

Capítulo 1

Análisis estadístico

En este capítulo se realiza el análisis estadístico de los resultados que se han obtenido en el test previo y en el segundo test. No se ha incluido el test del primer test puesto que al haberse realizado con señales erróneas, no tiene sentido incluirlos.

En la primera parte del capítulo se comenta brevemente algunos aspectos teóricos de los dos procedimientos que se han aplicado; mientras que en el segundo apartado es donde se refleja el propio análisis.

1.1. Conceptos teóricos

UNE-EN ISO 10399

La norma UNE-EN ISO 10399: “Análisis sensorial. Metodología. Ensayo Duo-Trio.”[1] es un documento que permite analizar la probabilidad de que eventos perceptuales sean percibidos como iguales o diferentes según el número de respuestas definidas como correctas y/o erróneas al realizar experimentos basados en test duo-trio.

Para ello, en primer lugar se definen diferentes términos que aparecen de forma constante a lo largo de la norma. Para nuestro caso particular, los términos más relevantes son:

- alpha-risk o α -risk: es la probabilidad para poder afirmar que existe una diferencia perceptual cuando en realidad no existe.
- beta-risk o β -risk: es la probabilidad para poder afirmar que no existe una diferencia perceptual cuando en realidad sí existe.
- diferencia perceptual: situación en la que dos o más muestras pueden ser distinguidas por sus propiedades sensitivas (a través del oído, tacto, gusto, vista, etc.)
- similaridad perceptual: situación en la que las diferencias entre muestras son tan pequeñas que no pueden distinguirse entre sí de forma sensitiva.

Para el cálculo de las probabilidades α -risk y β -risk, la norma proporciona dos sendas tablas que se encuentran en el Anexo A de dicha norma (las tablas A.1 y A.2 respectivamente). También se proporciona la ecuación 1.1 donde se puede calcular el mínimo de respuestas “correctas” para que se obtenga un determinado valor de α -risk.

$$x = (n/2) + z * \sqrt{n/4} \quad (1.1)$$

Donde:

- x: número de respuestas correctas mínimas necesarias para que se obtenga un determinado α -risk.
- n: número de respuestas totales.
- z: variable que toma un valor en función de α -risk:

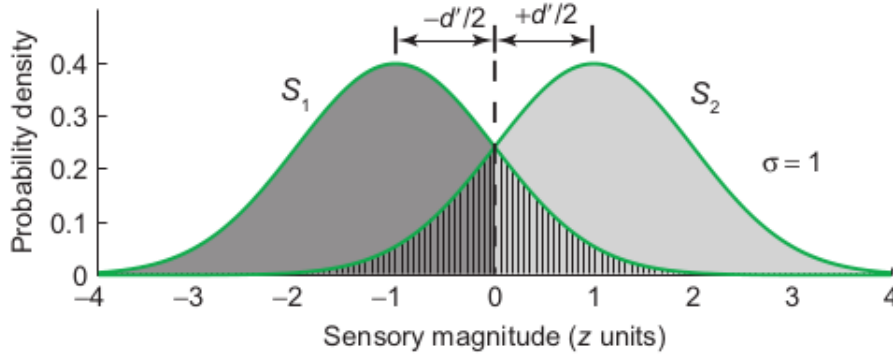


Figura 1.1: Ejemplo de cálculo de d' utilizando modelos thursthonianos. Fte: [2]

- 0.84 para $\alpha = 0,20$.
- 1.28 para $\alpha = 0,10$.
- 1.64 para $\alpha = 0,05$.
- 2.33 para $\alpha = 0,01$.
- 3.09 para $\alpha = 0,001$.

Modelos Thursthonianos

Los modelos Thursthonianos son modelos estadísticos en el que se utilizan variables de distribuciones normales y que se utilizan en gran medida en estudios de discriminación sensorial.

