

ISSN: 1988-2688

<http://www.ucm.es/BUCM/revistasBUC/portal/modulos.php?name=Revistas2&id=RCCV&col=1>

<http://dx.doi.org/10.5209/RCCV.55216>



Revista Complutense de Ciencias Veterinarias 2017 11(especial):53-58

BASES DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE PROCESAMIENTO SENSORIAL MATHEMATICAL UNDERPINNINGS OF SENSORY PROCESSING MODELS

López-Casal, Berenice

Facultad de Psicología, UCM . berelope@ucm.es

RESUMEN

La explicación de los mecanismos sensoriales humanos a través de modelos matemáticos de detección y discriminación podría considerarse una de las empresas fundamentales de la psicología básica. El propósito de este trabajo consiste en presentar el origen de la lógica del acercamiento tradicional al problema y exponer las líneas generales de su evolución, ambas imprescindibles para comprender la estructura de los modelos sensoriales actuales. La incompatibilidad de la concepción determinista de estos procesos con la evidencia empírica empujó a adoptar una caracterización probabilística. Por otro lado, se descubrió que las respuestas del sujeto en las tareas experimentales podían no corresponderse con las sensaciones evocadas por los estímulos, lo cual obligó a incorporar también los mecanismos de decisión y respuesta que inevitablemente median el comportamiento del sujeto en estas tareas.

Palabras clave: umbral sensorial, teoría del umbral alto, teoría de umbral bajo, Teoría de Detección de Señales, modelos de detección y discriminación sensorial.

ABSTRACT

The explanation of human sensory mechanisms by means of the development of mathematical models of detection and discrimination processes could be considered one of the fundamental enterprises of basic psychology. The aim of the present paper is to present the logic of the

classical approaches and the foundations for its development, both of which are essential for a comprehensive understanding of current sensory models. The incompatibility between the deterministic conceptual framework and empirical evidence required for psychophysicists to adopt a probabilistic characterization. On the other hand, it is often the case that the subject's responses in experimental tasks do not correspond to the sensations evoked by the corresponding stimuli. These findings forced to include decision and response mechanisms that underlie the subject's behavior on experimental tasks.

Key words: sensory threshold, high-threshold theory, low-threshold theory, Signal Detection Theory, sensory detection and discrimination models.

Bases de los Modelos Matemáticos de Procesamiento Sensorial

Explicar los fundamentos sensoriales y perceptivos del comportamiento humano ha sido siempre el objetivo primordial de la psicología de la percepción. Más concretamente, la psicofísica se ocupa de elaborar explicaciones de los procesos sensoriales que subyacen la conducta humana. Para lograrlo, investiga la relación entre las propiedades físicas de los estímulos y las sensaciones que evocan (Fechner, 1889/1966). Una manera de abordar esta cuestión conlleva encontrar aquellos puntos del continuo físico que corresponden con cambios en la sensación, planteándose así uno de los problemas fundamentales de la psicofísica: ¿Cuál es la mínima diferencia entre las magnitudes de dos estímulos que puede ser detectada por una persona? Esta "mínima diferencia" fue bautizada con el nombre de *umbral diferencial*, y encontrarla se convirtió en la principal empresa de la psicofísica clásica. Análogamente, el *umbral absoluto* se define como la mínima magnitud del estímulo que se necesita para que el sistema sensorial lo detecte.

Todo proceso psicológico conforma un conjunto de fenómenos inobservables cuya medición resulta un problema sofisticado. Para encontrar el umbral absoluto, el experimento más simple que puede concebirse consiste en la presentación de un único estímulo por cada ensayo, solicitando al sujeto que responda si ha percibido o no alguna señal. El proceso se repite hasta haber presentado estímulos a lo largo de todo el rango relevante del continuo físico. Debido a la ambigüedad de los lenguajes naturales, es imprescindible la representación matemática de los procesos sensoriales para intentar explicarlos. Esto es posible porque los mecanismos sensoriales, como muchos otros fenómenos naturales, exhiben estructuras que pueden ser adecuadamente capturadas por la formalidad de las matemáticas.

