

# Capítulo 1

## Análisis estadístico

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

### 1.1. 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 ?? ya mostrada en el capítulo de “Estado del arte”.

Aplicando dichos recursos se obtienen las tablas 1.1 y 1.2 en la que se incluyen todas las 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 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 concretos obtenidos para  $\alpha$ -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. Para este caso, el experimento resulta válido al obtener valores inferiores y/o iguales a 0.1, que es lo que se ha obtenido (excepto para las respuestas en la misma posición donde se esperaba que no pudiera obtener un valor para  $\alpha$ -risk).

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. 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). El primer análisis se hará 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 ??.

Por otro lado, se realiza un análisis mediante modelos thurstonianos. Para ello, se genera un

Separación butacas	Respuestas	Iguales	Diferentes	$\alpha$ -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	$\alpha$ -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”.

Distancia [m]	Resultados	Total iguales	Total diferentes	$\alpha$ -Risk	$d'$	$\sigma(d')$
[6-8)	15	5	10	0.2	0.609	0.473
[8-10)	35	10	25	0.05	0.800	0.318
[10-11)	32	8	24	0.01	0.954	0.341
[11-12)	54	13	41	0.001	0.995	0.264
[12-13)	56	15	41	0.001	0.876	0.254
[13-14)	67	14	53	0.001	1.146	0.244
[14-15)	102	23	79	0.001	1.066	0.195
[15-16)	100	19	81	0.001	1.242	0.204
[16-17)	84	18	66	0.001	1.120	0.217
[17-18)	63	10	53	0.001	1.414	0.269
[18-19)	95	21	74	0.001	1.087	0.203
[19-20)	62	19	43	0.01	0.715	0.236
[20-21)	44	19	25	NO	0.243	0.269
[21-24]	41	23	18	NO	0.000	NA

Cuadro 1.3: Valores de  $\alpha$ -risk,  $d'$  y su desviación estandar para los resultados totales agrupados en función de la distancia a la fuente según la norma UNE-EN ISO 10399 y aplicando modelos thursthonianos, respectivamente.

script en el lenguaje de programación estadística “R” para utilizar el paquete “SensR”<sup>1</sup>. Este paquete permite obtener de forma sencilla los valores del coeficiente  $d'$ , así como su desviación estandar. En el anexo X puede consultarse el script.

### 1.2.1. Distancia relativa a la fuente

Aplicando el mismo procedimiento explicado en apartado de “Conceptos teóricos”, se obtienen 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. También se utiliza el lenguaje de programación R y el paquete antes mencionado y así obtener el coeficiente  $d'$  y su desviación estándar ( $\sigma$ ). Todos los valores de ambos análisis están representados en las tablas 1.3 y 1.4. Para la parte del análisis mediante modelos thursthonianos se generan además las figuras 1.1 y 1.2 que muestran de forma gráfica la variación de dicho coeficiente. El procedimiento para obtener el análisis con “R” es el siguiente: 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 “2-AFC”, 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  $\alpha$ -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.

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

<sup>1</sup><https://cran.r-project.org/web/packages/sensR/index.html>

Distancia [m]	Respuestas	Total iguales	Total diferentes	$\alpha$ -risk	$d'$	$\sigma(d')$
[6-8)	11	3	8	0.2	0.855	0.571
[8-10)	30	8	22	0.01	0.881	0.347
[10-11)	23	6	17	0.05	0.906	0.399
[11-12)	40	6	34	0.001	1.466	0.342
[12-13)	47	11	36	0.001	1.026	0.285
[13-14)	52	8	44	0.001	1.443	0.298
[14-15)	82	13	69	0.001	1.415	0.236
[15-16)	84	15	69	0.001	1.302	0.226
[16-17)	68	12	56	0.001	1.314	0.252
[17-18)	49	7	42	0.001	1.510	0.313
[18-19)	77	18	59	0.001	1.027	0.223
[19-20)	42	8	34	0.001	1.239	0.315
[20-21)	25	10	15	No	0.358	0.359
[21-24]	31	17	14	No	0	NA

Cuadro 1.4: Valores de  $\alpha$ -risk,  $d'$  y su desviación estandar para los resultados marcados como “Sin duda” agrupados en función de la distancia a la fuente según la norma UNE-EN ISO 10399 y aplicando modelos thursthonianos, respectivamente.

