
TEMA: INTRODUCCION A LA PSICOFÍSICA

Autor: J. Antonio Aznar Casanova

1. PSICOFISICA: CONCEPTO Y OBJETIVO
2. EL MODELO DE LA PSICOFISICA CLASICA
 - 2.1 LA PERCEPCION COMO UN PROBLEMA INVERSO
 - 2.2 LA PSICOFISICA: ENTRE LO OBJETIVO Y LO SUBJETIVO
3. ERNST HEINRICH WEBER
4. GUSTAV THEODOR FECHNER (1801-1877)
5. CRITICAS A LA PSICOFISICA CLASICA
6. LOS METODOS DE LA PSICOFISICA CLASICA O METODOS INDIRECTOS
7. DE LA PSICOFISICA CLASICA A LA CONTEMPORANEA
 - 7.1 INTERPRETACION DE LAS FUNCIONES PSICOMETRICAS
8. LOS METODOS PSICOFISICOS DIRECTOS O ESCALAS PSICOFISICAS
9. AJUSTE DE DATOS EMPIRICOS A LA LEY POTENCIAL DE STEVENS
10. LA TEORIA DE LA DETECCION DE SEÑALES (TDS)
 - 10.1 LAS CURVAS COR (curva Característica Operativa del Receptor)
11. LA PSICOFISICA DE ORDEN SUPERIOR DE J.J.GIBSON

*

*

*

LA PSICOFISICA

1. PSICOFISICA: CONCEPTO Y OBJETIVO

Anteriormente a la utilización de la introspección analítica y formal como método de la psicología experimental, apareció la psicofísica con el fin de estudiar las relaciones entre lo físico y lo psíquico, introduciéndose de este modo la medición en psicología. La paternidad indiscutible de esta metodología corresponde a E.H. Weber (1795-1878) y a G.T. Fechner (1801-1887) y, sin duda, la obra fundacional de la psicofísica clásica es "*Elementos de la psicofísica*", publicada por Fechner en 1860.

Los antecedentes próximos se hallan en la obra de ciertos matemáticos del siglo XVIII, tales como Kramer, quien en 1728 sostuvo que las sensaciones se hallan en relación cuadrática con sus fuentes de estimulación.

La psicofísica ha sido definida como "una parte de la psicología experimental que investiga las correlaciones y regularidades entre la intensidad y la calidad del estímulo, por una parte, y la percepción y los juicios acerca de ella, por otra; es decir, investiga la vida de relación del organismo (especialmente el humano) con su medio físico concreto y los juicios que forma el hombre acerca de estas percepciones" (Mankeliunas, 1980).

El problema central de la psicofísica es el de establecer las relaciones cuantitativas existentes entre la presentación del estímulo (input sensorial) y la magnitud de la reacción (output) por parte del organismo afectado. La investigación de estas relaciones (input-output) hizo inevitable el desarrollo de una variada y precisa metodología, que permitiera abordar experimentalmente los aspectos implicados en el proceso perceptivo. Posteriormente, estos procedimientos fueron aplicados a otros contextos de la psicología, por ejemplo, a la elaboración de escalas de actitudes, de intereses, etc. En este sentido, es preciso reconocer a la psicofísica el mérito de haber abordado científicamente algunos problemas relativos a la percepción, sustituyendo la especulación metafísica, predominante en aquella época, por la búsqueda de relaciones funcionales entre lo físico y lo psíquico.

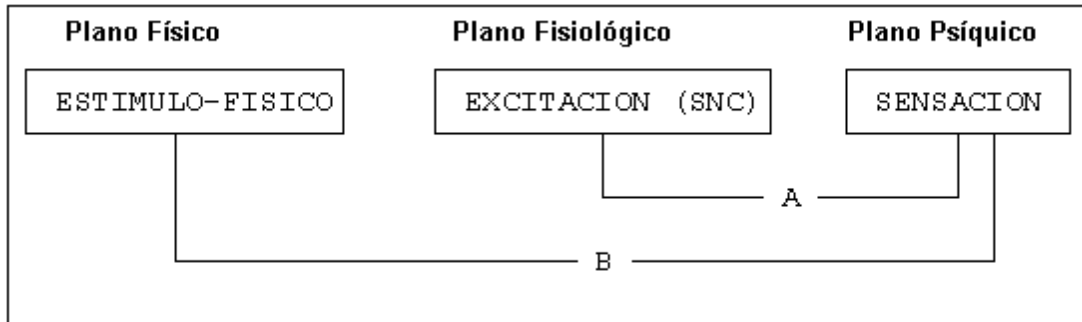
Como señala Day (1969), los métodos psicofísicos representan un vehículo de investigación, de manera precisa, que permite cuantificar cuatro tipos básicos de comportamientos perceptivos: la detección, la discriminación, el reconocimiento y la estimación. En la actualidad, la psicofísica tiene como objetivo estudiar los procesos que median de lo objetivo a lo subjetivo, de lo físico a lo psíquico. En otros términos, el objetivo de la Psicofísica es el estudio de las relaciones entre los estímulos físicos y las sensaciones psicológicas que suscitan.

2. EL MODELO DE LA PSICOFISICA CLASICA

Siguiendo a Mankeliunas (1980), conviene diferenciar el modelo físico, al que recurrió Fechner en su psicofísica,

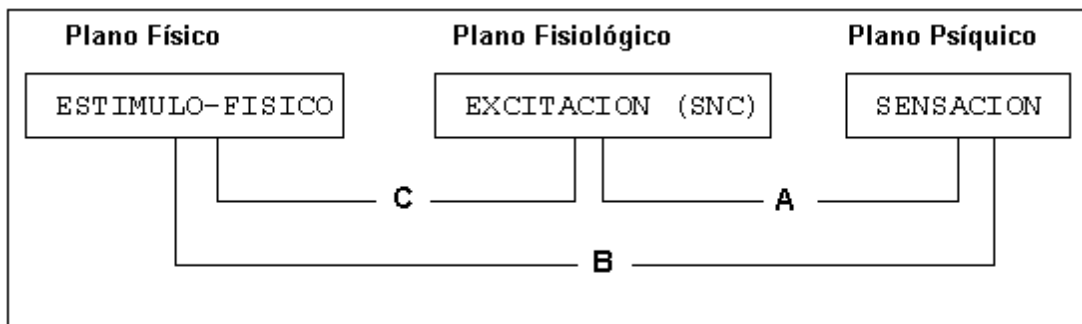
de otros modelos como el fisiológico o el cibernético.

El modelo físico expresa una relación lineal y se esquematiza del modo siguiente:



En el que A señala las relaciones funcionales directas de cuyo estudio se ocuparía la psicofísica interna, mientras que B indica las relaciones funcionales indirectas estudiadas por la psicofísica externa desarrollada por Fechner.

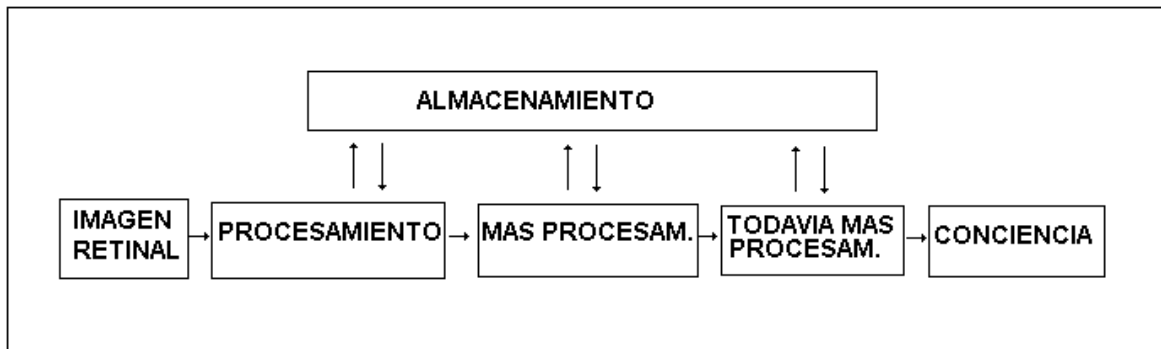
El modelo actual es más completo (multidimensional), ya que en él se relacionan todos los factores que intervienen en la percepción del estímulo. Gráficamente se representa así:



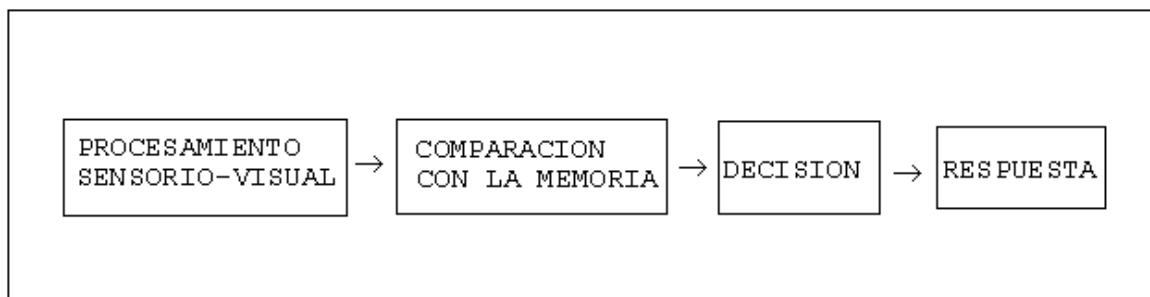
En este modelo a cada relación le correspondería las siguientes disciplinas:

- a) Fisiología, b) Psicofísica pura y c) Interdisciplinar (Físicos y Fisiólogos).

Los modelos cibernéticos, o de Procesamiento de Información, consisten en una representación formal de los factores intervinientes entre la emisión de la información, su codificación y las respuestas adaptativas del organismo. Un ejemplo de estos lo constituye el modelo lineal de P.I, que Neisser caricaturiza de este modo:



Por otra parte Crowder (1982) postula una serie de estadios de procesamiento de información, que deben intervenir necesariamente para hacer posible el reconocimiento de patrones. Estos, representados esquemáticamente son:



2.1 LA PERCEPCION COMO UN PROBLEMA INVERSO

El Sistema Visual (SV) se ha especializado en captar dos tipos de información sobre el entorno que nos rodea: a) Qué objetos hay (*What system or Object recognition system*); y b) Dónde están ubicados (*Where system or Spatial localization System*). El proceso de la percepción visual comienza con la captación de un par de imágenes retinales. No obstante, el estudio de la percepción se aborda desde un doble enfoque. Uno de ellos parte de la captación del estímulo físico (distal) por las células fotorreceptoras de la retina y, a partir de estos datos sensoriales trata de interpretar, dar significado, reconocer, identificar, etc., lo que hay en el mundo exterior. Así planteada, la percepción consiste en resolver un problema de internalización, de “fuera hacia adentro” (*forward problem*). En otras palabras, desde el enfoque de la neurofisiología sensorial se trata de explicar cómo, mediante que procesos y patrones de actividad neural damos significado al contenido de la imagen real que capta instantáneas del mundo. Así, “metemos el mundo dentro del cerebro”, es decir, formamos representaciones mentales de lo que hay ahí fuera. Alternativamente, desde el enfoque psicofísico algunos investigadores (por ejem., Pizlo, 2001) intentan explicar las relaciones entre la experiencia perceptiva (sensaciones y percepciones) y la energía física que las provoca (lo que hay ahí fuera, en el mundo exterior). Es decir, se concibe como un proceso de externalización, estableciendo una correspondencia psico-física. Este es un enfoque del estudio de la percepción como problema inverso (*reverse-problem*), ya que el proceso trata de

relacionar el correlato neural de la sensación, subjetivamente valorado por el perceptor con la intensidad de la energía física del estímulo. No obstante hay dos problemas que aumentan la dificultad de este enfoque en dirección inversa (de dentro, la sensación, hacia afuera el estímulo que la desencadena): 1) la inherente ambigüedad de la imagen retinal, y 2) la constancia perceptiva. Estas dos cuestiones se trataran en otro tema.

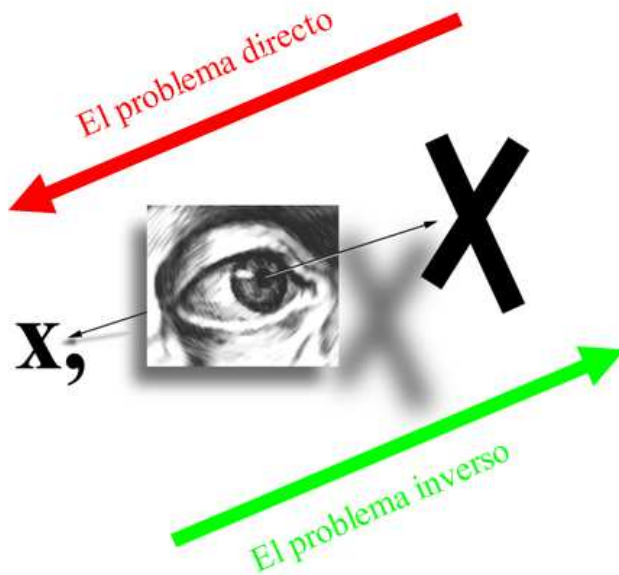


Figura .- ilustración que sugiere los dos abordajes del estudio de la percepción.

2.2 LA PSICOFISICA: ENTRE LO OBJETIVO Y LO SUBJETIVO

Desde la Ontología (rama de la Filosofía) se estudia el SER, la existencia. ¿Existe la subjetividad? ¿Tiene existencia algo que es subjetivo o solo existe lo objetivo? ¿Existe el dolor? ¿y el miedo? ¿nos podemos sentir helados de frío ó asados de calor? ¿existe la rojez ó el verdor? ¿y el dulzor ó el sabor amargo? ¿y el aroma a limosnes salvajes del caribe ó el olor pestilente a mofeta? ¿y el sonido melodioso del trinar del jilguero ó el estremecedor chirrido de la guillotina?

Decía Thordike (1918), "si alguna cosa existe, ella existe en cierta cantidad y puede ser medida. Delimitar la intensidad de una sensación, como por ejemplo el dolor, es el primer paso para estudiar científicamente el grado en que un tratamiento ayuda a aliviarlo. La Ciencia empieza donde comienza la posibilidad de medir el objeto de estudio de forma estable y consistente. Esto es se hace Ciencia cuando un fenómeno se puede medir o cuantificar. La cuestión capital es, puesto que las sensaciones son subjetivas, ¿se pueden medir las sensaciones, en particular y las funciones del psiquismo en general?

Hasta mediados del siglo XIX, la Psicología era considerada por la comunidad científica una rama de la Filosofía. La razón principal que se aducía para ello era que la subjetividad no se podía medir de forma consistente y estable. ¿Cómo se iba a hacer Ciencia sería con una medición tipo “regla de goma” en la que las unidades de medida cambiaban, de sujeto a sujeto e, incluso, en un mismo sujeto, de momento a momento.

El problema psicofísico consiste en explicar cómo se conectan procesos físicos y fisiológicos con experiencias sensoriales de diversas modalidades (cualidades sensoriales) y de diversa intensidad (cantidad sensorial).

Pongamos un ejemplo que ilustra esta creencia. Von Frey colocó tres cubos de agua delante de un sujeto: uno, a la izquierda, con agua caliente (38°), otro en el centro con agua templada (24°) y otro a la derecha con agua fría (10°). Cuando algo quema, ¡es porque está caliente! Cuando tiritamos, ¡es porque hace frío! ¿Es fácil reconocer lo caliente y lo frío? ¿Dónde está la línea divisoria entre frío-caliente para cada persona? Incluso esta frontera puede cambiar según el estado de adaptación sensorial precedente.