En el caso concreto de la psicoacústica, se utiliza generalmente para obtener un valor “ d' ” que da información ordenada y cuantitativa sobre una determinada percepción subjetiva. Además de este valor, se calcula a su vez la desviación estandar “ σ ”. Con estos dos valores, se puede aproximar un conjunto de distribuciones como una sucesión de distribuciones gaussianas en las que en función del valor “ d' ” y “ σ ” están más o menos superpuestas. Esta superposición da información sobre la probabilidad de que ambos estímulos puedan ser distinguibles o no entre sí y cuánto. Esto se observa más fácilmente en la figura 1.1 obtenida en [2]

Además de lo ya expuesto, este tipo de análisis es especialmente interesante porque nos permite ordenar los valores obtenidos para d' de forma que las diferencias entre ellos nos da información cuantitativa sobre cómo de diferentes o de similares son cada una de las distribuciones. Con la facilidad añadida que tiene este sistema para representar gráficamente mediante las técnicas habituales como diagramas de barras, entre otros.

1.2. Análisis de los resultados

En este apartado, se muestran los diferentes análisis que se han realizado para los diferentes test; así como los procedimientos utilizados para su obtención.

1.2.1. Análisis del test previo

Para este test sólo se pretende comprobar si las personas eran capaces de distinguir entre audios en posiciones muy diferentes. Por este motivo, se decidió realizar un análisis más sencillo que en el caso del test final. Más concretamente, se optó por utilizar la tabla A1 del anexo A de la norma UNE-EN ISO 10399, así como la ecuación 1.1.

Aplicando dichos recursos se obtienen las tablas 1.1 y 1.2 en la que se incluyen todas respuestas y únicamente las que se marcaron como “seguras” por parte de los participantes respectivamente:

Como se puede observar de las tablas ya mencionadas, existen diferencias estadísticamente significativas cuando se separan los puntos de escucha. Dicho efecto se sigue manteniendo cuando se

Separación butacas	Respuestas	Iguales	Diferentes	α -risk
Horizontal	27	9	18	0.1
Vertical	10	1	9	0.01
Horizontal y vertical	23	5	18	0.01
Misma posición	10	9	1	NO

Cuadro 1.1: Resultados del test previo.

Separación butacas	Respuestas	Iguales	Diferentes	α -risk
Horizontal	23	7	16	0.05
Vertical	9	1	8	0.05
Horizontal y vertical	20	4	16	0.01
Misma posición	9	8	1	NO

Cuadro 1.2: Resultados del test previo considerando las respuestas marcadas como “Sin duda”.

suprimen las respuestas marcadas como “No seguras”. Por este motivo, se considera probada nuestra primera hipótesis y se decidió continuar con el estudio.

Los valores obtenidos para α -risk no son realmente importantes, puesto que el número de datos es relativamente pequeño y la repetición de dicho experimentos podría producir que dichos valores fluctuaran. No obstante, para este caso resultaba válido con obtener valores superiores y/o iguales a 0.1, que es lo que se ha obtenido.

También se obtienen los resultados esperados para los casos en que ambos audios se encuentran en la misma posición, donde la amplia mayoría de las personas participantes no percibían los estímulos como diferentes.

1.2.2. Análisis del test final

Para el análisis del test final, se realizan dos análisis de datos diferentes para cada una de las dos formas de agrupación de los datos (distancia relativa a la fuente y distancia relativa entre las dos posiciones de butacas). La primera mediante el seguimiento de la norma UNE-EN ISO 10399 que ya se utilizó en el test previo, mediante la tabla A.1 de la norma y la ecuación 1.1.

Por otro lado, se realiza un análisis mediante modelos thursthonianos. Para ello, se genera un script en el lenguaje de programación estadística “R” para utilizar el paquete “SansR” REFERENCIAR. Este paquete permite obtener de forma sencilla los valores del coeficiente d' , así como su desviación estandar. En el anexo X puede consultarse el código del script.

