

EFECTO SECUENCIAL EN ESCALAS DE MAGNITUDES: MODELO DE REGRESIÓN DE SERIES TEMPORALES

CARMEN GARCÍA GALLEGO Y ANA JULIA GARRIGA TRILLO
Dpto. Metodología de las Ciencias del Comportamiento
UNED

Resumen

El estudio del efecto secuencial en psicofísica es uno de los temas claves en la investigación sobre el sesgo de respuestas. Este puede plantearse estudiando la dependencia serial entre las respuestas, siguiendo la estructura de una serie temporal o la dependencia serial entre los residuos de las funciones, siguiendo el método tradicional de estimación de magnitudes. El primer caso, se estudió en García-Gallego, Merino, Garriga-Trillo y Rodríguez-Miñón, (1990) y García-Gallego, Garriga-Trillo, Merino, Rodríguez-Miñón, y Villarino, (1991). En este trabajo, como en García-Gallego y Garriga-Trillo (1993), consideramos los residuos del ajuste a la función potencial de Stevens. Los datos fueron obtenidos en un experimento auditivo de estimación de magnitudes. Se calculó la Función de Autocorrelación y Autocorrelación Parcial, encontrando dependencia serial en todos los sujetos pero no en todas las sesiones. Presentamos el parámetro autorregresivo N para todos los casos, continuando con el análisis detallado para uno de ellos.

Palabras claves: Dependencia serial, series temporales, sesgos de respuesta, escalamiento psicofísico.

Abstract

One of the main topics of response bias in psychophysics is the study of sequential effects. This can be done studying the sequential dependencies of each subject's responses when they follow the structure of a time series or the sequential dependencies of the errors obtained using our magnitude estimation data for the calculus of some least squares functions. The first study has already being done in García-Gallego, Merino, Garriga-Trillo and Rodríguez-Miñón (1990) and García-Gallego, Garriga-Trillo, Merino, Rodríguez-Miñón, and Villarino (1991). In this work, as in García-Gallego and Garriga-Trillo (1993), we present the second issue, considering the errors in the broadly accepted prediction function, Steven's power law. Data were obtained from an auditory magnitude estimation experiment, three subjects and eight sessions. Sequential dependencies are found for all subjects, but not in every session, using the autocorrelation and partial autocorrelation function. M's are calculated and one case (subject two, session two) is thoroughly analyzed.

Key words: Sequential dependencies, time series, response bias, psychophysical scaling.

La psicofísica estudia la relación entre los estímulos y las sensaciones que éstos producen. En el escalamiento psicofísico se trata de hallar, mediante alguna función, la relación óptima mínimo cuadrática entre el continuo físico y el psíquico.

Fechner y Stevens, a partir de las primeras formulaciones de Weber, proponen unas leyes psicofísicas que suponen un intento de encontrar dicha relación. La ley psicofísica de Fechner, plantea que mientras el estímulo aumenta en progresión geométrica, la sensación lo hace en progresión aritmética. Así establece que:

$$\varnothing = \alpha + \beta \ln S \quad (1.1)$$

donde α y β son parámetros, S la intensidad del estímulo y \varnothing la sensación.

Stevens, por otra parte, establece que los logaritmos neperianos de las respuestas dadas a cada valor del estímulo muestran un incremento lineal con respecto al logaritmo neperiano de ese valor. Es decir que la magnitud de la respuesta, R , es una función potencial de la magnitud del estímulo, S :

$$R = \alpha S^\beta \quad (1.2)$$

siendo α ordenada en el origen y β la pendiente que caracteriza el continuo sensorial particular que se esté investigando.

Si usamos logaritmos para linealizar, el modelo que se obtiene de la ecuación (1.2) sería el siguiente:

$$\ln R_i = \beta_0 + \beta_1 \ln S_i + \varepsilon_i \quad (1.3)$$

en donde $\beta_0 = \ln \alpha$. El término ε_i representa el componente de error.