Von Frey pidió a una persona sumergir su mano derecha en el cubo de agua fría (10°) y su mano izquierda en el cubo de agua caliente (38°) durante un minuto. Le preguntó: ¿cómo está el agua que toca tu mano derecha? Y respondió el sujeto: está fría. Bien pues ahora, introduce esa mano derecha en este cubo de en medio y dime ahora: ¿cómo está el agua? Y respondió el sujeto: está caliente (recordemos que el cubo central contiene agua a 24°). Seguidamente, le preguntó: ¿cómo está el agua que toca tu mano izquierda? Y respondió el sujeto: está caliente. Bien pues ahora, introduce esa mano izquierda en este cubo de en medio y dime ahora: ¿cómo está el agua? Y respondió el sujeto: está fría (recordemos que el cubo central contiene agua a 24°). *¿Cómo es posible que el agua del cubo central (15°) para un mismo sujeto esté fría en un momento y caliente, poco después?*

A nadie sorprendía que no se pudiese hacer Ciencia con rigor en una disciplina (la Psicología) que trata con la subjetividad, las sensaciones, las percepciones, etc.

Los receptores nerviosos sensibles al calor de nuestras manos (corpúsculos de Meissner) informan al cerebro sobre la temperatura con respecto a una referencia (tal vez el estado de adaptación anterior). Así, si sumergimos primero la mano en el agua fría, la tibia nos parece caliente, y a la inversa, al salir del agua caliente, todo nos parece más frío. En otras palabras, somos sensibles a cambios relativos y no a cambios absolutos y esto es lo que pusieron de manifiesto los primeros experimentadores en el campo de la sensación que, dicho sea de paso, fueron un fisiólogo (Weber) y un físico (Fechner), a quienes muchos consideramos los padres intelectuales de la psicología científica.

No obstante, conviene establecer una distinción entre la psicofísica clásica, en donde se produce una correspondencia entre el continuo estimular (físico) y el continuo de respuesta (sensación), y la psicofísica moderna en donde no se mantiene ese paralelismo y se introducen otros factores determinantes de la sensación.

Desde este enfoque, el juicio que emite el sujeto sobre su sensación coincide con el valor de la sensación, por lo que sólo se está interesado en el estudio del estímulo y la respuesta sensorial. Por ello, en la experimentación se utilizaban sujetos entrenados para asegurarse que la respuesta sensorial se emitía exclusivamente en función del estímulo y no de componentes cognitivos que corregían o compensaban el dato sensorial. Se consideraba error del estímulo cuando la respuesta se debía a algún tipo de información adicional, por lo que se despreciaban esos datos. La psicofísica clásica se interesó, principalmente, por el estudio de los umbrales sensoriales que vienen a ser "los límites" de nuestra sensación.

3. ERNST HEINRICH WEBER (1795-1878)

En el estudio de la sensorialidad merece una especial atención la obra del fisiólogo Ernst Heinrich Weber (1795-1878), el cual, utilizando el '*test del compás*' determinaba el "*umbral de impresión dual*" (distancia mínima requerida entre las dos puntas del compás para captar una doble sensación espacial sobre la piel).

En general, se entiende por **Umbral Absoluto** (UA) la mínima cantidad de estimulación física necesaria para que el sujeto detecte o perciba el estímulo. Por ser un límite inferior, por debajo del cual no somos conscientes de la presencia del estímulo, también se le denomina umbral de conciencia. Obsérvese que, complementariamente, puede existir un límite superior (Umbral superior) que representa el límite de los sensores, normalmente nos referiremos a este límite como **Umbral del dolor**. Parece obvio que entre estos dos valores extremos se extiende la escala psicofísica (o subjetiva), que permite al perceptor valorar sus sensaciones.

Ahora bien, una escala que se precie de serlo debe tener un origen (límite inferior ó UA), un "techo" (límite superior) y unas unidades de medida. Si estas unidades son muy pequeñas, el mecanismo sensorial tienen gran finura (resolución) discriminativa, es altamente sensible o funciona con enorme precisión. Por el contrario, si las unidades de medida son grandes, el mecanismo solo permite establecer discriminaciones toscas (grosso modo), es poco sensible.

Weber, constató la variabilidad de la sensibilidad en las diferentes regiones cutáneas, elaborando mapas corporales de sensibilidad cutánea (hoy le llamarían de zonas erógenas).

Posteriormente, comprobó la variabilidad de los umbrales según la focalización de la atención, según el grado de entrenamiento (experticia), la fatiga, la raza, etc.

También experimentó con discriminaciones de peso, llegando al concepto de "*diferencia mínima perceptible*" (dmp) o "Umbral Diferencial" (UD), también llamado umbral relativo, definido como el mínimo incremento en la magnitud del estímulo necesario para que el sujeto perciba (advierta) un cambio.

Weber, advirtió de que los seres humanos exhibimos mayor habilidad para percibir cambios relativos y no absolutos. A partir de sus experimentos, llegó a concluir que el incremento de magnitud (ΔE) requerido para advertir una diferencia mínima perceptible, dividida por la magnitud del estímulo de referencia (E), era constante:

$$K = \Delta E / E$$

Así, por ejemplo, un sujeto percibe un punto luminoso en una pantalla y dicho punto tiene una intensidad de 100 cd/cm^2 , observamos en un experimento que para que el sujeto note un incremento de brillo (un cambio) hay que aumentar la intensidad, por lo menos, 10 cd/cm^2 , es decir, una décima parte (0.1). Por tanto, cuando perciba un punto de 500 cd/cm^2 , si se cumple la Ley de Weber, habría que aumentar la intensidad también en la décima parte, esto es, por lo menos 50 cd/cm^2 , ya que:

$$K = 10 / 100 = 50 / 500 = 0.1$$

Esta constante, llamada fracción de Weber (o constante de Weber) en cierto sentido, funciona como un índice aproximado de la finura discriminativa de las distintas modalidades sensoriales (sensibilidad). Ulteriormente, Fechner, basándose en esta constante, elaboró (véase más adelante) la fórmula que conocemos como ley de Weber-Fechner.

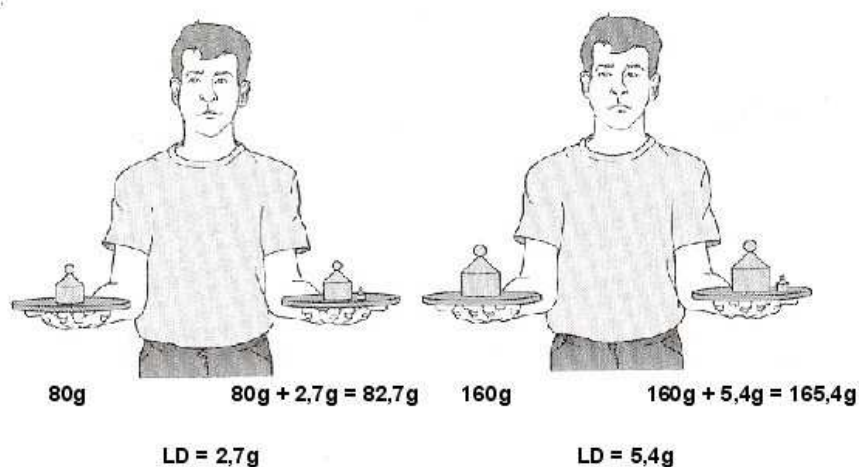


Figura.- Esquema descriptivo del experimento de juicios de comparación de pesos.

La importancia de los métodos experimentales de la psicofísica para la psicología radica en que permitieron establecer una relación cuantitativa entre fenómenos físicos y mentales, es decir, entre variables físicas y psicológicas, lo que daba fundamento a una Psicología experimental. La K de Weber representa la primera medición legítima de la subjetividad y por tanto, la demostración de que la sensibilidad, que es subjetiva por su propia naturaleza, se puede medir de un modo "objetivo". Esto legitimaba el acceso de la Psicología al corpus

de las ciencias experimentales y esta disciplina dejaba de estar relegada a ser considerada una rama de la Filosofía, como lo había sido anteriormente.

4. GUSTAV THEODOR FECHNER (1801-1877)

Filósofo, fisiólogo y físico que pasaría a la historia por sus contribuciones metodológicas experimentales a la psicología. Vinculado en su formación académica a las corrientes científico-materialistas y filósofo idealista, intentó aunarlas dentro de una postura dualista (paralelismo psicofísico) que le conduciría a un 'panpsiquismo' (identidad entre materia y mente). Desarrolló abundantes experimentos sensoriales (táctiles: pesos; visuales: brillantez, estimación de distancias, etc) y publicó en 1866 los "Elementos de la psicofísica", donde considera la psicofísica como una ciencia exacta de las relaciones funcionales o relaciones de dependencia entre cuerpo y mente. Sostiene que la sensación, si bien no puede medirse directamente, ésta puede medirse indirectamente. Esto también ocurre en física, por ejemplo, la medición de la intensidad de la corriente eléctrica por un amperímetro o por un galvanómetro.

Fechner, llegó así a establecer el concepto de '**umbral absoluto**' o umbral de conciencia (magnitud física del estímulo requerida para que se perciba el estímulo) y '**umbral relativo o diferencial**' (incremento necesario para que se perciba un cambio entre dos magnitudes del estímulo).

El umbral diferencial o (dmp) es la unidad de medida de la escala subjetiva del sujeto o escala psicológica. Veamos, mediante un ejemplo, como se establece esta escala psíquica a medida que varía la escala física. Supongamos que el UA para detectar un punto iluminado en una pantalla de ordenador es de 30 Lux (unidad fotométrica de iluminación), es decir, que por debajo de ese valor el sujeto no percibiría un punto luminoso. ¿Cuántos Lux habrá que aumentar la intensidad luminosa del punto para que el sujeto note un cambio de brillantez?. Supongamos que 3 Lux, luego, 1 dmp= $\Delta E = 3$ y por tanto:

$$K = \Delta E / E = 3 / 30 = 0.1$$

Adviértase que estamos indicando que al valor 30 (en la escala física) le corresponde el valor 0 en la escala de sensación (por ser el U.A.). Y que 1 dmp, en la escala psicológica, equivale a 3 Lux en la escala física. Ahora bien, si presentamos al sujeto un nuevo punto luminoso que tiene una intensidad de 33 Lux (30+3), ¿cuánto habrá que incrementar la intensidad luminosa del estímulo para que el sujeto sea capaz de detectar un cambio de brillo (otra dmp)?. Sabiendo que $K = 0.1$ y despejando en la Ley de Weber:

$$0.1 = \Delta E / 33; \quad \Delta E = (0.1) * 33 = 3,3 \text{ Lux}$$

Luego:

→ A 1 dmp le corresponderá: 3 Lux, cuando E= 30 Lux, y

→ A 1 dmp le corresponderá: 3,3 Lux, cuando E= 33 Lux

Evidentemente, no es que 3 Lux sean iguales a 3,3 Lux, sino que la sensación experimentada por el sujeto, en cada caso, es la misma. Estos incrementos mínimamente distinguibles (dmp) pueden utilizarse como unidades de medida, que nos permitan construir una escala psicológica de la sensación, al igual que las hay en Física para medir la longitud, el peso, etc. Si, de nuevo, presentamos al sujeto un punto en la pantalla, esta vez con una intensidad de 36,3 Lux (33+3,3), ¿cuánto habrá que incrementar, ahora, la intensidad luminosa del estímulo para que el sujeto sea capaz de detectar el cambio de brillo (otra dmp)? Puesto que $K= 0.1$ y despejando, nuevamente, en la Ley de Weber:

$$0.1 = \Delta E / 36,3; \quad \Delta E = (0.1) * 36,3 = 3,63 \text{ Lux}$$

Por lo que, así sucesivamente, la correspondencia de escalas resulta ser:

<u>ESCALA FISICA</u>	<u>ESCALA DE SENSACION</u>
30	0
33	1
36,3	2
39,93	3
etc.	etc.

Fechner, partió de un principio (la ley de Weber) y asumió un postulado: que todos los umbrales diferenciales eran subjetivamente equivalentes y, en consecuencia, el incremento de la sensación (ΔS) podía calcularse a partir de la "**constante de Weber**":

$$\Delta S = C \cdot \left(\frac{\Delta E}{E} \right)$$

Fórmula a la que denominó "**ley de Weber**" y en la que 'C' es una constante de proporcionalidad.

Posteriormente, este autor, obtuvo la función, que relaciona sensación y estímulo, al plantear una ecuación diferencial que resuelve por integración y a la fórmula resultante se le conoce como "**ley de Fechner**":

$$S = C \cdot \ln(E) + K \quad \text{donde } C = \text{constante de Fechner}$$

Si se desea utilizar los logaritmos decimales, en lugar de los logaritmos neperianos, basta con sustituir la 'constante C de Fechner' por la constante K de Weber, y realizar la transformación matemática, con lo que resulta:

$$S = K \cdot \log E \quad \text{donde } K = \text{constante de Weber}$$

E	ΔE	S
30	3	0
33	3,3	1
36,3	3,63	2
39,9	3,99	3

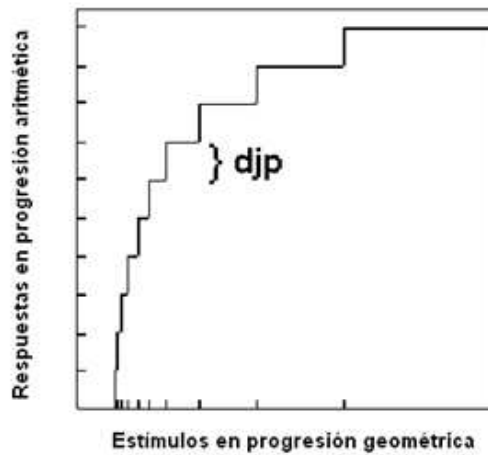


Figura.- Relación entre la intensidad del estímulo, los incrementos de intensidad requeridos para percibir un cambio (ΔE) y sensaciones del perceptor (en unidades de dmp= diferencia mínimamente perceptible).

Según la cual, *la intensidad de la sensación es proporcional al logaritmo de la intensidad del estímulo*. En otras palabras, la **ley de Fechner** indica que al aumentar la estimulación física en progresión geométrica, la sensación aumenta sólo en progresión aritmética.

E	S
20.00	0
22.00	1
24.20	2
26.62	3
29.28	4
32.21	5
35.43	6
38.97	7
42.87	8
47.16	9
51.87	10

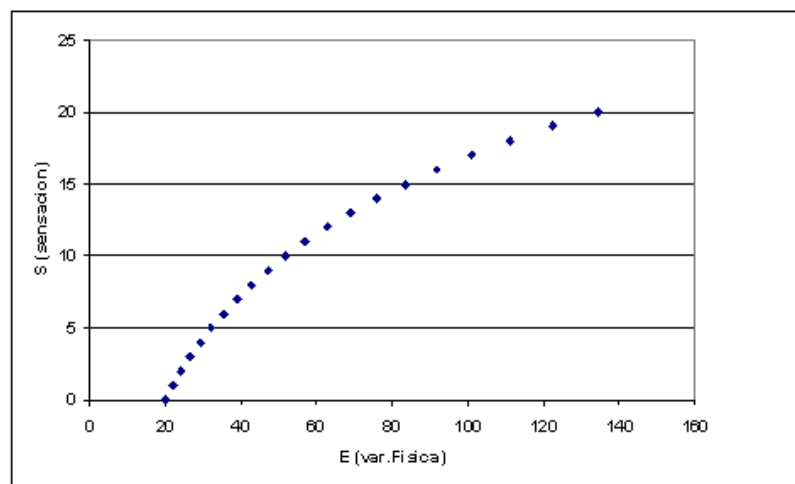


Figura.- Tabla de datos registrada en un experimento psicofísico y función que expresa el tipo de relación que existe entre los valores de intensidad del estímulo presentados en el experimento y la sensaciones que provocó en el perceptor. La forma de la función revela que se produce un ajuste logarítmico.