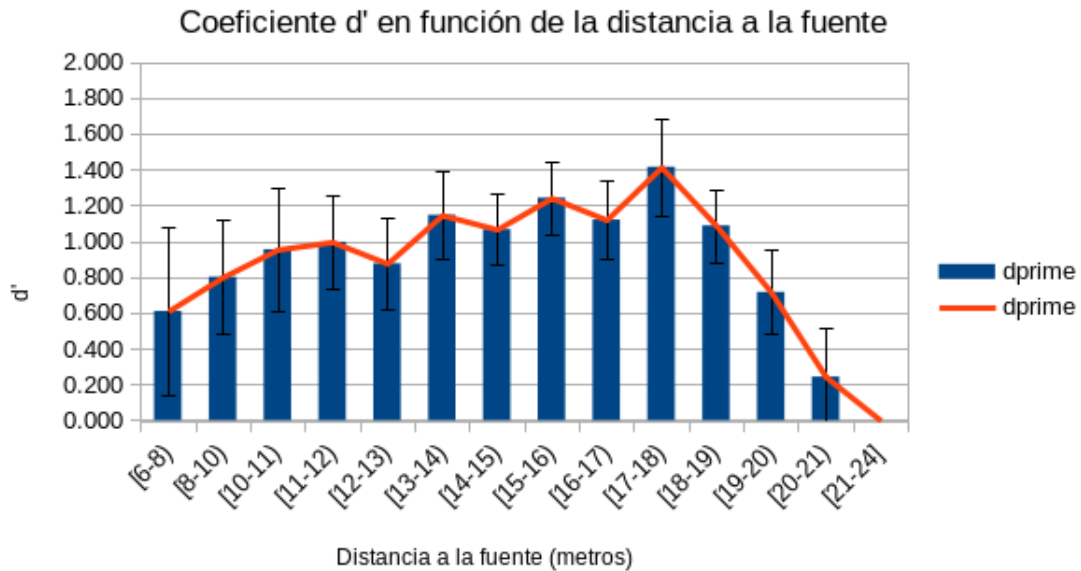


Figura 1.1: Coeficientes  $d'$  en función de la distancia a la fuente.

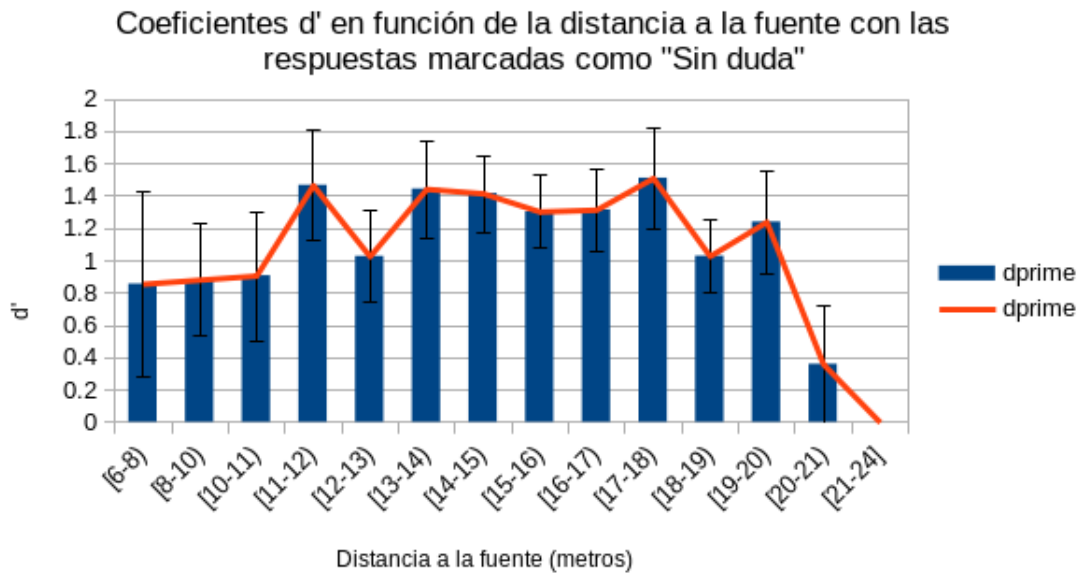


Figura 1.2: Coeficientes  $d'$  en función de la distancia a la fuente cuando las respuestas están marcadas como “Sin duda”.

abruptos ya que sólo existen cinco posibles valores para  $\alpha$ -risk (0.2, 0.05, 0.01, 0.001 y que no pueda obtenerse el valor).