Igual formulación puede determinarse para la función logarítmica y la lineal.

En general, las leyes de escalamiento clásicas se derivan variando un atributo mientras se mantienen constantes otros factores. Por tanto, el control experimental es un ingrediente clave en la investigación. Sin embargo, se ha descubierto que existe varianza no explicada por la función, cuyo efecto puede deberse a otros factores que escapan al control experimental. Por ello, es preciso estudiar el error con el objeto de poder llegar a una mejor comprensión de su comportamiento.

Así, Stevens (1956,1957), en un principio, afirmaba que la estimación psicofísica sería una función que dependería solamente del estímulo. Sin embargo, existen muchos factores que pueden afectar los juicios de los sujetos, siendo conveniente eliminar sus efectos para revelar la función verdadera subyacente. El estudio de estos factores tiene consecuencias teóricas ya que carece de sentido evaluar un modelo de escalamiento psicofísico sin controlar o medir sus efectos.

En definitiva, la ecuación (1.3) sería un modelo empírico incompleto ya que existen variaciones sistemáticas en los datos con las que no se cuenta y no quedan específicamente determinadas en él. Esto ocurre, particularmente, en investigaciones sobre el *efecto secuencial* en escalas de magnitudes (Cross, 1973; Luce & Green, 1974; Ward, 1973, 1979), en las que las respuestas de los sujetos muestran dependencias en el tiempo que no se tienen en cuenta específicamente en dicha ecuación. Así, como señala Lockhead (1992), en investigaciones en las que el sujeto tiene que emitir un juicio sobre un estímulo que varía sólo en una dimensión (por ej. la intensidad de un tono), éste tiende a ser similar al valor del estímulo presentado en la prueba anterior. Este efecto es conocido como "efecto de asimilación" y no es independiente del tiempo y por tanto puede prolongarse a lo largo de las diferentes pruebas.

Por tanto, como señalan DeCarlo y Cross (1990), la ecuación (1.3), representa un modelo estático en el que las respuestas a cada prueba sólo dependen de la intensidad del estímulo y del "ruido" asociado a ella.

Este modelo de regresión es válido para la mayoría de las teorías psicofísicas en las que se considera que los datos son relativamente estáticos, es decir, se tiene en cuenta sólo un valor de la escala en el tiempo. Así, este supuesto es adecuado en procedimientos en los que un único estímulo genera una única respuesta. Sin embargo, como señala Ward (1991), los modelos estáticos pueden responder a algunas cuestiones pero no son suficientes para dar una explicación completa en casos de experimentos en los que se requieren muchas repeticiones para producir datos fiables.

Si revisamos los trabajos sobre el estudio del efecto secuencial en psicofísica podemos considerar que dicho estudio puede plantearse con dos objetivos diferenciados: 1) con fines descriptivos y/o predictivos, cuando las respuestas han sido obtenidas siguiendo la estructura de una serie temporal y 2) como factor a tener en cuenta en el ajuste de los datos a las distintas funciones, cuando se ha seguido el procedimiento tradicional para la obtención de las respuestas.

En función de dichos objetivos se pueden considerar dos perspectivas de análisis del efecto secuencial. En el primer caso, se analiza la dependencia serial entre las respuestas del sujeto a un mismo estímulo. En el segundo caso, se analiza la dependencia serial de los residuos del ajuste de funciones.