E	Log(E)	S
20.00	1.30	0
22.00	1.34	1
24.20	1.38	2
26.62	1.43	3
29.28	1.47	4
32.21	1.51	5
35.43	1.55	6
38.97	1.59	7
42.87	1.63	8
47.16	1.67	9
51.87	1.71	10

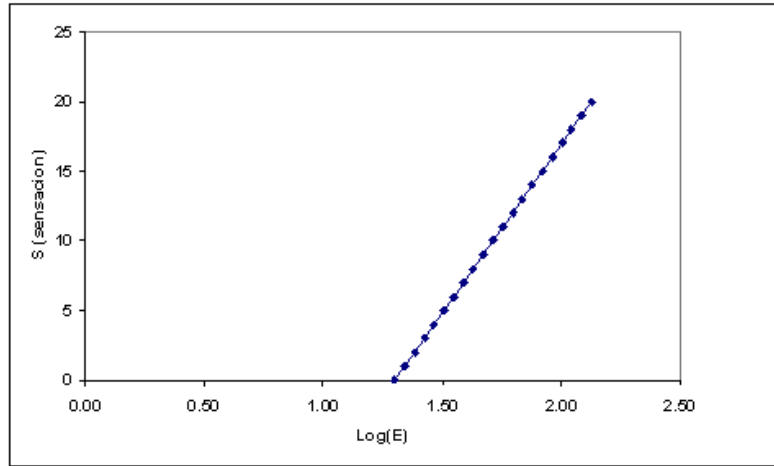


Figura.- Tabla que muestra la transformación logarítmica de los valores de intensidad del estímulo $\log(E)$ y la relación lineal que existe entre estos valores $\log(E)$ y la sensación que experimenta el receptor. De ahí se infiere que la Sensación es directamente proporcional (ajuste lineal) al logaritmo de la intensidad del estímulo, como señala la ley de Fechner: $S = K \cdot \log(E)$.

De especial interés es el hecho de que cuando 'E' (magnitud del estímulo) tiene el valor del umbral absoluto, 'S' es nula (vale cero), lo cual lleva a presuponer la existencia de sensaciones negativas, cuando el valor de la sensación (S) corresponde a valores de 'E' menores que el umbral, llamadas percepciones subliminales (¿el inconsciente?). En este sentido el UA podría considerarse como la puerta de acceso a la Consciencia. Por consiguiente, por *percepción subliminal* se entiende la percepción de un estímulo por parte de un sujeto sin que éste tenga consciencia de él. Por ejemplo, puede producirse cuando el estímulo está muy lejos, es de poca intensidad o se presenta durante un tiempo muy breve. Por razones éticas obvias, la utilización de la percepción subliminal en publicidad está prohibida; sin embargo, resulta difícil controlar ciertos mensajes subliminales que nos son enviados en determinadas circunstancias (anuncios, mítines, etc.).

Otra aportación de relevante interés se refiere a los tres métodos ideados por Fechner, basados en técnicas estadístico-matemáticas, que expondremos más adelante. Estos métodos son susceptibles de aplicarse a la determinación de los dos tipos de umbrales (absoluto y diferencial), como un medio que permite corregir estadísticamente la enorme variabilidad observada en dichos umbrales.

5. CRITICAS A LA PSICOFISICA CLASICA

La psicofísica clásica de Weber y Fechner despertó desde sus inicios un gran interés, sin embargo, no está exenta de críticas debido a las insuficiencias que se hicieron patentes con su aplicación.

La ley de Weber fue muy influyente en el ambiente de su época, fundamentalmente por tres razones:

- 1) Debido al gran prestigio de que gozaba Fechner (6 años más joven que Weber), quien la asumió para deducir su función logarítmica.
- 2) Porque dicha ley abría la posibilidad de estudiar la percepción humana mediante métodos científicos. A partir de ella, una persona podía considerarse como una especie de instrumento de medida, que codifica estímulos externos en términos de una escala interna. Además, las técnicas utilizadas por Weber permitían investigar problemas experimentales de candente interés, tales como:
 - ¿Qué rango de valores del estímulo se codifican?
 - ¿Cuál es el poder de resolución (agudeza) de la codificación para diferentes propiedades del estímulo?
 - ¿Depende la codificación del tipo de estímulo?
- 3) Finalmente, la ley de Weber podía proporcionar un índice válido de la sensibilidad relativa de cada canal sensorial.

► A pesar de todo, esta ley chocó pronto con dos objeciones experimentales:

- I) La ley se ajustaba perfectamente con valores de intensidad media, pero con los valores extremos de la escala (estímulos de alta o baja intensidad) los datos recogidos no se ajustaban a dicha ley.
- II) Además, la ley no parecía válida para todas las modalidades sensoriales, no era tan universal como en un principio se creía. En otras palabras, para cada sentido se encontraba una constante diferente.

► Por todo ello, no tardaron en proponerse nuevas alternativas y reformulaciones.

El trabajo de Fechner, igualmente, despertó gran interés, generó abundantes experimentos y, por supuesto, no menos polémica que el de Weber. Básicamente, las críticas se centran en torno a dos cuestiones:

- a) ¿Existe realmente el umbral?
- b) ¿Es posible la medición de eventos subjetivos?

A) El problema del umbral se centra, esencialmente, en si la excitación sensorial es 'continua' o 'discontinua' como suponían los pioneros de la psicofísica (ley del todo o nada para que se alcance el umbral y se dispare la respuesta).

Numerosas investigaciones apoyan el argumento de la continuidad, ya que hay, al menos, dos factores no-sensoriales que influyen claramente en la percepción:

- La probabilidad 'a priori' de aparición del estímulo.
- Las consecuencias de la respuesta para el sujeto, expresadas en términos de pérdidas o ganancias.

Los clásicos de la psicofísica ya advirtieron estas dos fuentes de variación y para controlarlas empleaban dos estrategias:

1. Utilizar sujetos entrenados
2. Aplicar una corrección estadística a los datos.

Como veremos, la TDS superará el problema del umbral, que daba fundamento a la psicofísica clásica, ofreciendo otra alternativa mejor.

B) El problema de la medición subjetiva, es en el fondo un problema epistemológico, ya que el núcleo central de la cuestión estriba en la legitimidad o validez de la medición de fenómenos subjetivos. En general, se admite la validez de la medida subjetiva como un caso más de medición indirecta, análogamente a la medida de la corriente eléctrica por un galvanómetro (enfoque neopositivista y pragmático).

► Además de los problemas señalados, la Ley de Fechner topó con otras objeciones, tales como:

- La inconstancia en los distintos sentidos y rangos estímulares (críticas a Weber).
- La variación del UD con el ruido del sistema sensorial.
- La legitimidad de la integración matemática realizada por Fechner.

• A pesar de sus insuficiencias, la psicofísica clásica aportó ideas importantísimas para los posteriores desarrollos de la psicofísica. Por citar algunas:

- ⇒ La imperfección de los sujetos humanos como instrumentos de medida.
- ⇒ La inconstancia o variabilidad del umbral.
- ⇒ La variación de la sensibilidad en función del continuo estimular.

6. LOS METODOS DE LA PSICOFISICA CLASICA O METODOS INDIRECTOS

Para determinar los umbrales (absoluto y diferencial), y verificar sus hipótesis, el propio Fechner elaboró unos procedimientos experimentales conocidos con la denominación de métodos psicofísicos clásicos, que fundamentalmente son tres:

- Método de los límites o mínimos.
- Método del error promedio o ajuste.
- Método de los estímulos constantes.

Señalaremos que todos ellos permiten obtener una aproximación estadística tanto del umbral absoluto como del umbral diferencial, si bien el método de los estímulos constantes ha sido el más frecuentemente utilizado. Para la elección de uno u otro de estos métodos, el experimentador deberá tener en consideración diversos factores entre los que destacamos:

- ⇒ La disponibilidad de valores continuos o discretos de los estímulos de comparación.
- ⇒ El deseo de evitar posibles errores de juicio (habitación, anticipación, etc.).
- ⇒ El tiempo disponible para la recogida de datos, etc.

También, resulta preferible la utilización de sujetos no entrenados cuando los resultados vayan a ser considerados representativos de la población de estudio.

Existen tres tipos de diseños básicos que suelen aplicarse a los experimentos psicofísicos:

- 1) Diseños con respuestas “**Si / No**”. En cada ensayo se presenta un solo estímulo y el observador debe responder “si” lo detecta ó “no” lo detecta. Luego, el experimentador calcula la proporción de respuestas positivas (Si) y de respuestas negativas (No) y, con una de esta proporciones hace un gráfico en el que representa, en el eje de abscisas los valores de intensidad del estímulo (variable física) y en el eje de ordenadas las proporciones de respuesta del sujeto, que fluctuaron entre 0 y 1. En otras palabras, el eje X es el “eje de estímulos” y el eje Y es el “eje de decisión”.
- 2) Diseños tipo “**forced-choice**” (elección forzada). En cada ensayo se presentan dos estímulos (simultánea o secuencialmente), uno de los cuales es el estímulo *target* (diana) y el observador debe responder, por ejemplo, en que lado aparece el *target* ó sin apareció en primer o en segundo lugar.
- 2) Diseños tipo **2AFC** (Elección forzada entre dos alternativas). En cada ensayo se presentan dos estímulos (simultánea o secuencialmente), uno de los cuales es el estímulo estándar (Std) y el otro el estímulo de comparación (Cmp). El perceptor debe establecer alguna comparación entre ellos y responder, por ejemplo, si $Cmp > Std$ (Cmp es mayor en intensidad que el Std) o $Cmp < Std$ (Cmp es menor en intensidad que el Std).

Los métodos psicofísicos continúan aplicándose, principalmente para establecer la agudeza y sensibilidad en los juicios de apreciación, de tamaño, forma, posición, intensidad, movimiento y cualquier otra propiedad de los objetos. Veámoslos:

METODO DE AJUSTE

Es uno de los más antiguos y fundamental de la Psicofísica. Según Titchener (1905) procede de la Física y la Astronomía. Fechner (1960) lo introdujo en Psicología al describirlo en su obra 'Elementos de la Psicofísica'. Además de 'Método de ajuste' ha recibido otras denominaciones: 'método del error promedio', 'método de reproducción', etc.

Recibe el nombre de método de ajuste porque en él, el sujeto debe ajustar o manipular la intensidad del estímulo hasta, que sea capaz de percibirlo (UA) o hasta que iguale a otro estímulo de comparación (UD).

Este método resulta el más natural a los sujetos que lo usan porque son ellos mismos, y no el experimentador, quienes manipulan personalmente la intensidad del estímulo, aumentando su valor en los 'Ensayos Ascendentes' o disminuyendo su valor en los 'Ensayos Descendentes', lo cual hace que resulten altamente motivados los sujetos.

*** Obtención del UA:**

Para encontrar el valor de intensidad física del Umbral Absoluto (medir el UA), el experimentador debe conocer, aproximadamente, en torno a que cifras fluctúa el UA, por lo que generalmente realiza un estudio piloto (con uno, dos o tres sujetos) para averiguar una estimación aproximada.

Después, el experimentador coloca al azar la intensidad del estímulo (por encima o por debajo del supuesto valor del UA) y el sujeto debe ir, ya sea aumentando su valor o disminuyéndolo en intensidad hasta que logra percibirlo (Ensayos Ascendentes) o deja de percibirlo (Ensayos Descendentes), según el experimentador lo hubiese situado por debajo o por encima del hipotético UA, respectivamente. Tras varios ensayos, por lo general al menos 5 Ascendentes y otros 5 Descendentes, el experimentador calcula un índice estadístico de tendencia central (media aritmética, media geométrica o mediana) y ese es el valor del UA.

Veamos un ejemplo: Deseamos averiguar el UA de un punto iluminado en una pantalla de ordenador. Para ello, situamos la intensidad luminosa de la pantalla a un nivel, por ejemplo de 2 Lux, y solicitamos al sujeto que ajuste el control del brillo hasta el mínimo valor que le permita percibir el punto. Medimos con un Luxómetro la intensidad luminosa de dicho punto (por ejem., 32 Lux) y ese es el valor del primer ensayo (Ensayo Ascendente). Anotamos este valor en una tabla y comenzamos otro ensayo, ahora Descendente. El examinador

coloca la intensidad del punto, por ejemplo, a 200 Lux y solicita de nuevo al sujeto que regule (ajuste) el control de la intensidad hasta que deje de percibir el punto. Supongamos que el sujeto ha ajustado la intensidad a 28 Lux. Así continuaríamos la prueba hasta completar 5 ensayos Ascendentes y otros 5 Descendentes. Supongamos que se han obtenido los siguientes datos:

A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
32	28	33	27	26	34	30	30	29	31

$$UA = \frac{32 + 28 + 33 + 27 + 26 + 34 + 30 + 30 + 29 + 31}{10} = 30$$

*** Obtención del UD:**

Calculando la desviación típica de la distribución de los ajustes realizados por el sujeto podemos obtener el Umbral Diferencial o dmp (diferencia mínima perceptible).

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\sum x^2}{N} - m^2\right)} \quad \text{Donde } m = \frac{\sum x_i}{N} \text{ (media aritmética)}$$

En nuestro ejemplo, m= 30.

Para obtener el UD, lo más frecuente es que el experimentador muestre al sujeto un 'Estímulo Estándar', con un valor de intensidad comprendido entre el UA inferior y el UA superior, y éste último tiene que ajustar otro 'Estímulo de Comparación' hasta conseguir la igualación en intensidad.

Aplicándolo a nuestro ejemplo, tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{9.060}{10} - (30)^2\right)} = \sqrt{6} = 2,45$$

A continuación obtenemos el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS), que no es otro que la media:

$$PIS = \frac{\sum x}{N} = 300 / 10 = 30$$

Seguidamente, hallamos el intervalo correspondiente al Umbral Diferencial (UD):

$$UD = PIS \pm 1 Sx = 30 \pm 2,45 = (27,55 \div 32,45)$$

Además, puesto que el experimentador conoce el valor del 'Estímulo Estándar' (EE), podemos calculamos el

Error Constante (EC): $EC = PIS - EE$

X	X ²
32	1024
28	784
33	1089
27	729
26	676
34	1156
30	900
30	900
29	841
31	961
$\Sigma=300$	$\Sigma=9060$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{9060}{10} - 900} = \sqrt{6} = 2.45$$

*** Valoración crítica:**

El método de ajuste tiene la gran ventaja de ser económico en tiempo (con pocos ensayos se obtiene el UA o el UD). También se muestra muy indicado cuando los estímulos son continuos y no discretos. Además, como se ha dicho, resulta atractivo y motivante para los sujetos por el hecho de ser parte activa del experimento; sin embargo, se le han reprochado los siguientes puntos débiles:

- 1) Podría influir la habilidad o torpeza manual del sujeto al realizar los ajustes. Aunque esto podría superarse utilizando tecnología que permita el ajuste fino y la posibilidad de rectificación.
- 2) Parece ser que, en la obtención del UD, genera un error temporal constante, ya que, en lugar de contrabalancearse el orden de presentación de los dos estímulos, la sucesión siempre es:
Estím.-Estandar → Estím. -Comparación.
- 3) También puede generar otro error temporal aleatorio. En efecto, los tiempos que los sujetos invierten en realizar el ajuste son muy variables, de modo que hay sujetos que acentúan la rapidez de la ejecución con menoscabo de la precisión, mientras que otros se centran en la exactitud, sin preocuparse del tiempo empleado.

Lo razonable parece ser dejar que el sujeto trabaje 'a su aire', siempre que éste caiga dentro de unos límites sensatos.

METODO DE LOS LIMITES

También conocido como 'Método de las diferencias mínimamente perceptibles', o 'Método de los cambios mínimos', o 'Método de exploración seriada'. Aquí, a diferencia del anterior (ajuste), es el experimentador y no el sujeto quien manipula la intensidad del estímulo de forma sistemática, limitándose el sujeto a emitir sus juicios, que deben indicar SI/NO percibe el estímulo (en la obtención del UA) o si el Estímulo de Comparación es de intensidad 'igual, mayor o menor' que el Estímulo Standard (en la obtención del UD).