Los modelos thurstonianos, 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 la tabla 1.3. En esta tabla, 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 thurstonianos, el decaimiento se produce antes, a partir de la distancia [18-19) metros. Lo mismo ocurre con el caso de la tabla 1.4, 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 1.3, donde se representa el comportamiento de  $d'$  (la percepción de diferencia entre parejas de estímulos) 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 dichas diferencias perceptuales 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 las diferencias perceptuales ( $d'$ ) es nulo.

### 1.2.2. Distancia relativa entre butacas

Para este apartado se vuelven a aplicar tanto los procedimientos de la norma UNE-EN ISO 10399, como los modelos thurstonianos. De ambos análisis se obtienen las tablas 1.5 y 1.6, así como las figuras 1.4 y 1.5. De nuevo, para los modelos thurstonianos, se ha determinado que el protocolo es “*twoAFC*” para que la función de R pueda realizar de forma correcta la estimación del valor  $d'$ .

Como se puede observar en las tablas recién mencionadas, 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.

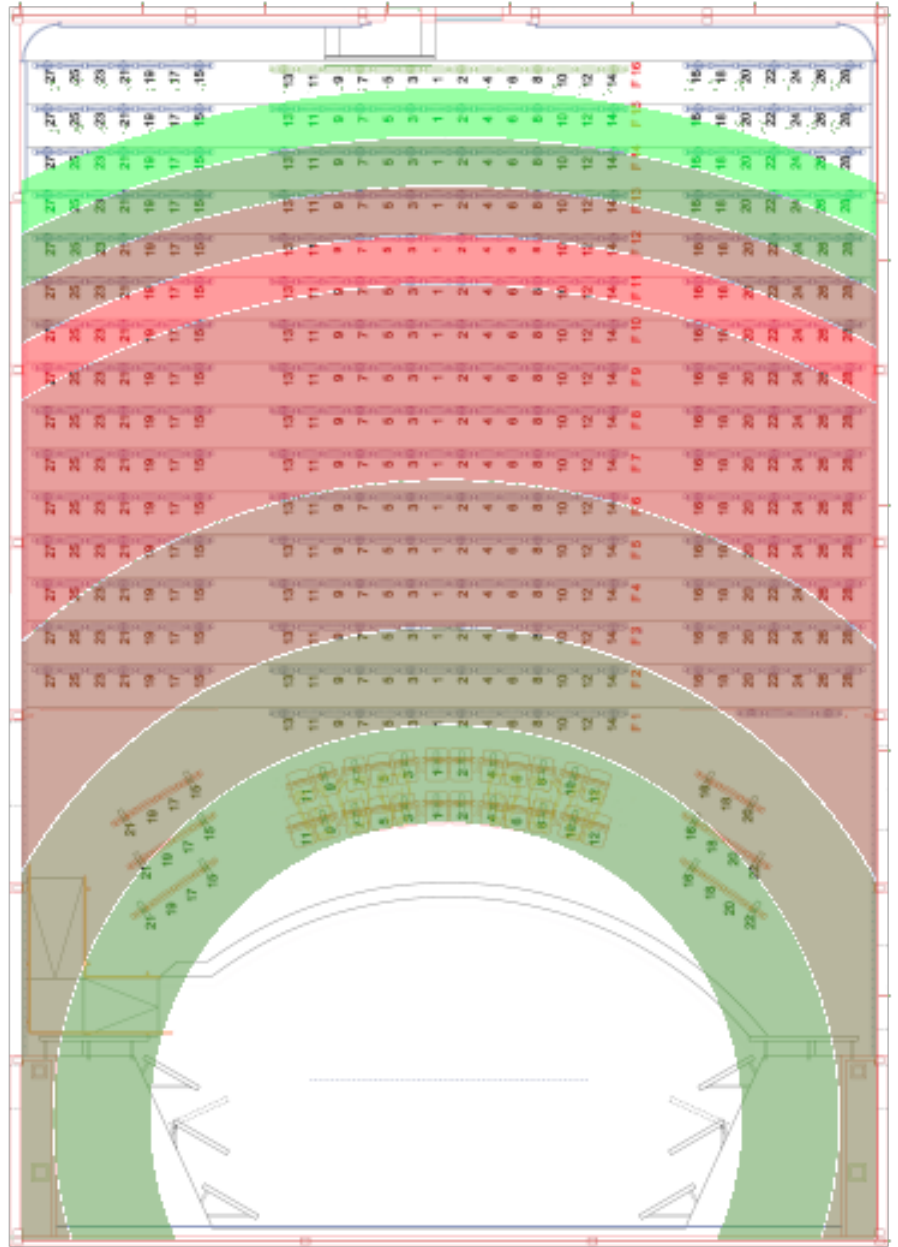


Figura 1.3: Coeficientes  $d'$  en función de la distancia a la fuente representado sobre el plano del auditorio. Los valores verdes representan un valor bajo de  $d'$ ; mientras que los rojos representan valores elevados.