Distancia relativa a la fuente

Aplicando el mismo procedimiento explicado en apartado de “Conceptos teóricos”, se obtienen las tablas 1.3 y 1.4 que muestran los resultados para el análisis mediante la norma UNE-EN ISO 10399 para todas las respuestas y sólo para las marcadas como “sin duda” respectivamente:

Por otro lado, utilizando el paquete “sansR” y el lenguaje de programación R, se obtienen las tablas 1.5 y 1.6. Los mismos resultados pueden observarse de forma gráfica en las figuras 1.2 y 1.3. Para obtener dichos resultados, en primer lugar se introduce el número total de respuestas, así como el número de respuestas “correctas” (entendiéndose como correctas aquellas respuestas en las que los participantes hayan identificado los estímulos como diferentes). A continuación, hay que indicar a la función qué tipo de test se ha realizado para que el cálculo de los coeficientes sea el correcto. En nuestro caso, el test se corresponde con un “*twoAFC*”, ya que el participante estaba forzado a seleccionar una de las dos opciones sin posibilidad de escoger una opción intermedia.

Como se puede observar en las tablas y figuras antes mencionadas, el comportamiento para ambos procedimientos es bastante similar. Hay que tener en cuenta que para α -risk, cuanto más pequeño es el valor, más estadísticamente representativa es la diferencia, mientras que para los modelos thursthonianos, se produce a la inversa; cuanto más grande es el valor de d' , más diferentes son los estímulos.

Distancia [m]	Resultados	Iguales	Diferentes	α -Risk
[6-8)	15	5	10	0.2
[8-10)	35	10	25	0.05
[10-11)	32	8	24	0.01
[11-12)	54	13	41	0.001
[12-13)	56	15	41	0.001
[13-14)	67	14	53	0.001
[14-15)	102	23	79	0.001
[15-16)	100	19	81	0.001
[16-17)	84	18	66	0.001
[17-18)	63	10	53	0.001
[18-19)	95	21	74	0.001
[19-20)	62	19	43	0.01
[20-21)	44	19	25	NO
[21-24]	41	23	18	NO

Cuadro 1.3: Valores de α -risk para los resultados agrupados en función de la distancia a la fuente según la norma UNE-EN ISO 10399

Distancia [m]	Resultados	Iguales	Diferentes	α -Risk
[6-8)	11	3	8	0.2
[8-10)	30	8	22	0.01
[10-11)	23	6	17	0.05
[11-12)	40	6	34	0.001
[12-13)	47	11	36	0.001
[13-14)	52	8	44	0.001
[14-15)	82	13	69	0.001
[15-16)	84	15	69	0.001
[16-17)	68	12	56	0.001
[17-18)	49	7	42	0.001
[18-19)	77	18	59	0.001
[19-20)	42	8	34	0.001
[20-21)	25	10	15	NO
[21-24]	31	17	14	NO

Cuadro 1.4: Valores de α -risk para los resultados marcados como “Sin duda” agrupados en función de la distancia a la fuente según la norma UNE-EN ISO 10399

Distancia [m]	Respuestas	Diferentes	Protocolo	d'	$\sigma(d')$
[6-8)	15	10	twoAFC	0.609	0.473
[8-10)	35	25	twoAFC	0.800	0.318
[10-11)	32	24	twoAFC	0.954	0.341
[11-12)	54	41	twoAFC	0.995	0.264
[12-13)	56	41	twoAFC	0.876	0.254
[13-14)	67	53	twoAFC	1.146	0.244
[14-15)	102	79	twoAFC	1.066	0.195
[15-16)	100	81	twoAFC	1.242	0.204
[16-17)	84	66	twoAFC	1.120	0.217
[17-18)	63	53	twoAFC	1.414	0.269
[18-19)	95	74	twoAFC	1.087	0.203
[19-20)	62	43	twoAFC	0.715	0.236
[20-21)	44	25	twoAFC	0.243	0.269
[21-24]	41	18	twoAFC	0.000	NA

Cuadro 1.5: Valores de d' y su desviación estandar para los resultados agrupados en función de la distancia a la fuente aplicando modelos thurstonianos.