* Obtención del UA:

Para calcular el UA el experimentador fija al azar un valor del estímulo, por encima o por debajo del presunto umbral, previamente sondeado, y el propio experimentador va aumentando o disminuyendo su intensidad (según el ensayo sea *ascendente* o *descendente*) hasta que el sujeto perciba dicho estímulo (ensayo ascendente) o deje de percibirlo (ens. descendente). Se repiten varios ensayos ascendentes, seguidos en fija alternancia con otros tantos ensayos Descendente, y el valor promedio (media aritmética) se considera el UA.

Veamos un ejemplo: Supongamos que los valores de la tabla proceden de un experimento sobre el umbral de detección de la intensidad luminosa de un punto sobre una pantalla. Para simplificar, aquí se han realizado 3 series ascendente y otras 3 descendentes.

E	A	D	A	D	A	D
26	NO		NO		NO	
27	NO	NO	NO		NO	
28	NO	SI	NO	NO	NO	
29	NO	SI	NO	SI	NO	
30	NO	SI	NO	SI	SI	NO
31	NO	SI	NO	SI		SI
32	NO	SI	SI	SI		SI
33	SI	SI		SI		SI
34		SI		SI		SI
35		SI		SI		SI
36		SI		SI		SI
MEDIA	32.5	27.5	31.5	28.5	29.5	30.5

En la columna 'E' aparecen los valores del estímulo manipulados por el experimentador. Las columnas 'A' o 'D' indican, respectivamente, si el ensayo es Ascendente o Descendente. El 'SI' indica que el sujeto percibe el estímulo y el 'NO' que no lo percibe.

En la última fila consta el valor registrado en cada ensayo, como promedio entre los valores donde se invierte la tendencia de la respuesta.

$$UA = \frac{32.5 + 27.5 + 31.5 + 28.5 + 29.5 + 30.5}{6} = 30$$

*** Obtención del UD:**

El método de obtención del UD, también denominado '*Método de las cmp*', a las que dio origen, comienza seleccionando el experimentador un valor de intensidad del estímulo, al que denominaremos 'Estímulo Estándar' (Std), comprendido entre el UA superior y el UA inferior. Luego el experimentador presentará el Estímulo de Comparación (Cmp) e irá formando una serie Ascendente, en la que el sujeto deberá juzgar si el Cmp es 'menor', 'igual' o 'mayor' que el Std. A esta serie seguirá otra descendente, y así sucesivamente un número suficiente de veces (ensayos).

Obsérvese que aquí tendremos un intervalo en torno al Std producido por el cambio de juicio del sujeto, lo que producirá dos medias (media superior o Umbral Alto [UA] y media inferior o Umbral Bajo [UB]).

→ Veamos un ejemplo sintetizado en esta tabla:

E	A	D	A	D	A	D
46	-		-		-	
48	-	-	-	-	=	
Std=50	=	=	-	=	+	-
52	+	+	=	+		=
54		+	+	+		+
Ms(UA)	51	51	53	51	49	53
Mi(UB)	49	49	51	49	47	51

$UD = \frac{Ms - Mi}{2}$

$$M_s = \frac{51 + 51 + 53 + 51 + 49 + 53}{6} = \frac{308}{6} = 51.33$$

$$M_i = \frac{49 + 49 + 51 + 49 + 47 + 51}{6} = \frac{296}{6} = 49.33$$

$$UD = \frac{51.33 - 49.33}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

$$PIS = (M_s + M_i) / 2 = (51.33 + 49.33) / 2 = 50.33$$

$$EC = PIS - Std = 50.33 - 50 = 0.33$$

*** Valoración crítica:**

El método de los límites, a pesar de ser muy laborioso, ha sido uno de los más utilizados por su flexibilidad y adaptación a diferentes estímulos y situaciones; sin embargo se le han atribuido, principalmente, cuatro fuentes de error:

- I) Error de habituación: debido a la tendencia del sujeto a seguir dando la misma respuesta (+, =, -) durante un período de tiempo amplio (responde por inercia).
 - II) Error de expectativa o de anticipación: cuando el sujeto comienza a prever la ubicación del umbral (o del Std) cambia anticipadamente el juicio de sus respuestas precisamente por su expectativa de cambio.
 - III) Errores de estímulo. En general son llamados así todos aquellos errores cometidos por el sujeto debido a que basa su juicio en aspectos irrelevantes del estímulo. Pero en particular, en este método, se deriva uno que acontece en función del tamaño entre los pasos los estímulos presentados. Concretamente, los investigadores suelen presentar los estímulos más espaciados en intensidad en los extremos de la escala y más afines en torno al presunto valor del umbral. Para evitar dar pistas al sujeto conviene variar el tamaño de las series en algunos pasos.
 - IV) También puede dar lugar a errores la determinación del experimentador sobre cuando dar por terminada la serie, ya que después de un cambio en el sentido de la respuesta nadie nos asegura que el sujeto no vuelva a invertir la tendencia (sea inconsistente). Para evitar esto, algunos investigadores suelen finalizar cada serie tras dos respuestas consistentes, aunque el error de estimación del umbral cometido no es muy grande, en relación al criterio de terminar la serie tras un cambio.
- Para evitar los problemas citados algunos autores han propuesto numerosas variantes de este método.

METODO DE LOS ESTIMULOS CONSTANTES

Denominado inicialmente por Fechner '*Método de los casos verdaderos y falsos*'. Actualmente, parece más acorde la primera denominación, ya que, a lo largo del experimento se presentan repetidamente los mismos estímulos (constantes), pero distribuidos aleatoriamente (al azar).

Al igual que en método de los límites, el sujeto debe informar si el estímulo de comparación (Cmp) es mayor, igual o menor que estímulo estándar (Std). Sin embargo, a diferencia de aquel, en el que los estímulos se presentaban en orden secuencial (ya sea Ascendente o Descendente), en este método los estímulos se presentan en orden aleatorio, de modo que se evitan los errores de 'habitación' y 'anticipación'. También varía el procedimiento de cálculo del UA y del UD como veremos a continuación.

* Obtención del UA:

Primero el investigador selecciona un rango entre 5 y 9 valores de intensidad del estímulo, que supone contienen el valor del umbral (a veces es preciso un experimento exploratorio para estimar aproximadamente el UA, por ejem., mediante el método de los límites). Cada uno de estos valores del estímulo se le presentan al sujeto, aleatoriamente, un elevado número de veces, registrándose el porcentaje de veces que lo detectó (respuesta SI). Finalmente, el experimentador elige como UA aquella magnitud del estímulo que fue percibida el 50% de las veces. Es decir, aquí se define el UA como la mediana de la distribución de los valores del estímulo.

→ Veamos un ejemplo sencillo que se halla esquematizado en la tabla siguiente:

E	Frec.	Prob.	
10	1	0.05	
15	2	0.10	
20	4	0.20	
25	6	0.30	
30	10	0.50	← UMBRAL ABS.
35	14	0.70	
40	17	0.85	
45	18	0.90	
50	19	0.95	

En la tabla se han registrado los datos de un experimento que pretende averiguar el Umbral de detección de un

punto luminoso en la pantalla. En la columna 'E' aparecen los valores del estímulo que se han presentado a un sujeto (20 veces cada uno). En la columna 'Frec.' consta el número de veces que cada estímulo ha sido percibido por el sujeto. Y en la columna 'Prob' se expresa la probabilidad de ser detectado de cada valor de intensidad del estímulo [Frec / N° veces que se presentó (20 en nuestro ejemplo)].

Para hallar el UA buscamos el valor del estímulo que ha sido percibido el 50% de las veces. Este valor es 30, luego UA= 30.

Como fácilmente uno pudiera imaginarse, no siempre el valor del UA corresponde con un valor del estímulo elegido por el experimentador, lo más frecuente es que se sitúe entre dos valores del estímulo, por lo que deberemos realizar una interpolación lineal (regla de tres) para averiguar el valor del estímulo que es percibido en el 50% de las ocasiones, si bien, lo más recomendable es obtenerlo por el *método de mínimos cuadrados* (véase Bonnet, 1986). Por ejemplo:

E	Frec.	Prob.
...
29	5	0.40
31	8	0.65
...

$$31 - 29 = 2; \quad 0.65 - 0.40 = 0.25; \quad 0.50 - 0.40 = 0.10$$

$$\begin{array}{l} \text{Si a } 2 \longrightarrow 0.25 \\ \text{a X} \longrightarrow 0.10 \end{array} \quad \left| \right.$$

$$X = (0.10 * 2) / 0.25 = 0.8 \rightarrow \text{Luego: UA} = 29 + 0.8 = \mathbf{29.8}$$

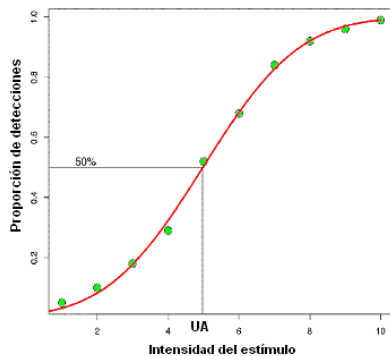


Figura. Obtención del UA mediante ajuste de la función gaussiana acumulativa a los datos empíricos.

*** Obtención del UD:**

Se calcula estadísticamente de modo indirecto. Para ello, suele elegir el experimentador entre 7 y 9 valores de intensidad del Estímulo de Comparación (Cmp), por encima del UA inferior, y centrados en torno de un Estímulo Estandard (Std).

Cada Cmp se presenta con el Std, contrabalanceando el orden de presentación, para evitar el 'efecto de orden' (experiencia residual), luego se mezclan al azar todos los ensayos resultantes, a fin de presentarlos al sujeto en orden aleatorio. El sujeto suele ser forzado a responder dicotómicamente (mayor / menor) respecto al Std.

El UD se obtiene al calcular la semidiferencia entre el tercer cuartil (Q_3) y el primer cuartil (Q_1) de la distribución de valores del estímulo.

→ Veamos un caso concreto:

En la tabla que se muestra aparecen las frecuencias y proporciones "mayor que" obtenidas con un Std= 30 y los Cmp que se observan en la columna E, después de 50 presentaciones para cada Cmp:

E	Frec.	Prob.
15	2	0.04
20	3	0.06
25	12	0.24
30	20	0.40
35	34	0.68
40	39	0.78
45	46	0.92

$$\begin{array}{l} Q_3 = P_{75} = 38 \\ Q_1 = P_{25} = 25. \end{array} \quad UD = \frac{Q_3 - Q_1}{2} = \frac{38 - 25.3}{2} = \frac{12.7}{2} = 6.35$$

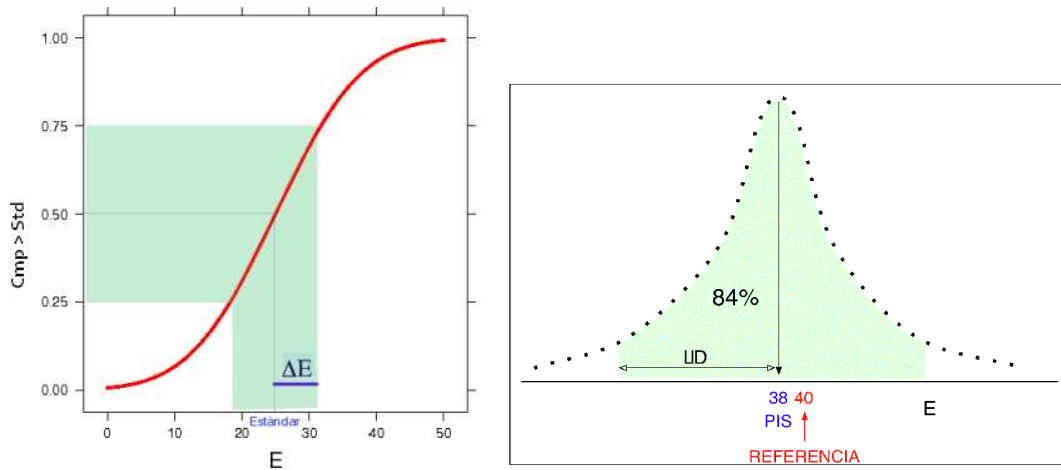


Figura.- Función psicométrica (ajustando una función gaussiana acumulativa a los datos), que muestra el intervalo semi-inter-cuartílico (IQ).

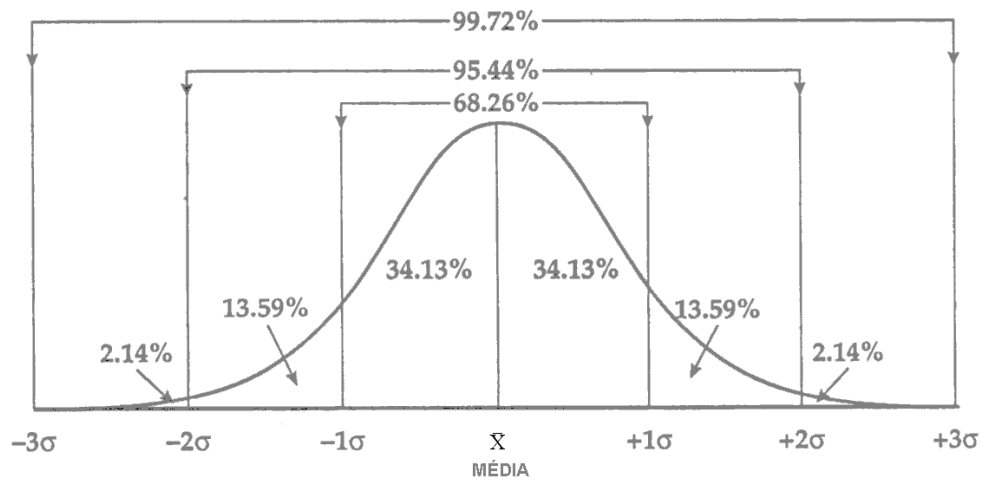


Figura.- Función de Laplace-Gauss y porcentajes de área bajo la curva que corresponden a diversos valores de la variable comprendidos entre ciertos intervalos en torno a desviaciones típicas.

*** Valoración crítica:**

El método de los estímulos constantes ha sido el más utilizado en la investigación, hasta la fecha, tanto para determinar el UA como el UD, por considerarse más exacto que el método de los límites (mayor precisión en la

obtención del UA y del UD), debido a que se somete a los sujetos a un mayor número de ensayos. Sin embargo, por esta razón se deriva su inconveniente más destacable, ya que, al producirse mayor fatiga suele incrementarse el número de errores en los juicios de los sujetos. También, por la misma razón, no resulta muy económico en términos del tiempo de aplicación o duración de la prueba.

También presenta la ventaja de eliminar los dos errores típicos que generaban el método de los límites, a saber, el 'error de habituación' y el 'error de anticipación'.

AJUSTE DE MODELOS MATEMATICOS A LOS DATOS EMPIRICOS

Los datos registrados en los experimentos psicofísicos, una vez tabulados, se representan en graficas bivariadas (en el caso de escalamiento unidimensional). La forma de la función revela la relación psicofísica entre el perceptor y el medio, el ajuste o correspondencia psicofísica. La figura de más abajo, muestra tres tipos distintos de funciones.

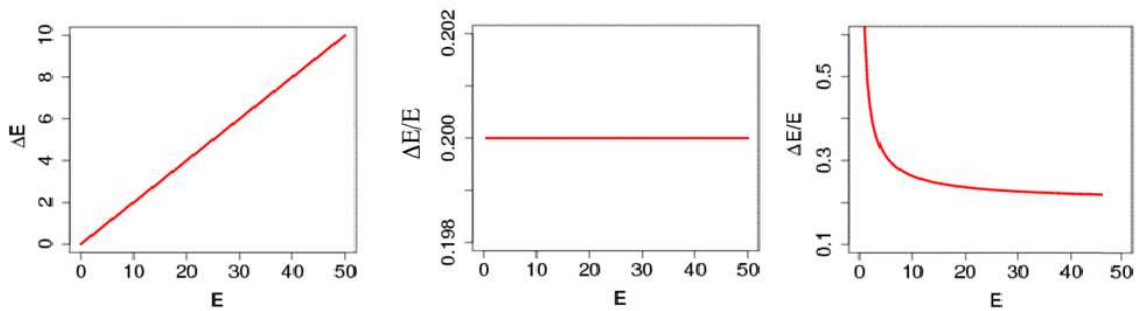


Figura.- Funciones habituales en Psicofísica: Función lineal (izquierda), función constante (centro) y función de Weber.