La construcción de modelos formales de procesos sensoriales parte de la formulación de supuestos acerca del sistema empírico de interés. El diseño de este tipo de modelos requiere, además, la traducción de esos supuestos a una serie de axiomas sobre los cuales aplicar reglas de inferencia adecuadamente escogidas, permitiendo la derivación de teoremas que sirvan de predicciones (Suppes et. al., 1994; Narens y Luce, 2008). La aproximación clásica a la representación de procesos de detección postula la existencia de un umbral absoluto, e incluye dos supuestos básicos que intuitivamente respaldan ese modelo. El primero afirma que ante la presentación de un estímulo caben dos estados: el sistema sensorial puede detectarlo (S) o no detectarlo ($\sim S$). Además, se asume que la misma magnitud del estímulo provocará siempre la misma sensación. El segundo supuesto sostiene que las respuestas del sujeto siempre se corresponden con las sensaciones experimentadas (esto es, $S \leftrightarrow$ "Sí" y $\sim S \leftrightarrow$ "No"), pues el único elemento que guía su conducta en estas tareas es la propia información sensorial. Definiendo la *función psicométrica* como aquella que relaciona la magnitud del estímulo con la probabilidad de detectarlo, este modelo daría lugar a funciones escalonadas cuya discontinuidad corresponde exactamente con el valor de θ . Bajo el modelo propuesto, un estímulo será detectado solo si su magnitud es mayor que θ .

Esta noción determinista de los sistemas sensoriales se ve tambaleada a la luz de evidencia empírica, pues se conoce que los estados sensoriales fluctúan ante la repetida presentación de un estímulo. Explicar este fenómeno desde el punto de vista del modelo es imposible si se tiene en cuenta la existencia de los supuestos previamente planteados. Para dar cuenta de los nuevos hallazgos fue indispensable una reconsideración del planteamiento original. La clave de las modificaciones posteriores fue propuesta por Thurstone (1927), quien definió la sensación elicitada por una señal como una variable aleatoria (por lo general, normalmente distribuida y con varianza igual a uno). Además, postuló la existencia de un "ruido" inherente al sistema sensorial, distribuido de idéntica manera a la sensación producida por el estímulo, y con una probabilidad baja de provocar una excitación tal que superase el valor del umbral. Alternativas análogas suponen que es el propio umbral el que constituye una variable aleatoria cuya media puede verse afectada por factores internos y externos (Luce y Krumhansl, 1988). Es importante tener en cuenta que estas dos aproximaciones (y una tercera, que propone la combinación de ambas) son equivalentes en el sentido de que dan lugar a predicciones empíricas idénticas. En ambos casos, la introducción de un componente probabilístico implica un cambio sustancial en la función psicométrica, que pasará a tomar la forma de una función sigmoideal (por ejemplo, una función logística como la que se muestra en la ecuación 1 y en la figura 1).

$$F(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta(x - \alpha))} \quad (1)$$

Donde x se corresponde con la magnitud del estímulo y α y β hacen referencia a la localización y la anchura de la función, respectivamente. Una vez aceptada la naturaleza probabilística de los sistemas sensoriales se desarrolló la *teoría del umbral alto* (Blackwell, 1953), que supone que este umbral se localiza en el continuo sensorial de tal manera que sea muy poco probable que la sensación producida por el ruido interno lo supere. La presentación de ensayos en blanco en los experimentos reveló una proporción de falsas alarmas (respuestas de “Sí” ante la ausencia de estímulos) distinta de cero. De nuevo, la evidencia empírica llevó a cuestionarse el hecho de que las respuestas de los sujetos estuvieran causadas exclusivamente por información sensorial. Así, se postula la existencia de algún tipo de mecanismo no-sensorial que subyace estas falsas alarmas, al que se le atribuye una tasa de respuestas al azar que solo surge cuando la señal no es detectada. En otras palabras: algunos sujetos pueden responder al azar cuando se encuentran con ensayos en blanco en lugar de responder que el estímulo no estaba presente.