En trabajos anteriores hemos estudiado la dependencia serial desde la primera perspectiva (García-Gallego, Merino, Garriga-Trillo y Rodríguez-Miñón, 1990; García-Gallego, Garriga-Trillo, Merino, Rodríguez-Miñón y Villarino, 1991). En estos trabajos se encontró que, en algunos casos, cuando se seleccionan las respuestas de los sujetos utilizando un mismo estímulo estándar existe dependencia serial entre las mismas, es decir las respuestas están autocorrelacionadas posiblemente debido al influjo del estímulo estándar en las respuestas. Por eso decidimos realizar un estudio en el que se considerase el efecto secuencial desde la segunda perspectiva con el fin de investigar si considerando los residuos del escalamiento estos efectos también aparecían. Un primer trabajo sobre el tema aparece en García-Gallego y Garriga-Trillo (1993). En él encontramos que los residuos del ajuste lineal sí seguían un modelo autorregresivo de primer orden (AR(1)) pero no así en las opciones de Fechner y de Stevens. Dado que trabajamos con decibelios decidimos, limitándonos a los residuos de la función de Stevens, estudiar el mismo fenómeno pero no utilizando las unidades logarítmicas implícitas en los dB sino la presión del sonido. Esto es, queremos comprobar si cuando ajustamos los datos de estimación de magnitudes a la función potencial existe dentro de los residuos del ajuste, factores no controlados cuyo efecto se prolonga a lo largo de los diferentes ensayos.

Esta consideración es importante pues la dependencia serial entre los datos puede plantear un problema a la hora de realizar un ajuste de funciones. Para mejorar el ajuste a estas funciones DeCarlo y Cross (1990) proponen el estudio de los residuos de las funciones psicofísicas como procesos autorregresivos de primer orden. Así, se considera que el efecto de las variables no explicadas por la función (como podría ser, el nivel de atención, la motivación, la estrategia utilizada, etc.), que estarían formando parte de los residuos, se prolongase a lo largo del tiempo. De esta forma dichos residuos se comportarían como un proceso Autorregresivo de primer orden.

El procedimiento a seguir consiste, en primer lugar, en estimar los parámetros mediante mínimos cuadrados y obtener la función específica para pronosticar la respuesta R' . En segundo lugar, una vez hallada esa función, se obtienen los residuos ($\varepsilon = R - R'$) y se contrasta si no están relacionados o si se comportan como un proceso autorregresivo de primer orden, AR (1). De forma que los residuos, ε , vendrían expresados por:

$$\varepsilon_t = \rho \varepsilon_{t-1} + \delta_t \quad (1.4)$$

donde \varnothing es un parámetro autorregresivo y δ_t es una variable aleatoria con media cero, varianza constante e independientes. Para la estimación de dicho parámetro se requiere que el proceso sea estacionario. Si los residuos obtenidos mediante un ajuste de la función están correlacionados ésto puede deberse a que se han omitido, en dicha función, variables explicativas importantes.

De forma que siguiendo a DeCarlo y Cross (1990) añadimos, en primer lugar, a la función potencial de Stevens un proceso autorregresivo y nos quedaría la ecuación siguiente:

$$\ln R_t = \beta_0 + \beta_1 \ln S_t + \varnothing_{t-1} + \delta_t \quad (1.5)$$

que es simplemente el modelo potencial, en forma logarítmica, con un proceso de error AR(1).

Hemos aplicado este procedimiento a los datos de una investigación anterior sobre las respuestas subjetivas obtenidas en un experimento auditivo de estimación de magnitudes (Garriga y Dorn, 1991), cuyas condiciones relevantes para este artículo reproducimos a continuación.

Método

Sujetos

En el experimento participaron tres sujetos de 14, 15 y 16 años con audición normal. Nunca habían participado en experimentos de discriminación auditiva.

Estímulos

Se presentaron diez estímulos estándar, siendo los primeros ocho de 22, 31, 40, 49, 58, 67, 76, 85 dB SPL (a intervalos de 9dB). Para tener diez estímulos se añadieron el 65 (por ser la intensidad aproximada del nivel normal de conversación) y el 42 (por razones simétricas). Todos fueron medidos en dB SPL. Se crearon una serie de entornos de siete estímulos alrededor de los estándar.