En general los experimentos psicofísicos revelan información sobre ciertas propiedades del mecanismo sensorial responsable del procesamiento de alguna dimensión del estímulo (luminancia, longitud de onda, tamaño, distancia, frecuencia, sonoridad, etc.). Dos de estas propiedades de los mecanismos son:

1) relativa a la fidelidad o **exactitud** del mecanismo: ¿cuánto error cometen los sujetos al detectar o discriminar el estímulo? Y se calcula mediante la diferencia entre el PIO (Punto o valor de igualdad objetivo, que es el valor del estímulo estándar o de referencia) y el PIS (Punto o valor de igualdad subjetivo, que es el valor asignado o estimado por el perceptor). A esta diferencia se le llama Error Constante (EC) , siendo $EC = PIS - PIO$. Obviamente, el signo de este error nos indica el sesgo de respuesta del perceptor. Si el valor es positivo, éste

tiende a sobrevalorar (sobreestimación) la intensidad del estímulo, mientras que si el valor es negativo, refleja que el perceptor subestima dicha intensidad estimular. También suele calcularse mediante el la RECM (o RMSE en inglés: *Root Mean Square Error*), que se obtiene a partir de las diferencias cuadráticas a la media, mediante el método de mínimos cuadrados. La obtención del valor del umbral (UA ó UD) se relaciona con esta propiedad (exactitud) del mecanismo.

2) La **precisión** del mecanismo responsable del procesamiento perceptivo, es decir, ante que rango de valores de intensidad del estímulo el sujeto responde con mayor finura (detecta o discrimina mejor). En otras palabras, ¿el cambio de sensación (inducido por el cambio de intensidad del estímulo) de que magnitud es, para un cierto intervalo de intensidades estimulares? ¿se ajusta a una escala lineal?, esto es, a incrementos de intensidad física iguales, corresponden incrementos de sensación también equivalentes O, por el contrario ¿se ajusta a una escala no-lineal?, esto es, a incrementos de intensidad física iguales, corresponden incrementos de sensación diferentes (compresión o dilatación del valor percibido). La precisión suele valorarse a partir de diferentes parámetros, a saber:

a) La *desviación típica* (σ) de la gaussiana (en caso de ajuste a la función gaussiana), que indica la pendiente (*slope*) de dicha función. Cuando la pendiente es muy abrupta, entonces el mecanismo es muy sensible, mientras que si el *slope* es muy aplanado, el mecanismo es tosco, con poca finura discriminativa o precisión, sugiriendo mayor incertidumbre del sujeto en sus respuestas. Un observador ideal tendría como función psicométrica la función escalón.

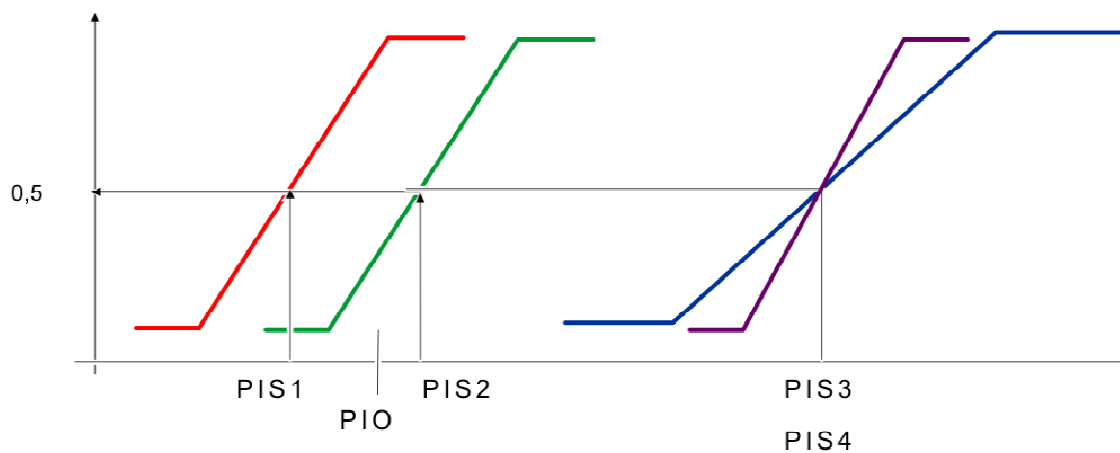


Figura .- A la izquierda del gráfico, dos funciones psicométricas con el mismo *slope* (pendiente) y diferente PIS. A la derecha del gráfico, dos funciones psicométricas con el mismo PIS, pero con diferente *slope* (pendiente).

El PIS señala la localización de la función, respecto al PIO (sesgo de respuesta), mientras que el *slope* indica el rango dinámico de discriminaciones, cuanto más extendido sea, más grandes las unidades de medida del mecanismo y, por tanto, menos preciso.

b) El valor del *umbral diferencial* (diferencia intercuartiles) también indica la precisión.

c) La *fracción de Weber*, que resulta al dividir el UD entre el valor del PIO (estímulo estándar) expresa la precisión de modo independiente de las unidades de medida del estímulo.

Estos parámetros deben ser comparados cuando pretendemos contrastar dos condiciones experimentales que difieren en algún factor manipulado o cuando comparamos grupos de poblaciones diferentes.

7. LA PSICOFISICA MODERNA DE STEVENS

En la psicofísica fechneriana la medición de la sensación se realizaba indirectamente a través de las magnitudes físicas. Por eso se les denominaban métodos indirectos, ya que utilizaban medidas acumulativas, porque se basan en acumular dmp para igualar la magnitud correspondiente.

Frente a los métodos psicofísicos fechnerianos o indirectos, Stevens planteó hacer medidas directas sobre el continuo de sensación y, para ello, creó los métodos psicofísicos directos.

- Los métodos psicofísicos directos se basan fundamentalmente en emparejamientos de estímulos.
- Los emparejamientos no se hacen con un patrón de medida, sino que se utilizan en referencia a unas cantidades arbitrariamente elegidas.

El principal exponente de esta nueva reconversión de la psicofísica fechneriana es S.S. Stevens; sin embargo, los antecedentes científicos de la nueva orientación se remontan a numerosos trabajos e investigaciones que cuestionaban la ley de Fechner ($S = K \cdot \log E$). Entre estos sobresale el nuevo planteamiento metodológico esbozado por L.L. **Thurstone** en 1929, para estudiar las relaciones entre escalas psicológicas (no físicas) y respuestas subjetivas del sujeto, que él mismo denominó '**psicofísica subjetiva**' o dependiente de la estimación del sujeto sobre una serie de estímulos psicológicos (no físicos). Por ejemplo, actitud de los sujetos ante el aborto, gustos de consumo, preferencias de programas televisivos, etc.

Hacia 1930, Richardson y Ross, investigando con audiciones, observaron una relación exponencial entre las estimaciones sonoras y la presión sonora $E = \sqrt{I}$.

En 1936 **S.S Stevens** se interesó por las escalas subjetivas de sonoridad (juicios de estimación de la intensidad

del sonido), proponiendo una unidad de medida subjetiva de la sonoridad, el 'son', definido como la sonoridad percibida ante un tono de 40 dB y 1000 Hz. Demostró la existencia de una función exponencial entre la sonoridad estimada por el sujeto (R = respuesta observable) y la intensidad sonora (E = magnitud del estímulo), según la cual:

$$R = C \cdot E^n$$

Ley de Stevens

En la cual 'n' es la pendiente que varía según la modalidad sensorial, o expresando dicha relación en forma logarítmica:

$$\log R = n \cdot \log E + \log C.$$

Donde: n depende de la modalidad sensorial y de las condiciones ambientales, y C es una constante de proporcionalidad arbitraria que determina la unidad de la escala.

Esta ley, conocida como **ley potencial** (o *ley de Stevens*), predice que los cambios en la magnitud del estímulo producen cambios equivalentes en la sensación. Es decir, a diferencia de la *ley de Fechner*, ambas (la magnitud del estímulo y la sensación) crecen en forma logarítmica.

La forma que adopta la representación gráfica de la función potencial depende del valor de 'n' (exponente de la función). En la Figura IX puede observarse que si $n=1$, la función es lineal (proporcionalidad directa); si $n>1$, la curva resulta positivamente acelerada; y si $n<1$, la curva es negativamente acelerada.

En la Figura X, se hallan representadas estas mismas funciones (según el valor del exponente 'n') transformando sus valores a coordenadas logarítmicas.

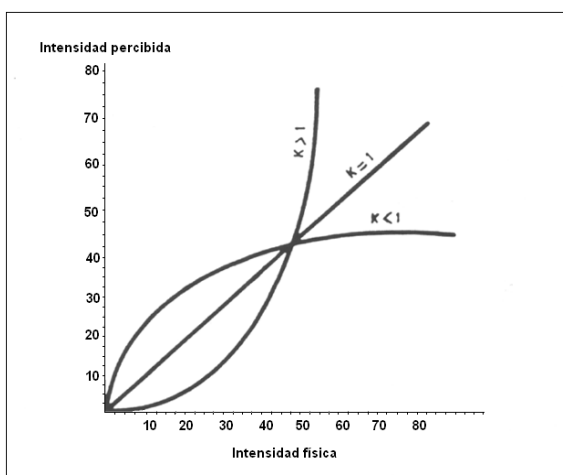


Figura IX.- Posibles formas que puede adoptar la función potencial: a) logarítmica: si $k < 1$, b) lineal: si $k = 1$, y c) exponencial: si $k > 1$. La forma de la función potencial cambia para distintos valores del exponente.

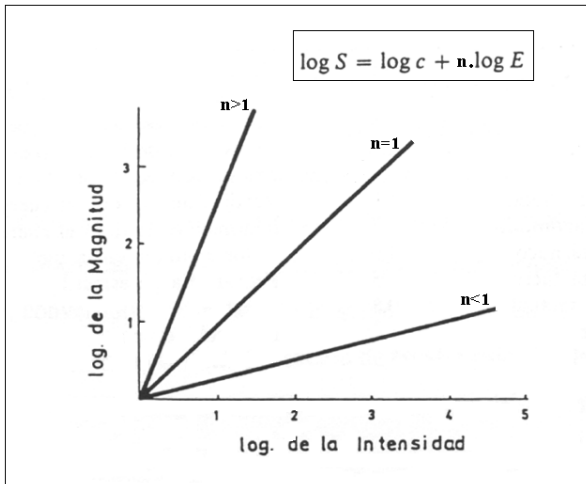


FIGURA X.- Funciones potenciales para distintos valores del exponente, en coordenadas logarítmicas.

7.1 INTERPRETACION DE LAS FUNCIONES PSICOMETRICAS

Desde que en 1860 Fechner publicase “Los elementos de la Psicofísica”, se venían aplicando los métodos de la Psicofísica clásica en experimentación sobre la sensorialidad. Los resultados de estas investigaciones mostraban que la función lineal propuesta por Weber ($\Delta E = k \cdot E$) no siempre ajustaba bien a los datos. Particularmente, para valores extremos de la intensidad del estímulo (o muy pequeños o muy grandes). Por otra parte, tampoco ajustaba a los datos recolectados en todos los experimentos, de modo adecuado, la función logarítmica propuesta por Fechner [$S = k \cdot \log(E)$]. Por esta razón, a mediados del s XX, un psicofísico norteamericano, S.S. Stevens, propuso una ley psicofísica alternativa, según la cual la ecuación fundamental de la psicofísica debía corresponder con la función potencial $y = x^k$ (que no debe confundirse con la función potencial: $y = ax$, ya que esta es un caso particular de la primera). Es sabido que la función potencial puede adoptar tres posibles formas, dependiendo del valor del exponente (k , que es constante para una propiedad sensorial concreta). Estas formas de curva diferenciadas son:

- 1) cuando $k < 1$, la forma de la función es similar a la de la función logarítmica.
- 2) cuando $k = 1$, la forma de la función es similar a la de la función identidad (lineal).
- 3) cuando $k > 1$, la forma de la función es similar a la de la función exponencial.

Y la forma de estas funciones sugieren que tanto la función de Weber (función lineal) como la función de Fechner (logarítmica) constituyen casos particulares de una Ley General de la Psicofísica (Ley Potencial de Stevens) de mayor rango.

La figura IX (ver mas arriba) muestra estas tres formas de curvas. Ahora bien, puesto que la forma de la función psicométrica puede variar según cambie la propiedad sensorial ¿cómo debemos interpretar la función psicométrica obtenida a partir de la Ley Potencial de Stevens? La respuesta a esta cuestión es que la forma adoptada por la función psicométrica nos indica cómo es el acoplamiento (adaptación evolutiva) al mundo físico del mecanismo sensorial que procesa dicha propiedad estimular. Efectivamente, un mecanismo sensorial que operase de acuerdo con la función representada en la Figura XI, cuya forma recuerda la de la función logarítmica, mostraría gran sensibilidad para valores pequeños de intensidad del estímulo, pero tendría poca sensibilidad para valores grandes de intensidad del estímulo. Obsérvese que a incrementos del mismo tamaño en la variable física (intensidad física) le corresponden progresivos incrementos decrecientes en la variable sensorial (intensidad percibida).

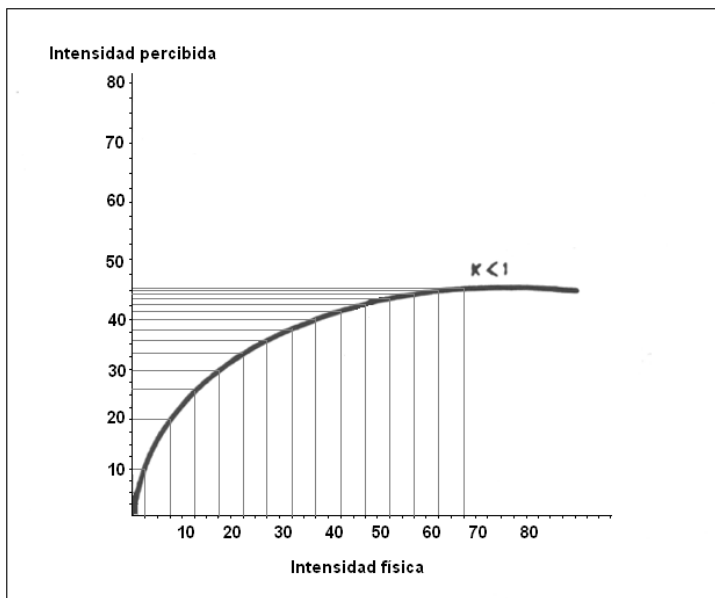


Figura XI.- Mecanismo sensorial que opera transluendo de acuerdo con la relación psicofísica mostrada, esto es, ajustándose a una función con crecimiento logarítmico.

Un ejemplo de mecanismo sensorial ajustado a una función logarítmica es el que muestran las células fotorreceptoras, que miden la intensidad de luz que entra en la retina e interpretamos como brillo o brillantez. Ciertamente, pequeños cambios de intensidad de luz supra-umbral (por encima del valor del UA) son mejor discriminadas que incrementos de intensidad de luz en valores altos de luminancia (luz muy potente). Por

ejemplo, notamos el cambio de luminosidad en una habitación que estaba iluminada con 2 velas cuando añadimos una nueva vela, pero no advertimos el incremento de 5 velas cuando, previamente, la habitación estaba iluminada con 100 velas.

Por el contrario, un mecanismo sensorial que operase de acuerdo con la función representada en la Figura XII, cuya forma recuerda la de la función exponencial, mostraría poca sensibilidad para valores pequeños de intensidad del estímulo, pero tendría gran sensibilidad para valores grandes de intensidad del estímulo. Obsérvese que a incrementos del mismo tamaño en la variable física (intensidad física) le corresponden progresivos incrementos crecientes en la variable sensorial (intensidad percibida).