Distancia [m]	Respuestas	Total iguales	Total diferentes	$\alpha$ -risk	$d'$	$\sigma(d')$
(0-2)	61	40	21	NO	0.000	NA
[2-3)	76	40	36	NO	0.000	NA
[3-4)	102	47	55	0.05	0.139	0.176
[4-5)	111	30	81	0.001	0.865	0.18
0 [5-6)	95	24	71	0.001	0.942	0.197
[6-7)	78	11	67	0.001	1.521	0.249
[7-8)	70	9	61	0.001	1.603	0.270
[8-9)	52	4	48	0.001	2.017	0.362
[9-10)	62	3	59	0.001	2.349	0.384
[10-11)	47	1	46	0.001	2.868	0.583
[11-12)	33	1	32	0.001	2.654	0.615
[12-14)	33	1	32	0.001	2.654	0.615
[14-18)	24	0	24	0.001	$\infty$	NA

Cuadro 1.5: Valores de  $\alpha$ -risk,  $d'$  y su desviación estándar para los resultados totales agrupados en función de la distancia entre butacas según la norma UNE-EN ISO 10399 y aplicando modelos thursthonianos, respectivamente.

Distancia [m]	Respuestas	Total iguales	Total diferentes	$\alpha$ -risk	$d'$	$\sigma(d')$
(0-2)	41	27	14	NO	0.000	NA
[2-3)	49	29	20	NO	0.000	NA
[3-4)	74	33	41	NO	0.192	0.207
[4-5)	79	17	62	0.001	1.115	0.224
[5-6)	65	15	50	0.001	1.041	0.243
[6-7)	62	5	57	0.001	1.981	0.327
[7-8)	64	7	57	0.001	1.739	0.295
[8-9)	40	1	39	0.001	2.772	0.597
[9-10)	53	2	51	0.001	2.514	0.450
[10-11)	44	1	43	0.001	2.829	0.589
[11-12)	31	1	30	0.001	2.614	0.621
[12-14)	32	0	32	0.001	$\infty$	NA
[14-18)	23	0	23	0.001	$\infty$	NA

Cuadro 1.6: Valores de  $\alpha$ -risk,  $d'$  y se desviación estándar para los resultados agrupados en función de la distancia entre butacas según la norma UNE-EN ISO 10399 y aplicando modelos thursthonianos, respectivamente, cuando los resultados son marcados como “Sin duda”.

