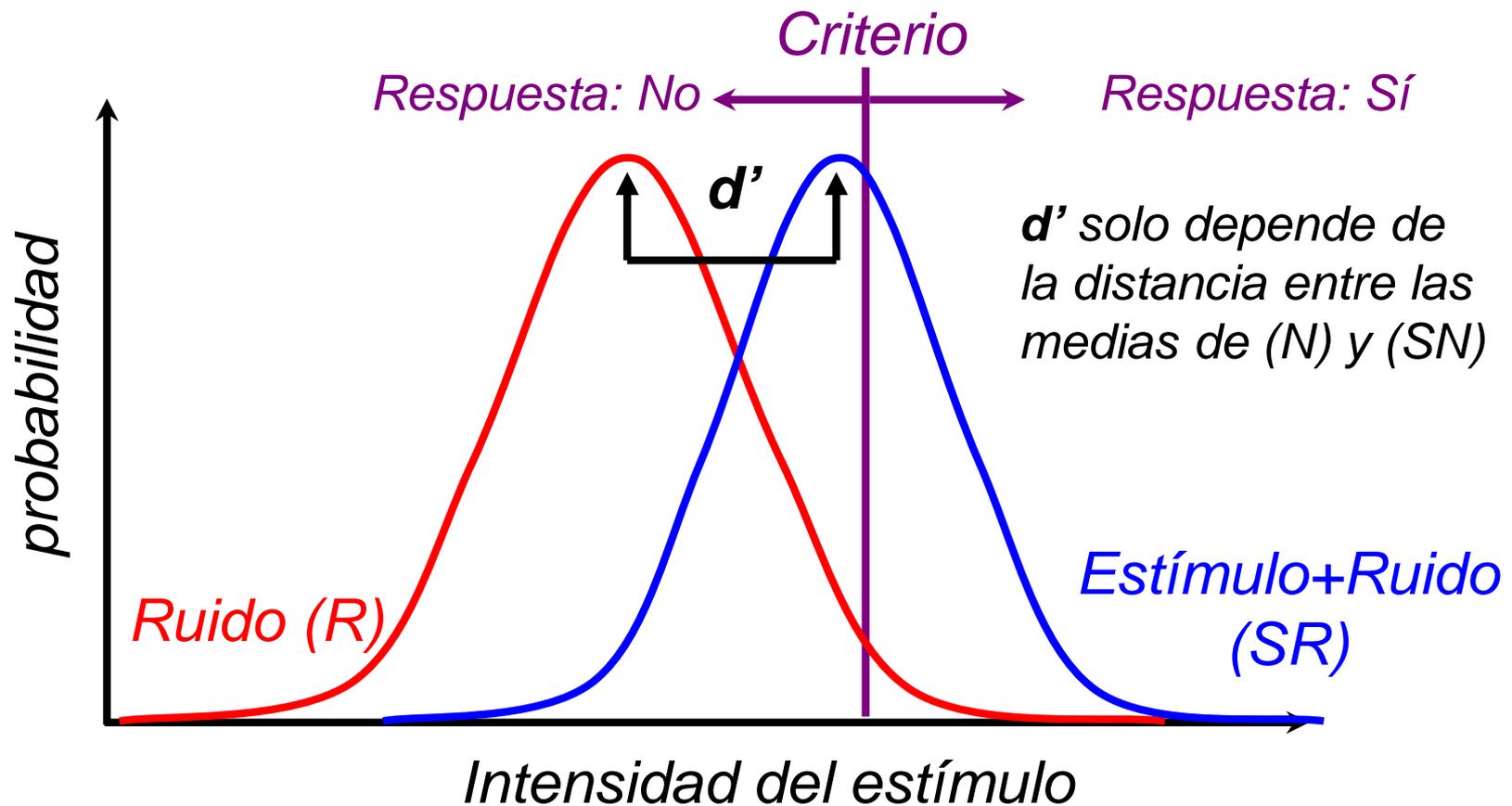
Criterios de respuesta

- Criterio estricto:
 - Muchas pérdidas (falsos negativos)
 - Pocos falsos positivos (alarmas falsas)
- Criterio laxo:
 - Pocas pérdidas (falsos negativos)
 - Muchos falsos positivos (alarmas falsas)