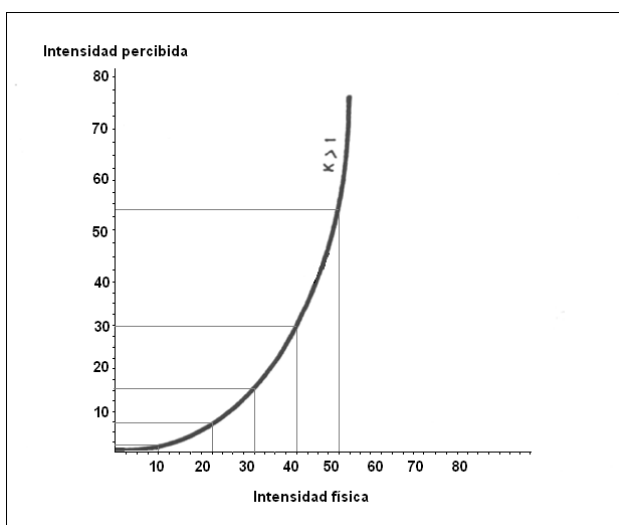


Figura XII.- Mecanismo sensorial que opera transluciendo de acuerdo con la relación psicofísica mostrada, esto es, ajustándose a una función con crecimiento exponencial.

La sensibilidad del mecanismo para un específico rango de valores de intensidad del estímulo físico presentado al sujeto se infiere del hecho, observable en las figuras XI y XII, de que en la escala física (eje de abscisas) se han representado intervalos constantes de incremento de la intensidad del estímulo, mientras que en la escala sensorial (eje de ordenadas) la sensación se decrementa según intervalos cada vez más pequeños (ajuste logarítmico) o cada vez más grande (ajuste exponencial).

Un ejemplo de mecanismo sensorial que opera según una función exponencial es el del dolor, por ejemplo, reactivo a socks eléctricos aplicados sobre la piel del sujeto. Ciertamente, pequeñas descargas de hasta 9 voltios, producen un pequeño hormigueo que hasta nos hace gracia. Sin embargo, el calambre que produce una descarga de 24 voltios duele y el de otra de 125 voltios mata.

Por último, mecanismo sensorial que operase de acuerdo con la función representada en la Figura XIII cuya forma recuerda la de la función identidad (un tipo de función lineal), mostraría la misma sensibilidad tanto para valores pequeños como para valores grandes de intensidad del estímulo. Obsérvese que a incrementos del mismo tamaño en la variable física (intensidad física) le corresponden progresivos incrementos de la misma magnitud en la variable sensorial (intensidad percibida).

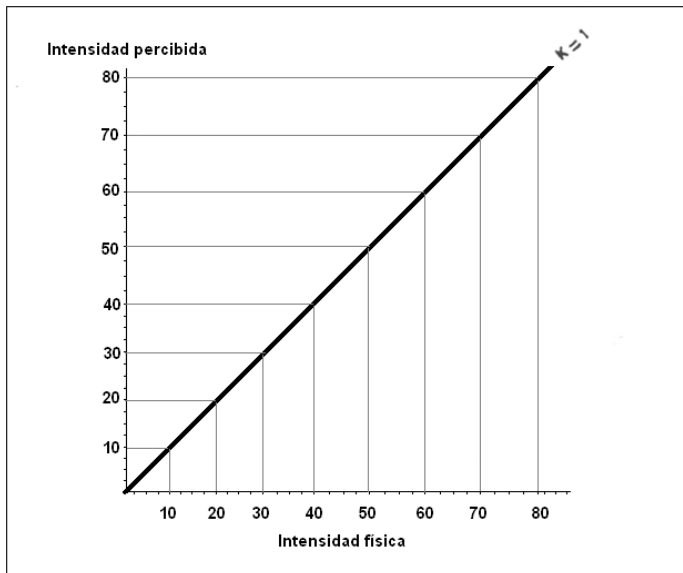


Figura XIII.- Mecanismo sensorial que opera transluciendo de acuerdo con la relación psicofísica mostrada, esto es, ajustándose a una función con crecimiento lineal.

Un ejemplo de mecanismo sensorial ajustado a una función lineal es el que permite discriminar longitudes de segmentos dibujados en un folio. La precisión de las personas es tan alta para valores de longitudes de escasos milímetros como para segmentos de, por ejemplo 20 cm. No obstante, más allá del rango de distancias relativas que caben en un folio, la función que mejor ajustaría sería la logarítmica, ya que es sabido que el espacio se comprime conforme aumenta la distancia.

En la Tabla que sigue mas abajo (Figura XIV) se muestran una serie de valores de los exponentes obtenidos en importantes dimensiones psicológicas, en las cuales se ha verificado el ajuste de la sensación a una función potencial.

Tabla —Exponentes representativos de las funciones potenciales que relacionan la magnitud sensorial con la intensidad del estímulo

Continuo	Exponentes	Condición estimular
Sonoridad	0,67	Presión sonora de un tono de 3.000 Hz
Vibración	0,95	Amplitud en el dedo (para 60 Hz)
Vibración	0,6	Amplitud en el dedo (para 250 Hz)
Brillo	0,33	Objetivo en la oscuridad de 5 grados
Brillo	0,5	Fuente puntual
Brillo	0,5	Breve fogonazo
Brillo	1,0	Fuente puntual presentada brevemente
Luminosidad	1,2	Reflectancia de papeles grises
Longitud visual	1,0	Línea proyectada
Area visual	0,7	Cuadrado proyectado
Saturación rojiza	1,7	Mezcla rojo-gris
Gusto	1,3	Sacarosa
Gusto	1,4	Sal
Gusto	0,8	Sacarina
Olfato	0,6	Heptano
Frío	1,0	Contacto metálico en el brazo
Calor	1,6	Contacto metálico en el brazo
Calor	1,3	Irradiación de la piel (área pequeña)
Calor	0,7	Irradiación de la piel (área grande)
Frío incómodo	1,7	Irradiación de todo el cuerpo
Calor incómodo	0,7	Irradiación de todo el cuerpo
Dolor térmico	1,0	Calor radiante en la piel
Aspereza tactual	1,5	Frotar tela de esmeril
Dureza tactual	0,8	Apretar goma
Pesadez	1,45	Elevación de pesos
Shock eléctrico	3,5	Corriente a través de los dedos

FIGURA XIV.- Exponentes de ciertas funciones potenciales (Ley de Stevens) correspondientes a diversas propiedades estimulares de diferentes modalidades sensoriales.

La *ley potencial de Stevens* es una de las que han alcanzado mayor estatus científico en psicología; puesto que se cumple para otros sistemas sensoriales (visión, tacto), además del auditivo, así como para otras propiedades del estímulo dentro de una misma modalidad sensorial (intensidad, claridad, etc.).

La *ley de Stevens* fundamenta la posibilidad de medición en psicología; este autor reconoce que el mérito principal de la psicofísica contemporánea radica en haber permitido la posibilidad de aplicar el método científico a procesos simples en forma cuantitativa, siendo posible su extensión a otros campos más complejos del comportamiento de los organismos.

8. LOS METODOS PSICOFISICOS DIRECTOS O ESCALAS PSICOFISICAS

Al adoptar, Stevens, el modelo cibernético, concibe al organismo como un sistema receptor de información (*input*) y emisor de información elaborada (*output*). Según él el organismo recibe estimulaciones de continuos físicos, que pueden producir:

→ Cambios cuantitativos en el nivel de excitación (magnitudes protéticas).

→ Cambios cualitativos que implican procesos fisiológicos diferentes o alternativos (magnitudes metatéticas).

Stevens sólo acepta la validez de las estimaciones numéricas en los juicios de apreciación directa para la construcción de escalas de sensibilidad, por lo que a su psicofísica se le denomina **Psicofísica directa**, en contraposición a la **psicofísica indirecta** propuesta por Fechner, así llamada porque la medición de la sensación se obtiene por referencia al continuo físico (medición indirecta). En efecto, Fechner nunca creyó que las sensaciones pudieran medirse directamente, sino que éstas debían cuantificarse en relación con las unidades de la escala física (objetiva).

La psicofísica directa de Stevens sustituye a la psicofísica indirecta de Fechner, en la que se relacionan sensaciones con la intensidad del estímulo; mientras que Stevens parte de las apreciaciones subjetivas para llegar a construir escalas de estimación. Por consiguiente, "los métodos directos de Stevens se basan en la capacidad del sujeto de emitir juicios sobre la magnitud de las sensaciones que experimentan. Estos juicios son, inmediatamente, convertidos en medida de la magnitud sensorial" (Tudela, 1981).

En definitiva, los métodos de construcción de escalas psicofísicas pretenden desvelar la relación existente entre los continuos físicos de energía del estímulo y los juicios de apreciación del sujeto.

Fechner fue el primero en desarrollar procedimientos que permitían esclarecer la relación existente entre la escala física y la escala de sensación. Sin embargo, no sería útil construir una escala de valores de *dmp* (diferencia mínima perceptible) acumuladas, en función de la magnitud del estímulo, y particularmente cuando las *dmp* se obtienen indirectamente (como en el método de los estímulos constantes), sino que sería conveniente disponer de una escala de medición directa, mediante la cual el sujeto informe sobre el valor de sus sensaciones (Corso 1967).

Entre los **métodos directos** para la construcción de escalas psicofísicas los más profusamente empleados son:

- I) EMPAREJAMIENTO DE MAGNITUDES:
 - A) Estimación de magnitudes.
 - B) Producción de magnitudes.
 - C) Emparejamiento de modalidad cruzada.
- II) EMPAREJAMIENTO DE RAZONES:
 - A) Estimación de razones.
 - B) Producción de razones.
 - C) Emparejamiento de razones cruzadas.

III) EMPAREJAMIENTO DE INTERVALOS:

- A) Estimación de intervalos.
- B) Producción de intervalos.
- C) Emparejamiento de intervalos cruzados.
- D) Clasificación en categorías.

Los describiremos, muy brevemente, a continuación:

- * **Método de estimación de magnitudes**. El sujeto asigna números a la intensidad del estímulo. Aquí, se le pide al sujeto que haga una estimación de las magnitudes sensoriales producidas por varios estímulos. Por ejemplo, se le presenta un primer segmento al sujeto y se le dice que tiene el valor 10 (este valor recibe el nombre de módulo). En los ensayos sucesivos (10 o 20 es lo habitual), se le presentan al sujeto otros segmentos de diferentes o igual longitud y el sujeto asigna números a las sensaciones producidas, tomando como referencia el valor del módulo. Así, si el sujeto considera que un segmento mide el doble del módulo, deberá decir 20, si mide la mitad, asignará el valor 5, etc.
Una variante de este método consiste en no proporcionar, en ningún momento, un módulo al sujeto, sino que se le presentan los segmentos, en orden aleatorio, en los diversos ensayos y se le indica que asigne los números que desee, pero teniendo en cuenta que las unidades subjetivas que establece reflejen las relaciones métricas entre los diversos segmentos.
- * **Método de producción de magnitudes**. En este caso es el experimentador quien presenta los números, uno cada vez y en orden al azar, y el sujeto ajusta el estímulo, mediante un dispositivo, hasta emparejarlo adecuadamente. Por ejemplo, si estoy construyendo una escala de brillo de 1 a 10 niveles y muestro el 5, el sujeto debe regular el brillo de la pantalla en un término medio.
- * **Método de emparejamiento de modalidad cruzada**. Consiste en que el sujeto ajuste un estímulo que el puede manipular a voluntad, con otro, de otra modalidad cualquiera que le es presentado. Por ejemplo, ajustar el volumen de un tono a la intensidad de dolor que le producen unas descargas de microvoltios.
- * **Estimación de razones**. Se presentan al observador diversas parejas de estímulos, y éste debe indicar, en cada par (ensayo) que razón o cociente existe entre las intensidades de las sensaciones correspondientes que eliciten. Por ejemplo, cuando se presentan al sujeto dos tonos cuyas intensidades

son 20 y 40 dB, si la sensación que produce el primero es la mitad de la que produce el segundo, debería indicar 1/2.

- * **Producción de razones**. Se le presenta al sujeto una proporción numérica y tiene que producir un estímulo que esté en la misma proporción con respecto a otro estímulo standard. Por ejemplo, el sujeto debe ajustar la intensidad de dos tonos hasta que se hallen en una relación prefijada (1/2, 1/3, 1/4, etc.).

- * **Emparejamiento de razones cruzadas**. Se presentan a los sujetos dos estímulos diferentes y se les pide que ajusten entre sí otros dos (de otra modalidad), para que guarden la misma proporción que los primeros. Es decir, dado un par de estímulos ajustar otros dos a la misma distancia. Por ejemplo, muestro dos niveles de brillo de un mismo color del árbol de Munsell y le pido que ajuste dos generadores de tonos, de modo que exista la misma proporción entre ellos que entre los brillos.

- * **Estimación de intervalos**. Se le pide al sujeto que asigne números que representen el tamaño de las diferencias estimulares presentadas. Aquí, se supone que el sujeto es capaz de dividir el rango del estímulo en intervalos iguales, manteniendo fijas las fronteras entre ellos.

- * **Producción de intervalos**. El más popular es la partición continua o equisección, que consiste en calcular el punto en el cual un estímulo se percibe como la mitad de otro en cuanto a intensidad, frecuencia o cualquier otro parámetro.
También, es muy conocido el método de producción de intervalos aparentemente iguales, en el que se solicita al sujeto que distribuya los estímulos, de modo equidistante unos de otros.
Otra variante útil es la construcción de relación, consistente en modificar la magnitud de un estímulo a cierta relación, mitad, cuarta parte, doble, triple, etc.

- **Emparejamiento de intervalos cruzados**. Los sujetos deben emparejar los intervalos entre los estímulos de un continuo con los intervalos de otro continuo. Por ejemplo, ajustar los intervalos hechos mediante unas marcas, a lo largo de una línea, con el aparente distanciamiento tonal de unos sonidos.

- **Clasificación en categorías**, en el que se proporciona al sujeto un conjunto de categorías (por ejem., sobre intensidad de un sonido: muy fuerte, fuerte, medio, débil, muy débil) y debe asignar (clasificar) cada estímulo presentado a una de tales categorías.

En resumen, en el *emparejamiento de magnitudes*: el sujeto debe ajustar un estímulo manipulándolo con una magnitud previa, si la magnitud es la sensación producida por otro estímulo de diversa modalidad sensorial, lo

llamamos *emparejamiento de magnitudes de modalidad cruzada*. Pero, si se tiene que ajustar el estímulo a una escala de números naturales, entonces se denomina: *estimación de magnitudes* y cuando el mismo sujeto, dado el número, empareja manipulando el estímulo, el método se llama de *producción de magnitudes*.

En el emparejamiento de razones se presenta al sujeto como modelo una pareja de estímulos que guardan determinada relación y él debe emparejar otros dos estímulos que cumplan esa relación.

→ Si la estimulación es de una modalidad sensorial y la ha de emparejar el sujeto con los de otra modalidad sensorial diferente, el método recibe el nombre de *modalidad cruzada*.

→ Si la razón o proporción que ha de ser emparejada se da numéricamente, entonces se llama de *estimación de razones*.

→ Si dada una razón o proporción numérica el sujeto tiene que manipular dos estímulos para producir una proporción que empareje a la razón numérica, el método se llama de *producción de razones*. El *emparejamiento de intervalos* se emplea cuando el continuo sensorial forma una escala cualitativa. Se trata de emparejar intervalos y no razones, lo que se nos da o se nos pide son diferencias que son las que hay que ajustar. En esta modalidad genérica de emparejamiento de intervalos también encontramos tres modos específicos de realizarla: Intervalos de modalidad cruzada, estimación de intervalos y producción de intervalos.