Distancia [m]	Respuestas	Diferentes	Protocolo	d'	$\sigma(d')$
[6-8)	11	8	twoAFC	0.855	0.571
[8-10)	30	22	twoAFC	0.881	0.347
[10-11)	23	17	twoAFC	0.906	0.399
[11-12)	40	34	twoAFC	1.466	0.342
[12-13)	47	36	twoAFC	1.026	0.285
[13-14)	52	44	twoAFC	1.443	0.298
[14-15)	82	69	twoAFC	1.415	0.236
[15-16)	84	69	twoAFC	1.302	0.226
[16-17)	68	56	twoAFC	1.314	0.252
[17-18)	49	42	twoAFC	1.51	0.313
[18-19)	77	59	twoAFC	1.027	0.223
[19-20)	42	34	twoAFC	1.239	0.315
[20-21)	25	15	twoAFC	0.358	0.359
[21-24]	31	14	twoAFC	0	NA

Cuadro 1.6: Valores de d' y su desviación estandar para los resultados marcados como “Sin duda” agrupados en función de la distancia a la fuente aplicando modelos thurstonianos.

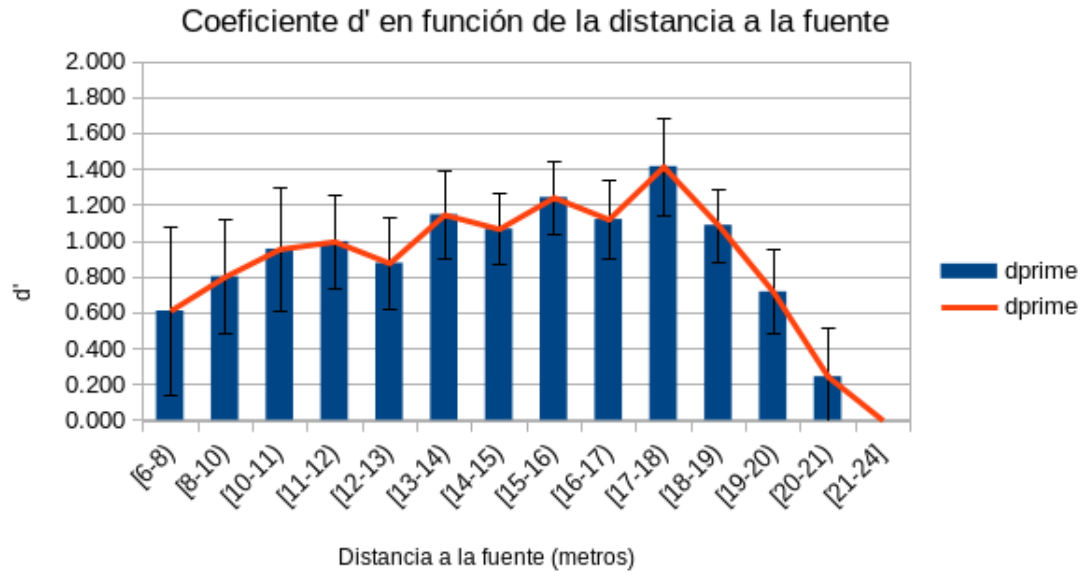


Figura 1.2: Coeficientes d' en función de la distancia a la fuente.