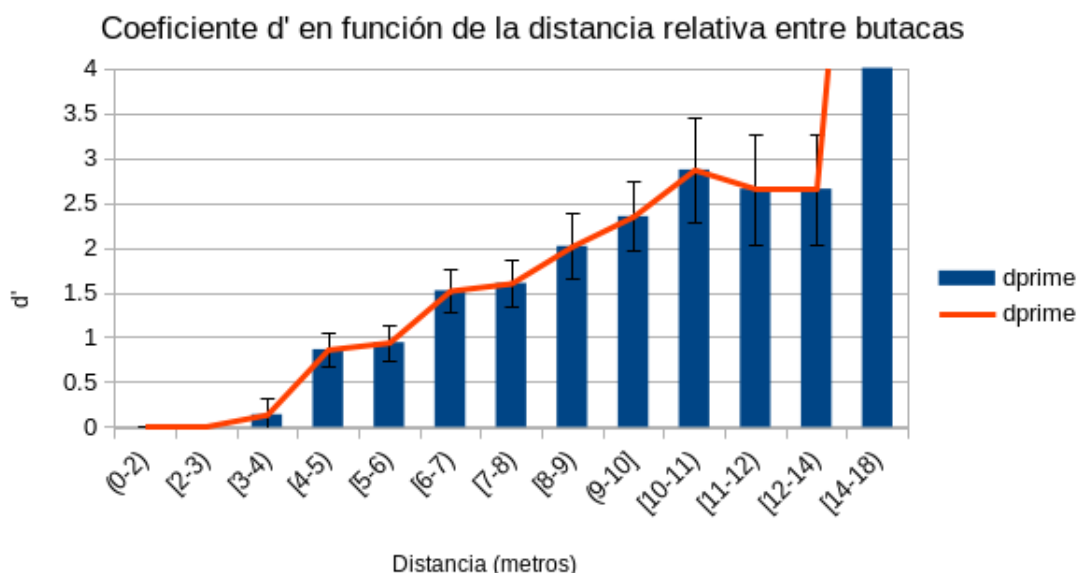


Figura 1.4: Coeficientes  $d'$  en función de la distancia entre butacas.

Por otro lado, la tabla 1.5, así como la figura 1.4, muestran, para el análisis mediante modelos thursthonianos, un crecimiento más o menos constante del coeficiente  $d'$  desde los [3-4) metros hasta el final. En este caso, en el que están incluidos 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 1.6 y figura 1.5 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.

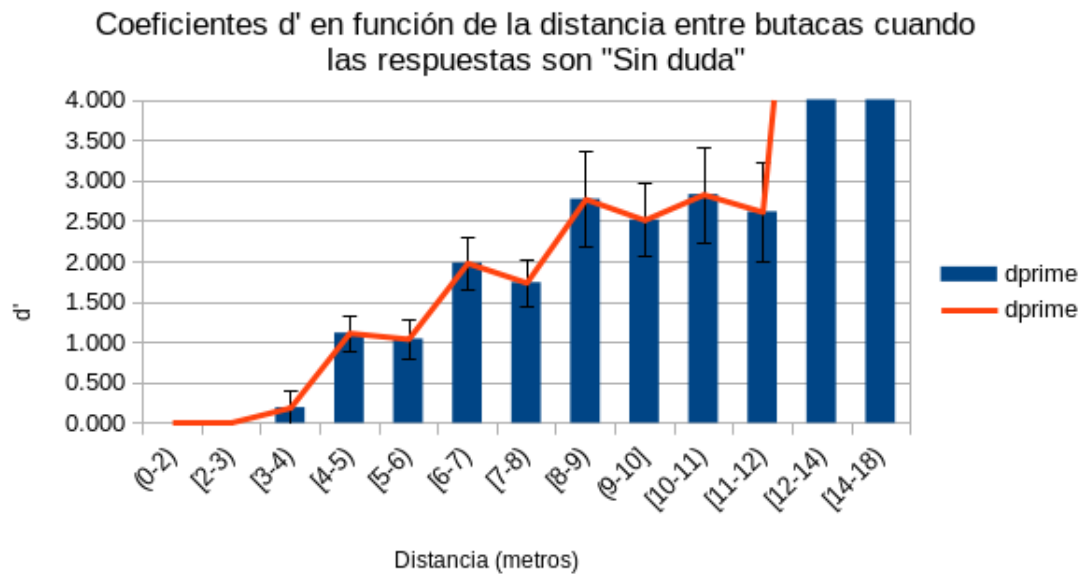


Figura 1.5: Coeficientes  $d'$  en función de la distancia entre butacas cuando las respuestas están marcadas como “Sin duda”.