9. AJUSTE DE DATOS EMPIRICOS A LA LEY POTENCIAL DE STEVENS

Aquí vamos a ilustrar, mediante un ejemplo, cómo ajustar los datos obtenidos en un experimento psicofísico a la función potencial ($R = C \cdot E^n$) o Ley de Stevens.

En una investigación que tenía por objeto medir la habilidad de un sujeto para estimar la dureza táctil de diferentes objetos que podía manipular. Se aplicó el *método de estimación de magnitudes*, según el cual los sujetos apretaban el objeto con su mano y juzgaban la dureza en una escala entre 10-60 unidades. Los objetos (estímulos) que fueron presentados al sujeto tenían los siguientes valores de dureza: 10, 20, 30, 40, 50 y 60 (expresados en unidades arbitrarias). La Tabla estadística que sigue resume las respuestas (R) de los sujetos, tras promediar las 5 veces que se presentó cada uno de los seis estímulos (E), así como las *transformaciones logarítmicas* de los *valores reales* de dureza de los estímulos [$X = \ln(E)$] y de los *valores asignados* por el sujeto [$Y = \ln(R)$]. Las otras columnas de dicha tabla contienen los productos cruzados [$X \cdot Y$], y los valores cuadráticos de tales transformaciones logarítmicas [X^2] y [Y^2].

E	R	X= Ln(E)	Y= ln(R)	X·Y	X ²	Y ²
10	15	2,30	2,71	6,23	5,29	7,34
20	18	2,99	2,89	8,64	8,94	8,35
30	19	3,40	2,94	9,99	11,56	8,64
40	20	3,69	2,99	11,03	13,62	8,94
50	22	3,91	3,09	12,08	15,29	9,55
60	23	4,09	3,13	12,80	16,73	9,80
		Σ=20,38	Σ=17,75	Σ=60,77	Σ=71,43	Σ=52,62

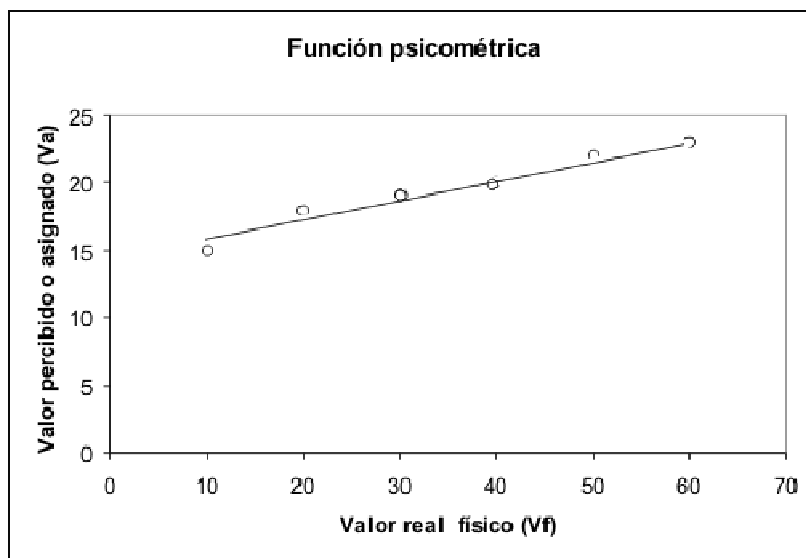


Figura.- Relación entre el valor real (Vr= variable física) y el Valor asignado (Va= variable psíquica).

Para encontrar la relación funcional entre la variable física (Vr= Valor real) y la variable psíquica (Va= Valor asignado), se recurre al ajuste de la función psicofísica, empíricamente obtenida, a una función rectilínea. Para ello se calcula la *recta de regresión* por el método de *mínimos cuadrados*:

$$\bar{X} = \frac{20,38}{6} = 3,40 \qquad \bar{Y} = \frac{17,75}{6} = 2,96$$

$$\hat{B} = \frac{n \cdot \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{pendiente de la recta})$$

$$\hat{B} = \frac{6 \cdot (60,77) - (20,38) \cdot (17,75)}{6 \cdot (71,43) - (20,38)^2} = \frac{364,62 - 361,745}{428,58 - 415,34} = \frac{2,875}{13,236} = 0,217 \approx 0,22$$

La pendiente de la recta de regresión expresa la sensibilidad, finura de los ajustes producidos por los sujetos a los valores reales demandados en las condiciones experimentales

$$\hat{A} = \bar{Y} - B \bar{X}$$

(intercepto u ordenada en el origen)

$$\hat{A} = 2,96 - (0,22)(3,40) = 2,21$$

Ecuación de regresión:

$$\text{Ln}(R) = 2,21 + 0,22 \text{ Ln}(E)$$

Recordemos que la Ley potencial de Stevens viene dada por:

$$\text{Ln}(R) = \text{Ln}(C) + n \cdot \text{Ln}(E)$$

o también por:

$$R = C \cdot E^n$$

Por tanto, en este caso tenemos que:

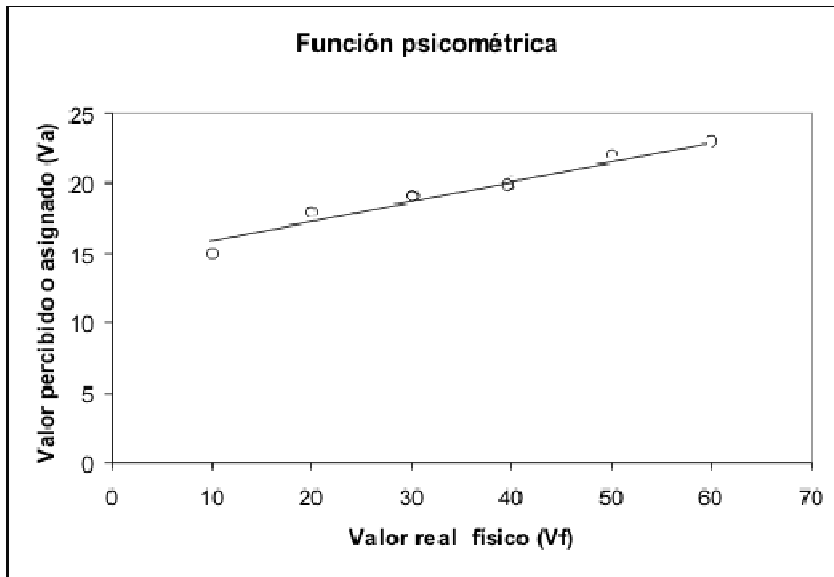
Ln(C) = 2,21 cuyo antilogaritmo es igual a **C = 9,12**

n = 0,22

☞ Por lo que la ecuación potencial resultante es:

$$R = 9,12 E^{0,22}$$

En la que el exponente $n = 0,22$ indica la habilidad para estimar la dureza táctil.



Relación entre el logaritmo del *valor real* y el logaritmo del *valor asignado*, predicho (línea oscura) por la ecuación lineal de regresión [$\ln(R) = 2,21 + 0,22 \cdot \ln(E)$] y empíricamente obtenido (línea clara). Se observa que existe una evidente relación lineal.

Ln(V.real)	Ln(V.predicho)	Ln(V.empirico)
2,30	2,72	2,71
3,00	2,87	2,89
3,40	2,96	2,94
3,69	3,02	3,00
3,91	3,07	3,09
4,09	3,11	3,14

También podemos **medir el ajuste de los datos** a la *recta de regresión*, calculando el *coeficiente de regresión lineal de Pearson* entre los valores predichos o estimados por el modelo de regresión y los valores obtenidos empíricamente, ambos transformados logarítmicamente:

$$r_{xy} = \frac{n \cdot \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{6 \cdot (60,77) - (20,38)(17,75)}{\sqrt{6 \cdot (71,43) - (20,38)^2} \cdot \sqrt{6 \cdot (52,62) - (17,75)^2}} = 0,97$$

El coeficiente de correlación (r_{xy}) entre el valor predicho y el valor empírico obtenido en el experimento es una

buena estimación del ajuste de los datos a la recta de regresión. En el ejemplo tratado hasta aquí, se observa que el grado de ajuste de los datos a la función potencial es muy alto (0,97).

Finalmente, el coeficiente de determinación ($R^2 = (r_{xy})^2$) nos indica la proporción de la varianza de las respuestas del sujeto que viene explicada por el valor real del estímulo.

$$\boxed{R^2 = (r_{xy})^2} \quad \Leftrightarrow \quad R^2 = (0,97)^2 = 0,94$$

En concreto puede afirmarse que el 94% de la variabilidad de los datos predichos viene explicada por el Valor Real del estímulo.

10. LA TEORIA DE LA DETECCION DE SEÑALES (TDS)

Fechner (1960) consideraba el umbral como un punto casi constante, por encima del cual las diferencias del estímulo eran detectables y por debajo del cual no se podían detectar. Es decir, venía a ser una especie de 'barrera neural'. Caracterizar los umbrales como barreras implica que la experiencia perceptiva es discontinua, que la consciencia del estímulo o los cambios en él se adquieren mediante un salto brusco que va de no superar la barrera a superarla (ley del todo o nada). Otros autores posteriores apoyaron con sus investigaciones la idea de que el paso a la detección o discriminación del estímulo tiene lugar mediante una suave y lenta transición, continua. Es decir, siguiendo los cambios continuos de estimulación. En la actualidad, numerosos autores piensan que no es válida la idea de que existe una medida absoluta de la sensibilidad a la que pueda denominarse *umbral*.

Si el concepto de umbral fuese correcto, las investigaciones evidenciarían que existe una magnitud de intensidad del estímulo que el sujeto **nunca** es capaz de detectar y otra magnitud superior de intensidad del estímulo, por encima de la cual los sujetos **siempre** lo detectan. Sin embargo, estos resultados nunca se obtienen, sino que, al contrario, existe una magnitud de intensidad del estímulo que (según el método de los estímulos constantes) es detectada el 50% de las veces y a la que denominan UA. Esto, obviamente, resulta paradójico, ya que, al parecer, el umbral (la barrera) es cambiante. A causa de esta ambigüedad básica, se han propuesto otros procedimientos para estudiar la detectabilidad de los estímulos que evitan el concepto de umbral. El más importante de estos es la TDS (Teoría de la detección de señales).

En la TDS la tarea del sujeto ya no será clasificar los estímulos por encima o por debajo del umbral, sino que consiste, fundamentalmente, en un proceso de decisión. El sujeto deberá decidir si la magnitud de la sensación que provoca un estímulo de cierta intensidad es suficiente para inclinarse a favor de una respuesta positiva

(detección) o negativa (no detección). Es decir, decidirá adoptar un criterio de respuesta.

→ Ejemplo de la vida cotidiana:

Aplicamos un experimento a dos sujetos, Luis y Carlos, con el fin de medir los umbrales de detección de un tono de frecuencia = 1000 Hz y duración 3 segundos. El experimentador selecciona cinco valores diferentes de intensidad del estímulo (0, 5, 10, 20 y 30 dB) y las presentará en orden aleatorio mediante unos auriculares (audífonos), siguiendo la aplicación del *método de estímulos constantes*. En cada ensayo se les pide a los sujetos que digan si oyen el tono o no, levantando el brazo correspondiente, en el momento que suene, según lo escuchen por el oído izquierdo o derecho. Luis decide mostrarse hipersensible, por lo que adoptará un *criterio liberal*, es decir, contestará SI al menor indicio. Carlos asimila las instrucciones de otro modo, no le importa resultar menos sensible auditivamente y decide responder SI, sólo cuando esté completamente seguro de haber oído el tono, o sea, adopta un *criterio conservador*.

• Resultados del experimento:

- ▶ Como Luis da más respuestas positivas (Sles) acaba teniendo un UA menor (más sensible) que Carlos, sin embargo, es posible que los dos tengan igual o similar sensibilidad auditiva.
- ▶ En resumen, ambos difieren en el criterio de decisión de la respuesta, pero no en cuanto sensibilidad.

Para explicar en que consiste la TDS vamos a suponer una situación que nos pueda resultar familiar o fácilmente imaginable. Supongamos que vamos a hacernos una *audiometría*. Nos hacen pasar a la sala de exploración, que se halla insonorizada (anecoica) para eliminar los ruidos externos, pero que dicha sala contiene sus leves pero propios ruidos (Ejemplo, aire acondicionado, calefacción, ventilador, etc.). El examinador nos coloca unos audífonos (a pesar de ello comprobamos que el silencio absoluto no existe para los oyentes, generan un ligero susurro) y nos da la consigna de que cuando se ilumine un lámpara verde que tenemos enfrente, debemos contestar, pulsando sobre una caja de respuestas provista de dos botones (pulsadores), respecto a la aparición de un sonido de bajo volumen. En uno de dichos botones de la caja de respuestas aparece inscrita la palabra SI (respuesta afirmativa), en el otro botón la palabra NO (respuesta negativa).

Supongamos que, en lugar de ir cambiando los tonos a distinta frecuencia (como suelen hacer en las audiometrías, pero no en la TDS), siempre nos ponen la misma frecuencia tonal. Aunque se nos presente la señal, a veces, no estaremos completamente seguros de ello, por lo que tendremos que establecer un criterio que nos permita decidir cuán intensa tiene que ser la señal para que pulsemos el botón del SI. El *criterio* que cada persona, en esta situación, establecerá dependerá de varios aspectos:

- a) De su experiencia pasada.
- b) De la estimación que haga de la probabilidad 'a priori' con que le será presentada la señal (proporción de veces que se presenta la señal y proporción de veces que no se presenta la señal cuando se enciende

- la lámpara).
- c) De qué consecuencias produce el hecho de acertar o fallar en los ensayos. Qué importancia le concede cada sujeto (por ejemplo si la prueba se requiere para obtener un empleo, o para obtener el carnet de conducir).
 - d) De sus características de personalidad, que le hacen ser precavido o imprudente en ciertas situaciones.

Las diferencias personales son muy grandes, y por ello los criterios de respuesta son muy variables. De manera que varios sujetos pueden tener la misma sensibilidad y diferir sólo en el criterio de decisión de la respuesta. A nosotros, al tratar de evaluar la sensibilidad de un sistema sensorial, no nos interesan tanto las características de personalidad, motivaciones, experiencias previas, deseos, actitudes, expectativas, etc., sino que estamos interesados en evaluar la *detectabilidad* o *discriminabilidad* de los estímulos por parte de un determinado sentido.

RESUMIENDO lo hasta aquí dicho, en la TDS:

- 1) Se cuestiona la validez del concepto de umbral concebido como '*barrera neural*'.
- 2) Se utiliza una sola intensidad del estímulo y no varía como ocurría en los métodos psicofísicos anteriormente descritos.
- 3) Además de la *sensibilidad* (como en la Psicofísica clásica), también se considera que influye en la respuesta el *criterio de decisión* de la misma.
- 4) Se considera la presencia de la señal, pero también la presencia del ruido, de modo que podemos percibir y, por tanto, pueden existir ensayos:
 - En los que aparezca sólo el ruido (R).
 - En los que aparezca el ruido + la señal (SR).
- 5) En cada ensayo el sujeto puede responder SI o NO (respuesta dicotómica).

Sintéticamente, la situación de prueba en la TDS podemos resumirla en una tabla de doble entrada como la que sigue a continuación:

TDS		RESPUESTA	
		Si	No
ESTIMULO	SR	AC	OM
	R	FA	RC

Los dos tipos de ensayos (R ó SR) combinados con los dos tipos de respuesta (SI ó NO) dan lugar a cuatro resultados identificables, a los que denominaremos:

AC= *Aceptaciones Correctas*: respuestas afirmativas ante ensayos SR (Acierto).

FA= *Falsas alarmas* (o falsas detecciones): respuestas afirmativas ante ensayos R (Error).