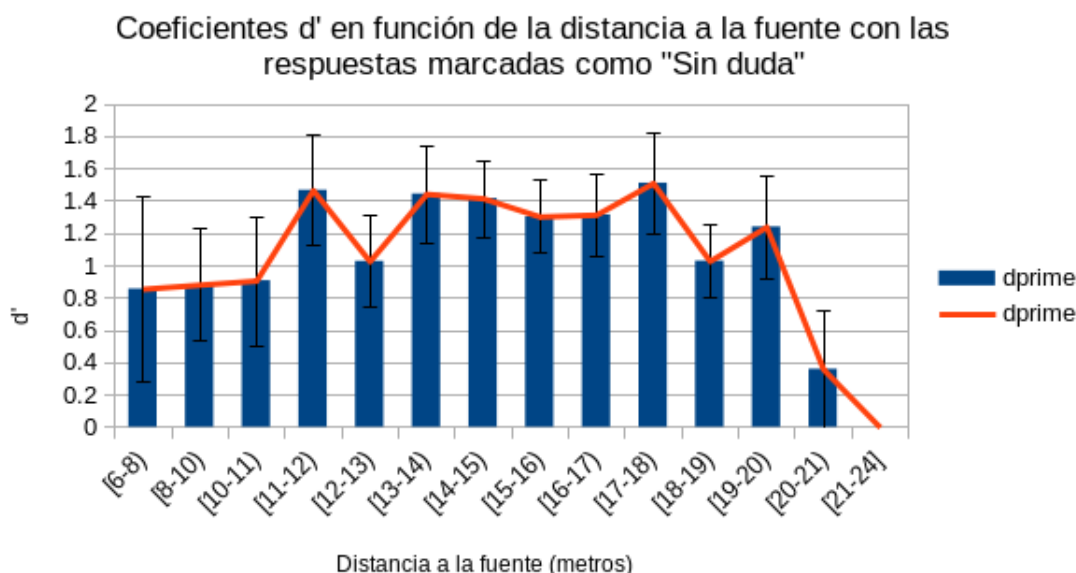


Figura 1.3: Coeficientes d' en función de la distancia a la fuente cuando las respuestas están marcadas como “Sin duda”.

En ambos casos, se observa que las diferencias aumentan conforme aumenta la distancia respecto de la fuente, pero llegada una determinada distancia, las diferencias comienzan a dejar de ser perceptibles hasta llegar a posiciones donde las posibles diferencias pueden considerarse debidas al azar.

La mayor diferencia entre ambos sistemas se encuentra en lo que podríamos denominar como “sensibilidad”. La norma UNE-EN ISO 10399 es menos sensible a las variaciones puntuales del número de respuestas consideradas correctas; además de que los cambios que se producen son mucho más abruptos ya que sólo existen cinco posibles valores para α -risk (0.2, 0.05, 0.01, 0.001 y que no pueda obtenerse el valor).

Los modelos thursthonianos, por otra parte, son mucho más sensibles, ya que ligeras variaciones en los resultados, producen variaciones en los valores de d' . Al mismo tiempo, se dispone de todo un rango continuo de valores que dicho coeficiente puede obtener. Esto permite que las representaciones gráficas de las variaciones de d' muestren mejor el comportamiento psicoacústico de los estímulos y analizar si existe una tendencia que estas pueden seguir, como es el caso de nuestro experimento.

Un ejemplo de esto puede observarse en los casos de las tablas 1.3 y 1.5. En este caso, se ve como para el caso del análisis mediante la norma, el descenso se produce a partir de la distancia de [19-20) metros, mientras que en los modelos thursthonianos, el decaimiento se produce antes, a partir de la distancia [18-19) metros. Lo mismo ocurre con el caso de las tablas 1.4 y 1.6, donde los decaimientos vuelven a producirse en las mismas distancias. Para tener una idea de este comportamiento sobre el espacio del auditorio, se presenta la figura 1.4, donde se representa el comportamiento de d' en función de dicha distancia en la fuente, pero representado sobre el plano del auditorio directamente mediante un diagrama de colores en el que las zonas verdes representan valores bajos de d' y las zonas rojas representan valores elevados. Las zonas sin pintar corresponden a zonas donde o bien no se han tomado medidas, o bien el valor de d' es nulo.

Distancia relativa entre butacas

Para este apartado se vuelven a aplicar tanto los procedimientos de la norma UNE-EN ISO 10399, de las que se obtienen las tablas 1.7 y 1.8, como de los modelos thursthonianos, de los que se obtienen las tablas 1.9 y 1.10, y las figuras 1.5 y 1.6. De nuevo, para los modelos thursthonianos, se ha determinado que el protocolo es “twoAFC” para que la función de R pueda realizar de forma correcta la estimación del valor d' .