La detectabilidad (d') es independiente del criterio de decisión



La detectabilidad (d') es independiente del criterio



Teoría de la detección de señales

- Las decisiones (juicios perceptivos) siempre se toman en presencia de ruido (interno / neuronal y externo / físico)
- Las decisiones se toman con respecto a un criterio (sesgo de respuesta)
- El criterio es variable y refleja la probabilidad de estímulo y las consecuencias de la decisión.
- El rendimiento (tasa de aciertos) es una medida sesgada, depende del criterio
- Existe una compensación entre la tasa de aciertos y la tasa de falsas alarmas.
- La sensibilidad / detectabilidad - la capacidad de distinguir un estímulo del ruido es independiente del criterio
- d' es una medida de detectabilidad que es insensible al criterio

Pruebas diagnósticas

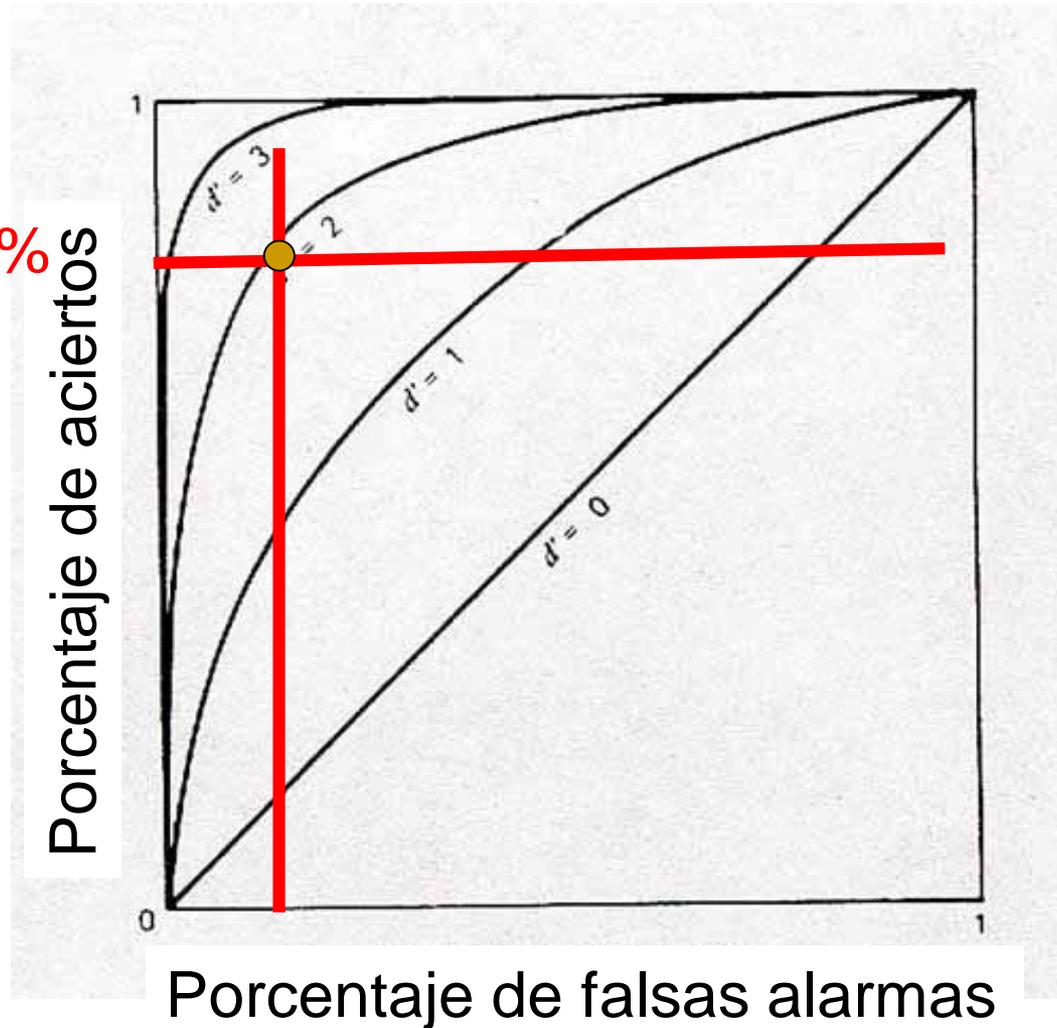
- El paciente se presenta con síntomas y se sospecha que tiene alguna enfermedad. El paciente **tiene la enfermedad o no tiene la enfermedad**.
- El médico realiza una **prueba diagnóstica** para ayudar a hacer un diagnóstico.
- El resultado de la prueba es **positivo** (enfermo) o **negativo** (sano).
- Matriz de resultados
- **Curva ROC (Receiver operating characteristic)**