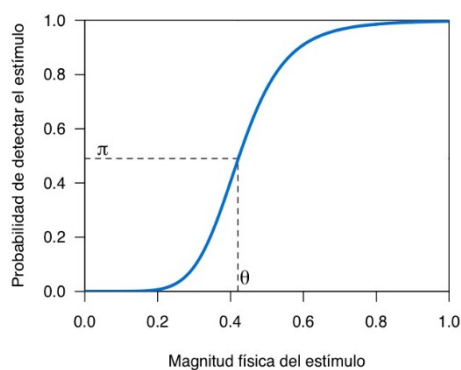


Figura 1: Función psicométrica

Discusiones acerca de la falta de plausibilidad de estos supuestos dieron lugar dos grandes vertientes que se diferenciaron de la teoría del umbral alto: las *teorías de umbral bajo* y la *teoría de detección de señales* (TDS). Las teorías de umbral bajo (ver, por ejemplo, Luce, 1963, 1966) conforman un conjunto diverso de modelos con al menos un supuesto en común: el ruido interno del sistema excede el umbral un número sustancial de veces, justificando de

esta manera el origen de las falsas alarmas. Por otra parte, la TDS (Tanner y Swets, 1954; Green y Swets, 1966) le otorga protagonismo a procesos de decisión que hasta el momento habían pasado inadvertidos en el ámbito de la psicofísica. La arquitectura teórica que sostiene la TDS difiere de los fundamentos de las teorías de umbral en el sentido de que niega la existencia de estados discretos (S y $\sim S$). Dada la naturaleza continua de la escala sensorial, la TDS postula que no existe un punto de corte o umbral sensorial discernible que distinga la excitación producida por una señal de la producida por el ruido. En este caso, lo que determina en última instancia la respuesta del sujeto es el criterio de decisión que adopte durante el experimento, junto con los efectos sensoriales. En este marco conceptual, lejos de quedarse obsoleto, puede redefinirse el *umbral de detección* como la magnitud θ del estímulo necesaria para que el sistema lo detecte con probabilidad arbitraria π , como muestra la figura 1. Por tanto, todos los estímulos cuya magnitud supere el valor del umbral tendrán una probabilidad igual o mayor que π de ser detectados.

El ocaso de las teorías de umbral marcó el comienzo de la construcción de modelos sensoriales capaces de incorporar la complejidad cognitiva de las tareas de detección y discriminación sensorial, atendiendo a la existencia de mecanismos de decisión y respuesta que interactúan con la información recabada por el sistema sensorial para dar lugar a las respuestas del sujeto. Estas teorías, junto con los paradigmas experimentales apropiados, dan lugar a distintas predicciones empíricamente contrastables que son el motor actual de la disciplina.

BIBLIOGRAFIA

- Blackwell, H. R. (1953) Psychophysical thresholds: Experimental studies of methods of measurement. *Bulletin of the Engineering Research Institute*, 36.
- Fechner, G. T. (1889/1966). *Elements of psychophysics. Vol. I.*
- Green, J. & Swets, J. A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Luce, R. D. (1963). A threshold theory for simple detection experiments. *Psychological Review*, 70, 61-79.
- Luce, R. D. (1966). A model for detection in temporally unstructured experiments with a Poisson distribution of signal presentations. *Journal of Mathematical Psychology*, 3(1), 48-64.

- Luce, R. D., & Krumhansl, C. L. (1988). Measurement, scaling, and psychophysics. In *Stevens' handbook of experimental psychology, Vol. 1*. New York, John Wiley & Sons.
- Narens, L., & Luce, R. D. (2008). Meaningfulness and invariance. In *The new Palgrave dictionary of economics*.
- Suppes, P., Pavel, M., & Falmagne, J. C. (1994). Representations and models in psychology. *Annual review of psychology*, 45(1), 517-544.
- Tanner Jr, W. P., & Swets, J. A. (1954). A decision-making theory of visual detection. *Psychological review*, 61(6), 401.
- Thurstone, L. L. (1927). Psychophysical Analysis. *The American Journal of Psychology*, 38(3).