La frecuencia se fijó en 1000 Hz. Un Hewlett Packard 3325 actuó de sintetizador/generador de funciones. Los tonos puros fueron generados por osciladores existiendo una atenuación para ajustar la intensidad. El atenuador pasaba la señal al oído derecho de los auriculares (MX- 41/ AZ cushion). El sujeto se encontraba en una cámara aislada con doble pared de la "Industrial Acoustics Company". Cables B33B enviaban la señal a la cámara. Las instrucciones se recibían en una terminal "ADM Information Display". Para emitir las respuestas se utilizaron folios no rayados en los que se le daba a los sujetos los estímulos a evaluar.

Procedimiento

El experimento se realizó durante ocho días no consecutivos. Cada presentación del conjunto de siete estímulos, los asociados a un entorno, se comparaban con el estímulo estándar de su entorno y había diez conjuntos.

Cada sujeto se colocaba en la cámara aislada sentado frente al ordenador y rellenaba, en la hoja impresa, su nombre y la fecha. Se ponía los auriculares y pulsaba un botón de comienzo. Las instrucciones aparecían en la pantalla y existía la posibilidad de volver a repetir cualquier ensayo antes de emitir la respuesta que representase la magnitud del sonido acabado de oír. La duración de cada sonido fue de 200 mseg y el intervalo entre estímulos fue de 750 mseg.

El sujeto tenía que oír primero el sonido estándar, luego se le daba su magnitud real y se le pedía que evaluase mediante estimación de magnitudes el segundo sonido que oyese.

La magnitud de los estímulos (S) se midieron en dB SPL y teniendo en cuenta que es una transformación logarítmica de la presión del sonido (P):

$$\text{dB} = 20 \log(P/0.00002) \quad (1.6)$$

(Marks, 1974), se calculó la función inversa para P y éstos fueron los valores usados como S.

Resultados

Los pasos que se han seguido para el análisis de los datos han sido los siguientes:

- 1º) Cálculo de los valores de S en unidades P.
- 2º) Ajuste de los datos (S,R) a la función Potencial.
- 3º) Representación gráfica de los residuos del ajuste de la función potencial para cada uno de los estímulos presentados en cada sesión.
- 4º) Estudio de los residuos. Para ello se han realizado los siguientes análisis.
 - a) Cálculo de la ACF y PACF para ver si existen efectos secuenciales o no.
 - b) Estimación de los parámetros del modelo AR(1), cuando se cumplen las características del mismo.
 - c) Diagnóstico. En esta fase se estudia el grado de ajuste de los datos al modelo, para ello se calcula la ACF y PACF de los errores del ajuste al modelo AR (1).

En la Tabla 1 se representan los valores de los estímulo(S) y el logaritmo neperiano de los valores transformados de S en unidades P, con estos datos se calculó el ajuste a la función potencial.

TABLA 1.- Magnitud del estímulo (S) y los logaritmos neperianos correspondientes a los valores de S transformados en unidades P

Magnitud del Estímulo (S)	Ln de S en unidades P
13 16 19 22 25 28 31	-9.32 -8.98 -8.63 -8.29 7.94 -7.6 -7.25
33 34 36 37 39 40 42	-7.02 -6.91 -6.68 -6.56 -6.33 -6.21 -5.98
43 45 46 48 49 51 52	-5.87 -5.64 -5.52 -5.29 -5.18 -4.95 -4.83
55 56 58 59 61 62 64	-4.49 4.37 -4.14 -4.3 -3.8 -3.68 -3.45
65 67 68 70 71 73 74	-3.34 -3.11 -2.99 -2.76 -2.65 -2.42 -2.3
76 79 82 85 88 91 94	-2.07 -1.72 -1.38 -1.03 -.69 -.34 .00

En la Tabla 2 se presentan los resultados del ajuste a la función potencial considerando por separado cada sujeto en cada una de las sesiones. Se indica la pendiente (β_1), la ordenada en el origen (β_0), el coeficiente de determinación ajustado (R^2) y el valor de F obtenido para el contraste global de la regresión.