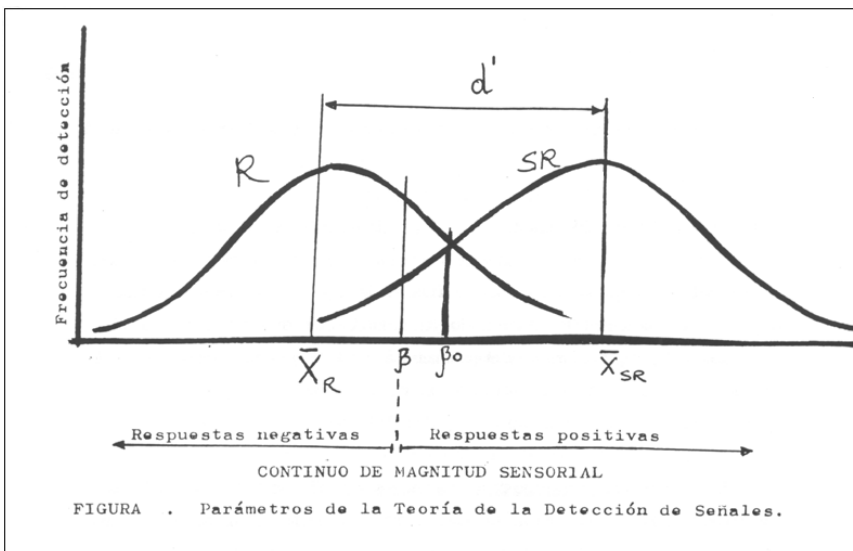
OM= *Omisiones*: respuestas negativas ante ensayos SR (Error).

RC= *Rechazos Correctos*: respuestas negativas ante ensayos R (Acierto).

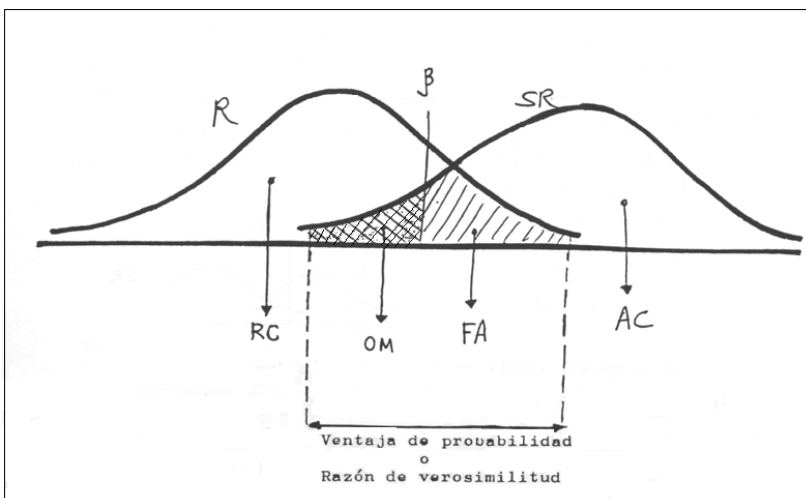
► Si hacemos X ensayos SR, si de éstos hay 'n' de AC, el complementario será el número de OM.

► Igual pasa con los ensayos R, si conocemos el número de FA, el complemento hasta R es el número de RC.

Por tanto, la TDS sólo utiliza los AC y las FA para obtener una medida, relativamente pura de la *sensibilidad* del sistema sensorial y que es independiente del *criterio de decisión* de respuesta. A esta medida de la sensibilidad se le llama parámetro *d'* o '*detectabilidad*' o '*discriminabilidad*' de la señal'.



→ El criterio de respuesta también puede ser calculado y se le denomina parámetro β o, simplemente, criterio.

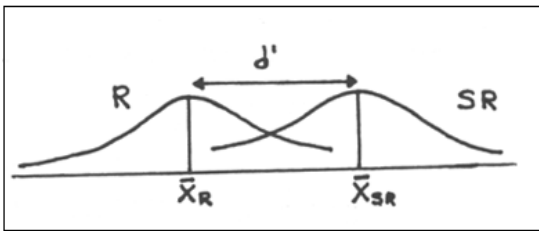


► En RESUMEN, la TDS permite evaluar, separadamente, la *sensibilidad* y el *criterio de decisión* de la respuesta. Por consiguiente, cuando interese esta separación al investigador, la metodología apropiada a aplicar será la TDS. En la Figura 4 se hallan representadas: la distribución de la señal (SR), la del ruido (R), la media de la distribución de la señal \bar{X}_{SR} y del ruido \bar{X}_R , el parámetro d' y el parámetro β . En la Figura 5, se muestra sobre las distribuciones de las respuestas dadas por el sujeto a la señal (SR) y al ruido (R), las proporciones (áreas bajo la curva) de AC, FA, OM y RC.

☛ El **procedimiento de cálculo de los parámetros de la TDS** se fundamenta en la Teoría de la Decisión Estadística y en sus orígenes fue una consecuencia de las necesidades en el campo de la ingeniería de Telecomunicaciones.

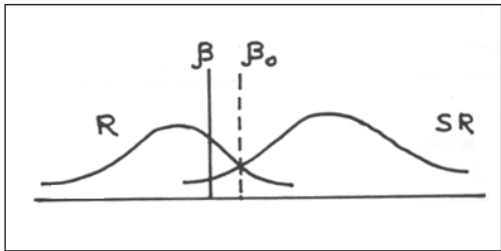
► El *parámetro de sensibilidad (d')* se obtiene calculando la diferencia entre la media de la distribución de FA y la media de la distribución de AC, expresada en puntuaciones típicas (Z):

$$d' = Z_{m_{FA}} - Z_{m_{AC}}$$



► El parámetro β (*criterio de decisión de respuesta*) se obtiene mediante el cociente entre la ordenada del valor típico (Z) correspondiente a la proporción de AC y la ordenada del valor típico correspondiente a la proporción de FA.

$$\beta = \frac{Y_{AC}}{Y_{FA}}$$



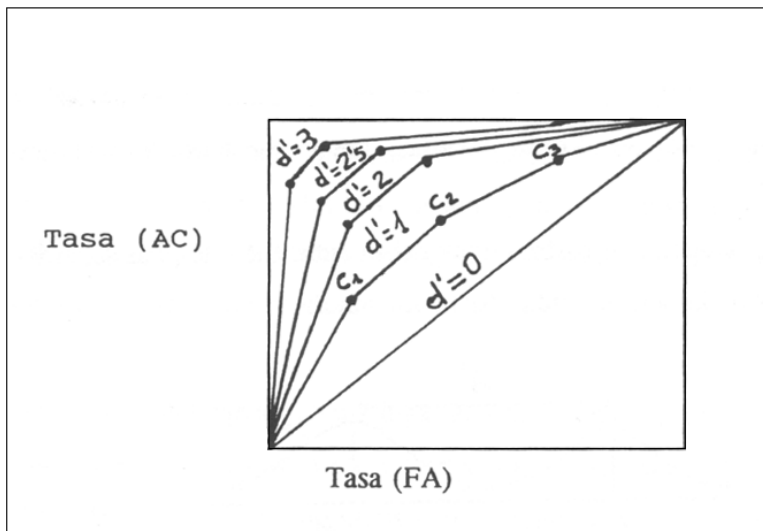
- Para comprender la TDS es preciso tener claras dos ideas:
 - 1] Cualquiera que sean las condiciones que influyen en el criterio de respuesta de una persona, influirán de forma similar tanto en el número de AC como en el número de FA. Así:
 - Si el criterio es liberal (indulgente o laxo), implicará una alta proporción de AC, pero también una alta proporción de FA.
 - Si el criterio es conservador (o estricto), implicará una reducción de las FA, pero también de AC.

- 2] La proporción de AC excederá a la proporción de FA en la misma cuantía que el sujeto sea más sensible a la señal. Este exceso de AC (diferencia AC-FA) puede reflejar: la fuerza de la señal, la sensibilidad del sujeto, o ambas cosas a la vez.

10.1 LAS CURVAS COR (curva Característica Operativa del Receptor):

Cuando el experimentador varía sistemáticamente las probabilidades a priori de aparición de la señal y del ruido, o motiva a los sujetos de una determinada forma, la relación entre las proporciones de AC y FA definen una curva exponencial conocida con el nombre de curva COR.

Los puntos de esta curva vienen determinados por los cambios de criterio adoptados por el sujeto, como consecuencia de las variaciones citadas. La convexidad de esta curva, con respecto a la diagonal derecha, indican la variación en el parámetro de discriminabilidad (d') de los estímulos. De manera que aumentará la d' en la medida que la curva se vuelva más convexa.



► Veamos como se construye una curva COR:

- Trazamos un cuadrado en papel milimetrado y trazamos la diagonal derecha.
- En el eje de abscisas ponemos las proporciones de FA (de 0 hasta 1).
- En el eje de ordenadas colocamos las proporciones de AC (de 0 hasta 1).

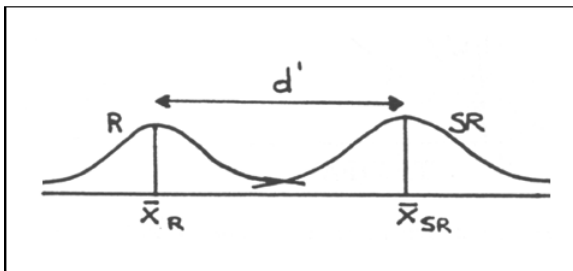
→ Para representar la posición de un sujeto en el gráfico tomamos como coordenadas el par (FA, AC) y representamos el criterio de este sujeto, por ejemplo, como C_1 . Tras aplicar la prueba al mismo sujeto en diferentes condiciones, cogemos sus proporciones (FA, AC) e igualmente representamos estas coordenadas, denominándole por ejem. C_2 . Y así sucesivamente, con una tercera aplicación de la prueba, al mismo sujeto en otras condiciones, hallaremos el criterio C_3 . Finalmente, si unimos estos tres puntos (C_1 , C_2 Y C_3), obtendremos una curva COR del sujeto, en la que la sensibilidad del sujeto será

siempre la misma, variando sólo el criterio de decisión de la respuesta (β).

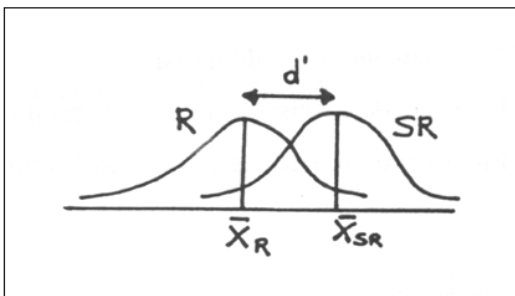
- En resumen, para cada criterio de respuesta de un sujeto (β) obtenemos un punto, cuyas coordenadas son $[P(\text{FA}), P(\text{AC})]$.

* Para interpretar el parámetro d' (discriminabilidad de la señal), conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si los sujetos respondiesen al azar, entonces $P(\text{AC})$ y $P(\text{FA})$ resultarían aproximadamente iguales (si el número de ensayos es suficiente), teniendo en cuenta que la probabilidad de acertar fuese la misma que la de fallar. Por consiguiente los puntos de estos sujetos se situarían en la diagonal principal, es decir, se obtendría que $d'=0$, lo que implicaría que no discriminan o detectan esta señal y responden aleatoriamente. O dicho en otras palabras, que no son sensibles a la diferencia entre R y SR.
- Sin embargo, cuanto más distintividad exista entre SR y R (más separación entre las distribuciones), la detectabilidad (d') aumentará:



- Cuanta menos distintividad exista entre SR y R (más solapamiento entre las dos distribuciones), la detectabilidad disminuirá.



11. LA PSICOFISICA DE ORDEN SUPERIOR DE J.J. GIBSON

La teoría de la percepción directa propuesta por J.J.Gibson (1.904-1.979) sostiene que la percepción no se construye mediante una interpretación de los datos sensoriales por parte del perceptor, sino que la percepción es una función directa del estímulo. Esto es, ni viene determinada innatamente, ni resulta enriquecida por la experiencia pasada, ni se produce como consecuencia de una organización espontánea de los datos sensoriales en la mente del que percibe.

En la obra de Gibson, se reconocen fácilmente la convergencia de tres influencias teóricas:

- El conductismo E-R, poniendo el énfasis en la E.
- La Psicología de la Gestalt, de quien adopta el carácter primario de la percepción frente a la experiencia.
- La concepción psicofísica implícita en el Funcionalismo Probabilístico de Brunswick. Al retomar de éste autor la idea de una correspondencia entre el estímulo distal (el objeto) y la percepción, que se relacionan según un cálculo probabilístico.

Brunswick había propuesto como medida de la consistencia ambiental el concepto de **validez ecológica**, el cual mide el grado de correlación entre variables del medio entorno. Por ejemplo, las aves suelen tener plumas, pico, alas, etc. y estas características no suelen ir emparejadas en los mamíferos (los hay con alas como el murciélago, pero éstas no tienen plumas). Gibson recoge este concepto de validez ecológica y le otorga un papel nuclear en su concepción del proceso perceptivo.

Para Gibson, la percepción tiene lugar al actuar directamente los sentidos sobre los **estímulos-información**, los cuales nos informan de las invariantes del ambiente, de modo que las propiedades del estímulo proximal (imagen retiniana) se hallan altamente correlacionadas con el estímulo distal (objeto real). Por consiguiente el estudio de la correspondencia entre las invariantes del estímulo y la percepción es un enfoque psicofísico que denomina Psicofísica de orden superior.

- Gibson establece la distinción entre:
 - Estímulo-energía, según la cual las energías de los estímulos afectan a receptores específicamente entrenados en captar esa modalidad (ondas luminosas, acústicas, etc.)
 - Estímulos-información, patrones complejos de la estructura de la luz ambiental que representan constantes (invariantes) bajo todas transformaciones y proporcionan la información ambiental.

Por tanto, el estímulo-información se opone tanto al concepto de estímulo-energía como a la concepción de un patrón estático, en cuanto que percibimos un flujo temporal de información sobre el medio.

Desde este punto de vista, los sentidos pueden considerarse como auténticos sistemas perceptuales con los que buscamos en el ambiente la información necesaria. Esta información relevante es lo que denominamos

invariantes, que son las que nos permiten reconocer los objetos y no las formas.

Señala Gibson que un estímulo-información presenta tres propiedades que se dan en toda estimulación física (luminosa, sonora, química, etc.) y en cualquier parte del cuerpo que resulte estimulada interior o exteriormente.

Estas son:

- 1°. Un orden en el espacio o estructura simultánea, la forma con sus bordes, ángulos, etc.
- 2°. Un orden en el tiempo o estructura secuencial. Como mínimo existe una transición inicial y otra final.
- 3°. Un orden de transformación, que comprende algunos componentes de no-cambio (invariantes) y algunos componentes de cambio (variaciones). En otras palabras, incluye el cambio como parte del estímulo.

► Sin embargo, Gibson no excluye la influencia de las motivaciones, aprendizaje, etc., sobre la actividad perceptiva. Para este autor, aprender a percibir es aprender a discriminar o atender a las características de orden superior (invariantes) que suministran los estímulos-información del ambiente. La motivación puede provocar que atendamos o no a los estímulos-informativos.

En resumen, en coherencia con la Teoría de percepción directa, la percepción es un acto de atención, no una respuesta que se desencadena ante la estimulación. Lo que los receptores visuales registran no es la forma, sino las dimensiones de variación de la forma.

Esta teoría, por tanto, basada en los estímulos-información, rechaza las claves que permiten inferir la distancia, la profundidad y el movimiento. En lugar de ello, sostiene que vemos directamente, captando los receptores dos tipos de características de orden superior que se dan en el orden óptico:

- El gradiente de densidad de textura: cambios graduales en el flujo de estimulación
- La deformación: una transformación observada de gradientes para un observador activo. Por ejemplo, al caminar, los gradientes se transforman y lo lejano se hace próximo y viceversa.

► En definitiva, el estudio de la correspondencia entre las características de orden superior (gradiente de densidad de textura, etc.) y nuestra percepción, puesto que es una relación directa y causal (teoría de la percepción directa) es un acercamiento psicofísico al estudio de la percepción que recibe el nombre de Psicofísica de Orden Superior.

*

*

*