Prueba diagnóstica: matriz de resultados

Ejemplo: tonometría para diagnóstico del glaucoma

	Resultado prueba	
Estado salud verdadero	Enfermo (+)	Sano (-)
Enfermo (+)	Correcto	Falso Negativo
Sano (-)	Falso Positivo	Correcto

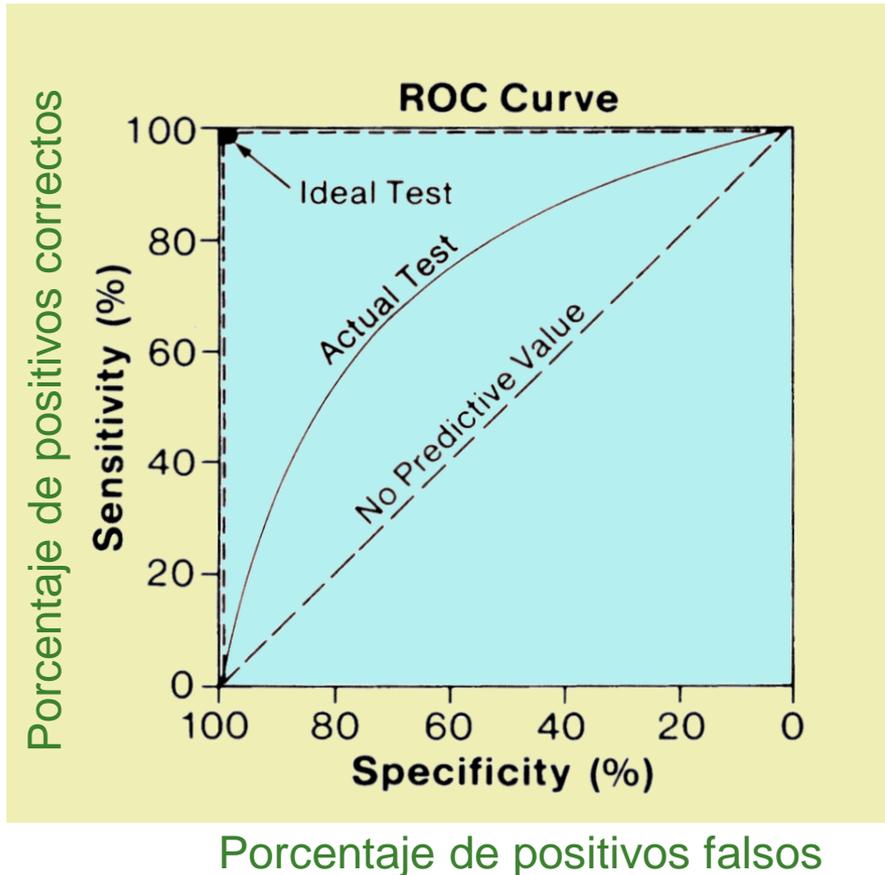
Curva ROC (Receiver operating characteristic)



Curvas ROCs para varios niveles de detectabilidad

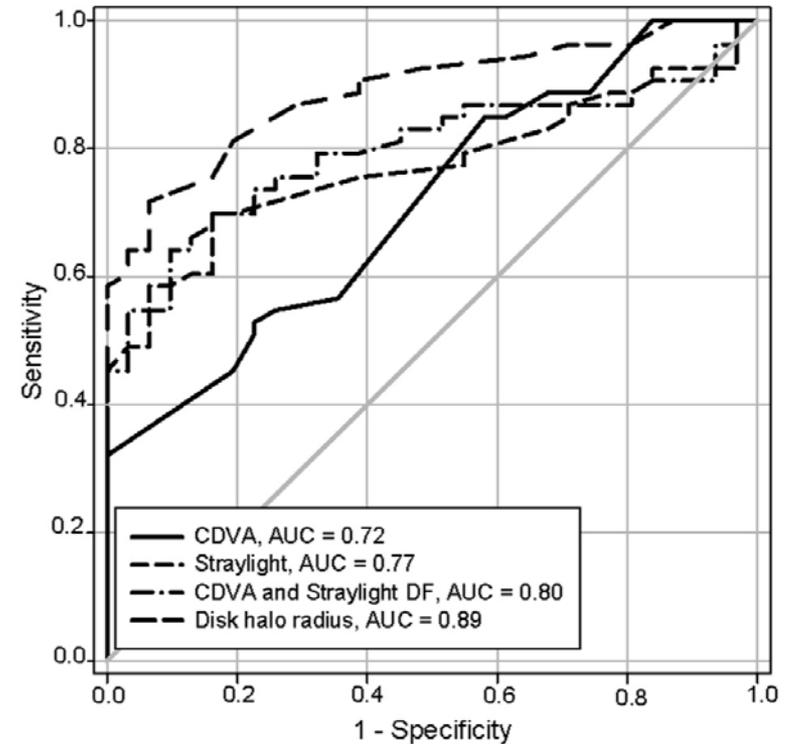
Las curvas ROC se utilizan para evaluar la utilidad de los procedimientos de diagnóstico clínico.