TABLA 2.- Resultados del ajuste de los datos a la función Potencial de Stevens. Pendientes (β_1), ordenada en el origen (β_0), Coeficiente de Determinación ajustado (R^2) y valores de F por sujeto y sesión.

sesión / sujeto		β_0	β_1	F	R^2 (Ajustado)
1	1	4.68	.167	721.48	.913
2	1	469	.166-	427.98	861
3	1	473	184	757.58	95
4	1	475	190	780.59	919
5	1	405	35	2.49	21
6	1	473	182	399.56	852
7	1	472	179	773.61	920
8	1	468	176	494.16	877
1	2	472	175	453.89	868
2	2	473	179	846.37	925
3	2	475	185	867.07	926
4	2	472	176	887.01	928
5	2	470	173	1116.9	941
6	2	471	173	873.98	927
7	2	475	187	927.99	931
8	2	472	179	1109.7	941
1	3	474	179	830.23	924
2	3	472	177	816.56	923
3	3	469	169	780.51	917
4	3	470	174	848.31	925
5	3	470	173	868.72	926
6	3	471	176	842.12	924
7	3	470	175	957.44	93
8	3	469	172	858.28	925

Una vez ajustados los datos, considerando las respuestas de cada sujeto en cada sesión, procedemos al cálculo de la Función de Autocorrelación (ACF) y la Función de Autocorrelación Parcial (PACF) de los residuos del ajuste, para ver si no están relacionados o si presentan dependencia serial. En la Tabla 3 se señala para cada sujeto y por sesión, los casos en los que los residuos del ajuste presentan dependencia serial.

TABLA 3.- Representación sujeto/sesión en las que aparecen efectos secuenciales

SUJETO	SESIONES							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1			*	*	*		*	
2	*	*	*	*	*		*	*
3	*	*	*	*	*	*		*

Una vez comprobado que los residuos no son independientes, en la mayoría de los casos, procedimos a estudiar si dichos residuos se comportaban como un proceso Autorregresivo de primer orden, AR (1).

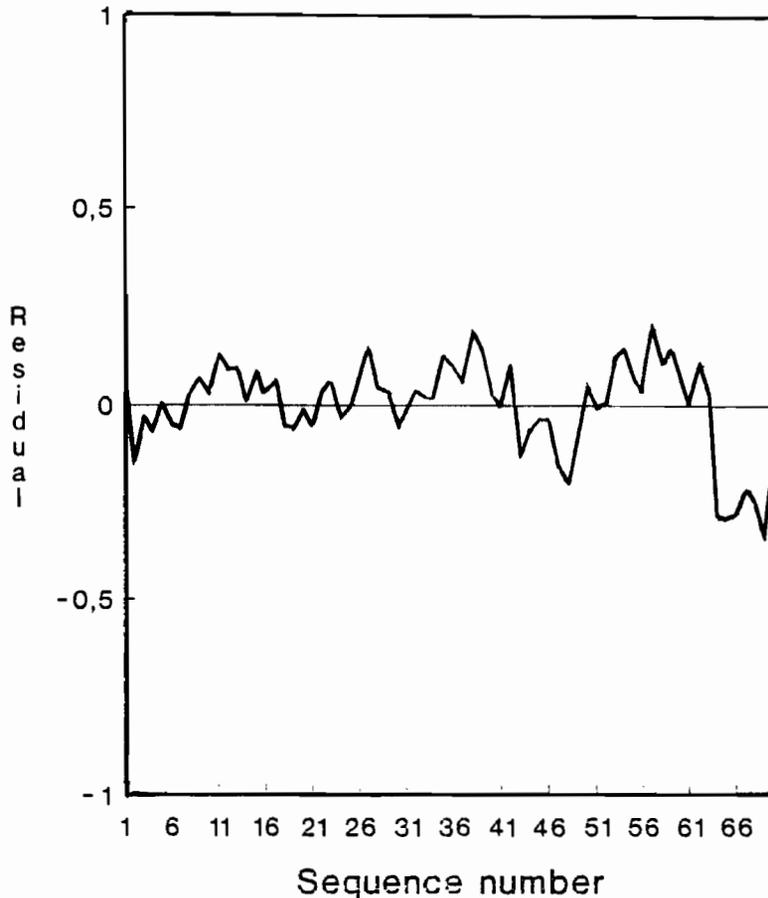
En la Tabla 4, presentamos los valores del parámetro Autorregresivo (ϕ_1), en todos aquellos casos en los que los residuos se ajustaban a dicho modelo.