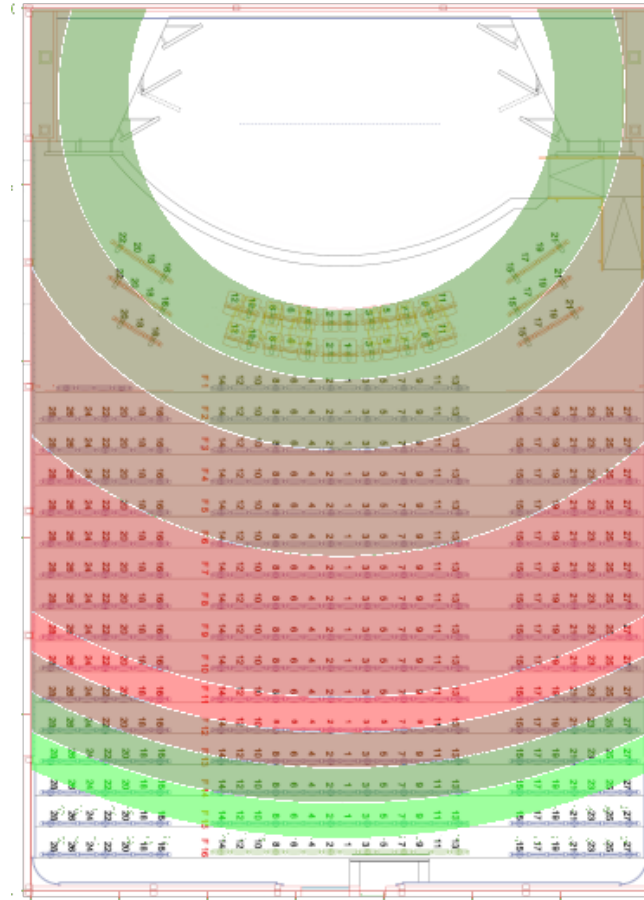


Figura 1.4: Coeficientes d' en función de la distancia a la fuente representado sobre el plano del auditorio. Los valores verdes representan un valor bajo de d' ; mientras que los rojos representan valores elevados.

Distancia [m]	Resultados	Iguales	Diferentes	α -Risk
(0-2)	61	40	21	NO
[2-3)	76	40	36	NO
[3-4)	102	47	55	0.05
[4-5)	111	30	81	0.001
[5-6)	95	24	71	0.001
[6-7)	78	11	67	0.001
[7-8)	70	9	61	0.001
[8-9)	52	4	48	0.001
[9-10)	62	3	59	0.001
[10-11)	47	1	46	0.001
[11-12)	33	1	32	0.001
[12-14)	33	1	32	0.001
[14-18)	24	0	24	0.001

Cuadro 1.7: Valores de α -risk para los resultados agrupados en función de la distancia entre butacas según la norma UNE-EN ISO 10399

Distancia [m]	Resultados	Iguales	Diferentes	α -Risk
(0-2)	41	27	14	NO
[2-3)	49	29	20	NO
[3-4)	74	33	41	NO
[4-5)	79	17	62	0.001
[5-6)	65	15	50	0.001
[6-7)	62	5	57	0.001
[7-8)	64	7	57	0.001
[8-9)	40	1	39	0.001
[9-10)	53	2	51	0.001
[10-11)	44	1	43	0.001
[11-12)	31	1	30	0.001
[12-14)	32	0	32	0.001
[14-18)	23	0	23	0.001

Cuadro 1.8: Valores de α -risk para los resultados agrupados en función de la distancia entre butacas según la norma UNE-EN ISO 10399 cuando los resultados son marcados como “Sin duda”.

Como se puede observar en las tablas 1.7 y 1.8, los participantes empiezan a notar diferencias a partir de que la distancia entre butacas se encuentra a partir de los [3-4) metros, aunque este efecto se retrasa hasta los [4-5) metros si suprimimos las respuestas marcadas como “Con duda”. Una vez ahí, las diferencias se mantienen estadísticamente representativas con el máximo nivel de seguridad que ofrece la norma, ya que la probabilidad de que los eventos sean iguales cuando, en realidad, se han percibido como diferentes, es de 0.001. En los resultados obtenidos no hay un momento en el que dicha probabilidad decrezca.