Curva ROC (Receiver operating characteristic)

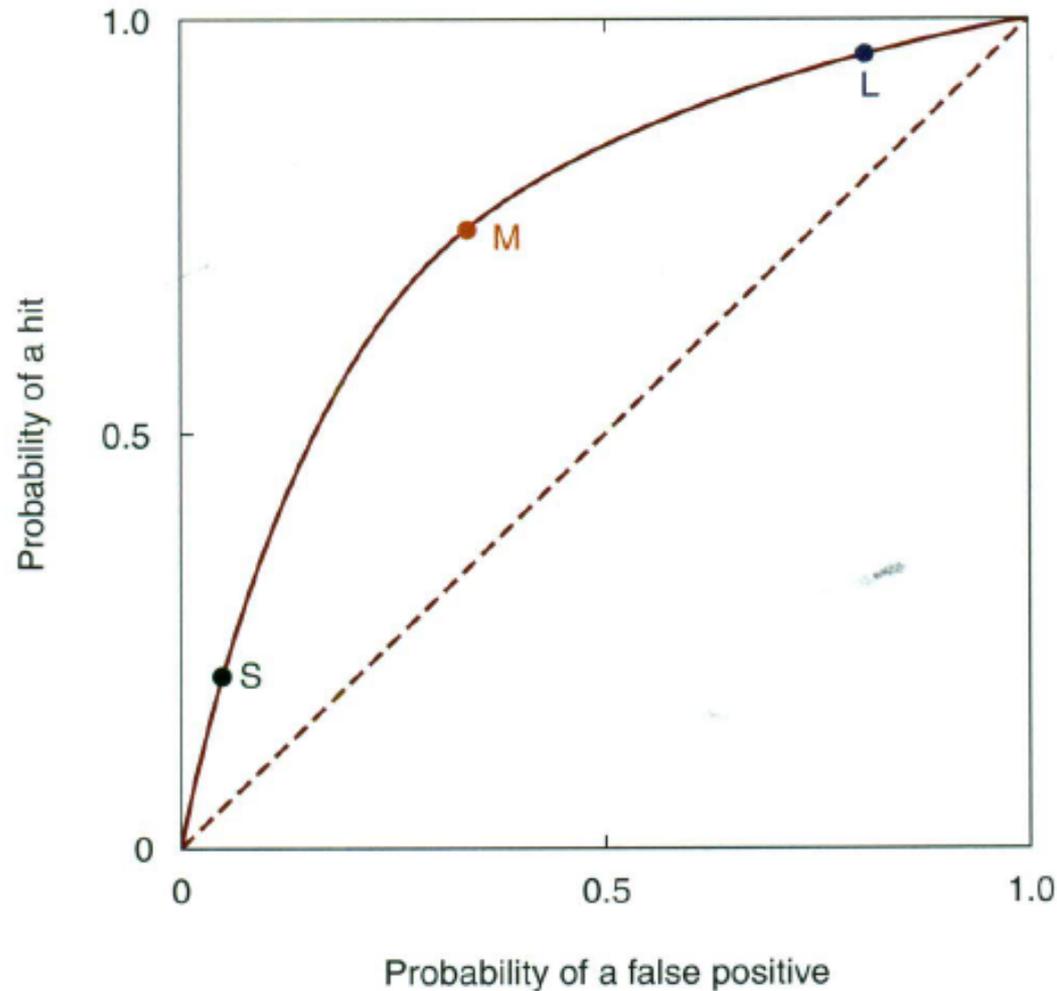


Capacidad del test de halo luminoso para diagnosticar cataratas

Palomo-Álvarez and Puell, J Cataract Refract Surg (2015)



Curva ROC (Receiver operating characteristic)



S, M, y L representan criterios estrictos, moderados y laxos respectivamente