TABLA 4.- Valores ϕ_1 , considerando sujeto por sesión en los que los residuos se ajustan a un Modelo Autorregresivo de primer orden

SUJETO	SESIONES							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1			54	53			40	
2	43	66	60	64	47		46	66
3	44	53	41	38		39		54

Como ilustración de los pasos intermedios realizados para el análisis de los resultados, presentaremos los resultados obtenidos para uno de estos casos (sujeto 2 sesión 2).

La representación gráfica de los residuos, del sujeto 2 en la sesión 2, aparecen en la Figura 1.



Model: MOD_1

Figura 1.- Representación gráfica de los residuos por estímulo para el sujeto 2 en la sesión 2

Como aparentemente los datos son estacionarios, es decir que no existían tendencias, el siguiente paso fue el cálculo de la ACF y PACF. En la Tabla 5 representamos dichas funciones para el mismo caso anterior.

En los casos en los que comprobamos la existencia de dependencia serial entre los residuos (ver Tabla 3), se estudió si se ajustaban a un proceso AR (1) (ver Tabla 4).

Por último, en la fase de diagnóstico se calculó la ACF y PACF de los errores del ajuste al modelo AR (1), comprobando que estos no mostraban autocorrelaciones significativas. En la Tabla 6 se representan estas funciones para el caso que venimos poniendo de ejemplo.

Discusión

Como podemos ver en la Tabla 2, el coeficiente de determinación ajustado (R^2) es alto, excepto en el caso del sujeto 1 en la sesión 5. Dicho coeficiente nos indica el porcentaje de varianza de la respuesta del sujeto que es explicada por el valor del estímulo comparativo. Por tanto, podemos considerar que se explica un porcentaje muy alto de la varianza de la respuesta utilizando la magnitud estimular S y por ello un nivel bueno de ajuste de los datos a la función

TABLA 5.- Función de Autocorrelación (ACF) y Función de Autocorrelación Parcial (PACF) de los residuos del ajuste a la función Potencial, correspondientes al sujeto 2 en la sesión 2

Autocorrelations:		ERRPOT	Residual											
Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	Box-Ljung	Prob.	
1	.662	.117						****	*****			32.041	.000	
2	.477	.116						****	*****			48.885	.000	
3	.396	.115						****	***			60.687	.000	
4	.292	.114						****	*			67.212	.000	
5	.063	.114						*	.			67.522	.000	
6	-.150	.113						.	.			69.292	.000	
7	-.269	.112						.	.			75.086	.000	
8	-.268	.111						.	.			80.906	.000	
9	-.330	.110						.	.			89.888	.000	
10	-.351	.109						.	.			100.250	.000	
11	-.312	.108						.	.			108.563	.000	
12	-.215	.107						.	.			112.563	.000	
13	-.185	.106						.	.			115.587	.000	
14	-.154	.105						.	.			117.731	.000	
15	-.037	.104						.	.			117.857	.000	
16	.047	.104						.	.			118.065	.000	

Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Total cases: 70 Computable first lags: 69

Partial Autocorrelations:		ERRPOT	Residual											
Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	Box-Ljung	Prob.	
1	.662	.120						****	*****			32.041	.000	
2	.068	.120						*	.			48.885	.000	
3	.102	.120						**	.			60.687	.000	
4	-.035	.120						.	.			67.212	.000	
5	-.279	.120						*	****			67.522	.000	
6	-.254	.120						.	****			69.292	.000	
7	-.146	.120						.	***			75.086	.000	
8	.085	.120						.	**			80.906	.000	
9	-.029	.120						.	*			89.888	.000	
10	.024	.120						.	*			100.250	.000	
11	-.013	.120						.	*			108.563	.000	
12	.004	.120						.	*			112.563	.000	
13	-.110	.120						.	**			115.587	.000	
14	-.076	.120						.	**			117.731	.000	
15	.097	.120						.	**			117.857	.000	
16	.018	.120						.	*			118.065	.000	

Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

TABLA 6.- Función de Autocorrelación (ACF) y Función de Autocorrelación Parcial (PACF) de los errores en la fase de diagnóstico del modelo AR (1), correspondientes al sujeto 2 en la sesión 2

Autocorrelations:		ERR#1	Error for ERRPOT from ARIMA, MOD_4 CON											
Lag	Auto- Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.	
1	-.059	.117					*					.251	.617	
2	-.005	.116					*					.252	.881	
3	.121	.115					**					1.358	.715	
4	.213	.114					****					4.812	.307	
5	.004	.114					*					4.813	.439	
6	-.130	.113					***					6.149	.407	
7	-.164	.112					****					8.296	.307	
8	.025	.111					*					8.347	.400	
9	-.127	.110					***					9.686	.377	
10	-.138	.109					***					11.294	.335	
11	-.131	.108					***					12.757	.309	
12	.028	.107					*					12.825	.382	
13	-.035	.106					*					12.934	.453	
14	-.154	.105					***					15.067	.374	
15	.033	.104					*					15.166	.440	
16	-.012	.104					*					15.181	.511	

Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .
Total cases: 70 Computable first lags: 69

Partial Autocorrelations:		ERR#1	Error for ERRPOT from ARIMA, MOD_4 CON										
Lag	Pr-Aut- Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1		
1	-.059	.120					.	*					
2	-.008	.120					.	*					
3	.121	.120					.	**					
4	.231	.120					.	*****					
5	.039	.120					.	*					
6	-.153	.120					.	***					
7	-.271	.120					.	*****					
8	-.085	.120					.	**					
9	-.106	.120					.	*					
10	-.033	.120					.	*					
11	-.038	.120					.	*					
12	.058	.120					.	*					
13	.010	.120					.	*					
14	-.149	.120					.	***					
15	-.014	.120					.	*					
16	-.106	.120					.	**					

Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .
Total cases: 70 Computable first lags: 69

potencial de Stevens. También el contraste global del modelo de regresión, siendo la F significativa en todos los casos excepto en el sujeto 1 sesión 5, lleva a aceptar el modelo propuesto.

El siguiente paso fue ver si existe efecto secuencial entre los residuos del ajuste. Como podemos ver en la Tabla 3, en los tres sujetos se da efecto secuencial, siendo el sujeto 1 el que presenta dicho efecto en menos sesiones. En el sujeto 2 se presenta efecto secuencial siempre excepto en la sesión 6 y el sujeto 3 se presenta en todas las sesiones. Este hecho podría relacionarse con el de que el sujeto 1 es el que ofrece un grado de ajuste más bajo en todas las sesiones siendo los sujetos 2 y 3 los de mejores ajustes. Los residuos no serían independientes en la mayoría de los casos violando así empíricamente uno de los supuestos del modelo de regresión. Por ello estudiamos si dichos residuos se comportan como un proceso autorregresivo para añadir este proceso a la función.

En la Tabla 4 vemos cómo en la mayoría de los casos los residuos del ajuste a la función Potencial de Stevens se ajustan a un modelo Autorregresivo de primer orden, siendo el valor absoluto del parámetro $|\phi_1| \leq 1$, cumpliendo la condición de estacionariedad que exigen estos modelos.

Para ilustrar los diferentes pasos realizados en el análisis, hemos cogido como ejemplo un caso (sujeto 2, sesión 2). En la Figura 1 se representan los residuos para este caso y podemos ver cómo éstos oscilan alrededor del cero, presentando una desviación mayor al final de la sesión. Esto podría deberse al cansancio. En general podemos ver en la representación gráfica de la Figura 1 que no existen tendencias en los residuos.