Distancia [m]	Respuestas	Diferentes	Protocolo	d'	$\sigma(d')$
(0-2)	61	21	twoAFC	0.000	NA
[2-3)	76	36	twoAFC	0.000	NA
[3-4)	102	55	twoAFC	0.139	0.176
[4-5)	111	81	twoAFC	0.865	0.180
[5-6)	95	71	twoAFC	0.942	0.197
[6-7)	78	67	twoAFC	1.521	0.249
[7-8)	70	61	twoAFC	1.603	0.270
[8-9)	52	48	twoAFC	2.017	0.362
[9-10)	62	59	twoAFC	2.349	0.384
[10-11)	47	46	twoAFC	2.868	0.583
[11-12)	33	32	twoAFC	2.654	0.615
[12-14)	33	32	twoAFC	2.654	0.615
[14-18)	24	24	twoAFC	Inf	NA

Cuadro 1.9: Valores de d' y su desviación estandar para los resultados agrupados en función de la distancia entre butacas aplicando modelos thursthonianos.

Distancia [m]	Respuestas	Diferentes	Protocolo	d'	$\sigma(d')$
(0-2)	41	14	twoAFC	0.000	NA
[2-3)	49	20	twoAFC	0.000	NA
[3-4)	74	41	twoAFC	0.192	0.207
[4-5)	79	62	twoAFC	1.115	0.224
[5-6)	65	50	twoAFC	1.041	0.243
[6-7)	62	57	twoAFC	1.981	0.327
[7-8)	64	57	twoAFC	1.739	0.295
[8-9)	40	39	twoAFC	2.772	0.597
[9-10)	53	51	twoAFC	2.514	0.450
[10-11)	44	43	twoAFC	2.829	0.589
[11-12)	31	30	twoAFC	2.614	0.621
[12-14)	32	32	twoAFC	Inf	NA
[14-18)	23	23	twoAFC	Inf	NA

Cuadro 1.10: Valores de d' y su desviación estandar para los resultados marcados como “Sin duda” agrupados en función de la distancia entre butacas aplicando modelos thursthonianos.

Por otro lado, las tablas 1.9 y 1.10, así como las figuras 1.5 y 1.6 muestran un crecimiento más o menos constante del coeficiente d' desde los [3-4) metros hasta el final. En el caso de incluir los resultados marcados como “Con duda” puede parecer que existe una bajada de la percepción de las diferencias, pero al observar los datos de la tabla se ve que ese decaimiento se debe a que se tienen menos datos en dichas posiciones y, por tanto, el hecho de que una persona determine que ha percibido los audios como iguales, hace que el valor del coeficiente baje. Esto se comprueba observando la tabla 1.10 y figura 1.6 donde se han eliminado las respuestas dudosas y se observa un reforzamiento en la tendencia creciente en las distancias más lejanas.

Al igual que ocurría con los resultados agrupados según la distancia a la fuente, se observa que, a pesar, de que el comportamiento es similar para ambas formas de analizar los datos, la norma UNE-EN ISO 10399 es mucho menos sensible a los pequeños cambios en los resultados; mientras que los modelos thursthonianos ofrecen un rango mayor de datos que fluctúan más fácilmente. Esto no es necesariamente peor; depende de lo que se pretenda conseguir con el estudio. Si se pretende determinar a partir de qué distancias las diferencias son significativas, la norma da información más útil en este sentido. Por otro lado, si se pretende estudiar el comportamiento de las diferencias perceptuales en función de la distancia, aquí los modelos thursthonianos tienen una gran ventaja frente a la norma.

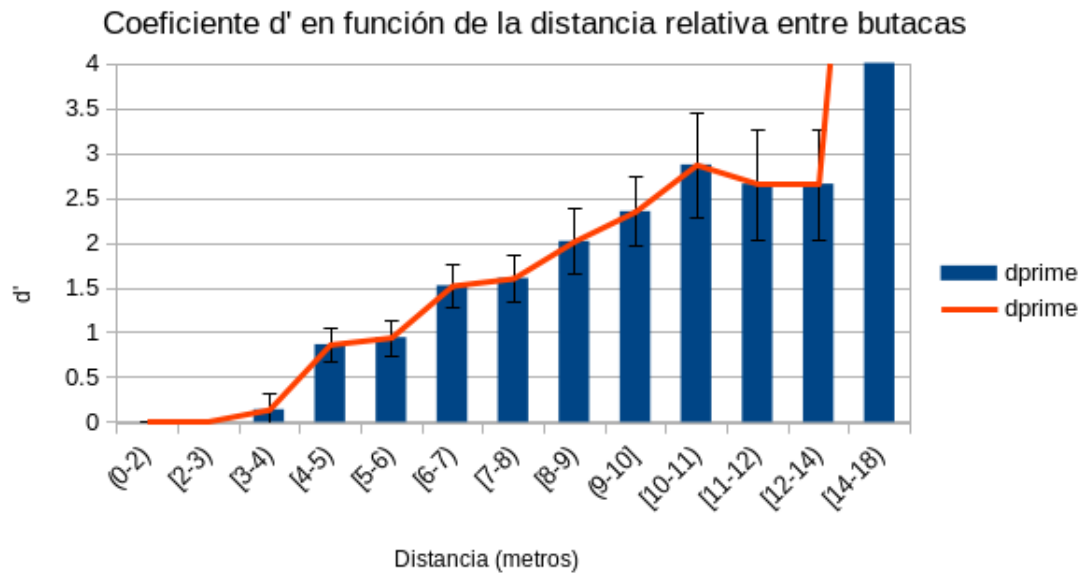


Figura 1.5: Coeficientes d' en función de la distancia entre butacas.

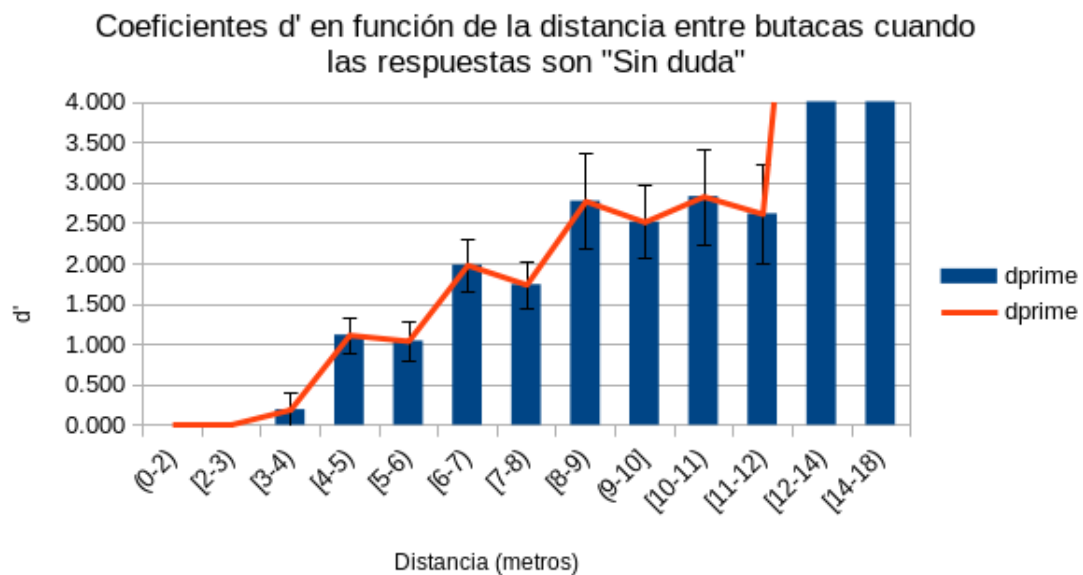


Figura 1.6: Coeficientes d' en función de la distancia entre butacas cuando las respuestas están marcadas como "Sin duda".

Bibliografía

- [1] I. S. O. (ISO), “Análisis sensorial. metodología. ensayo dúo-trío,” *UNE-EN*, 2018.
- [2] F. Kingdom and N. Prins, *Psychophysics: a practical introduction*. Elsevier, 2010.