Siguiendo con el mismo caso, estudiamos la ACF y la PACF. En la Tabla 5 se observa claramente un patrón autorregresivo en la ACF. Vemos cómo la autocorrelación para el primer retardo es alta .66, siendo significativa al nivel de significación del 95 % (línea de puntos), hasta el cuarto retardo ($\epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \epsilon_{t-3}, \epsilon_{t-4}$), luego se trunca y empieza a ser significativo con valores negativos a partir los retardos 9,10 y 11 y en la PACF sólo hay un pico significativo al principio. Esto nos indica que la autocorrelación es de primer orden, ya que el retardo 2 en la PACF es cercano a cero (.068). Esto nos indica que se trata de un proceso autorregresivo de primer orden, ya que tanto la ACF como la PACF presentan un patrón característico de los procesos autorregresivos de primer orden, donde cada valor en la serie es función del valor precedente.

Por tanto, nuestra opción de considerar sólo el modelo de ajuste AR(1) está justificada, al menos para el sujeto 2 sesión 2. Ya hemos visto en la Tabla 3, cómo se daban efectos secuenciales en la mayoría de los residuos. En la Tabla 4 vemos como estos son, en general, de primer orden, obteniendo un valor de N de .66 para el sujeto 2 sesión 2.

La Tabla 6 corresponde a la fase de diagnóstico. Vemos en esta tabla que las autocorrelaciones no exceden en ningún caso el nivel de significación del 95% (línea de puntos) y el estadístico de Box-Ljung, que parte de la hipótesis nula de que no existe autocorrelación, no es significativo para ningún retardo por lo tanto aceptamos la hipótesis nula de que los errores no están relacionados al utilizar nuestro modelo AR(1). Si este modelo era aditivo sobre el de la función de Stevens, asumiéndolo sí se cumpliría el supuesto de independencia de los errores en el nuevo modelo de la regresión obtenido. Así, un modelo adecuado para el sujeto 2 sesión 2 sería:

$$\ln R_t = 4.68 + .67 \ln S_t + .66\epsilon_{t-1} + \delta_t$$

En resumen, hemos comprobado que las respuestas de los sujetos en una tarea de estimación de magnitudes a estímulos auditivos se ajustan a la función Potencial de Stevens. Sin embargo, los residuos de estos ajustes no cumplen uno de los supuestos de la regresión: la independencia.

La existencia de dependencia serial en los residuos nos indica que pueden existir otros factores "temporales", no controlados en la función, como por ejemplo podrían ser, el nivel de atención, la motivación, la estrategia utilizada etc. Por otra parte, el ajustarse a modelos

Autorregresivos de primer orden, AR(1), nos indica que el valor de obtenido en un momento dado está en función del valor precedente, es decir, cada valor correlaciona con el anterior. Por tanto, el efecto de estas variables se prolonga a lo largo de los diferentes ensayos.

En definitiva, como vimos para el sujeto 2, en el ajuste de funciones en psicofísica éste "reajuste" es útil en dos sentidos: a) para mejorar el ajuste de los datos a las funciones (atendiendo al componente $\varnothing_{\epsilon_{t-1}}$) y b) para describir patrones sistemáticos de respuestas que nos posibilita hacer pronósticos de valores futuros a partir de las respuestas pasadas. Convendría introducir, en estudios posteriores, nuevas variables independientes concretas que puedan ser funciones del tiempo e investigar su influjo directo.

Referencias

- DeCarlo, L.T. & Cross, D.V. (1990). Sequential Effects in Magnitude Scaling: Models and Theory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119 (4), 375-396.
- Cross, D.V. (1973). Sequential dependencies and regression in psychophysical. *Perception & Psychophysics*, 14, 547-552.
- García-Gallego, C. & Garriga-Trillo, A.J. (1993). Are Residuals in the Psychophysical Functions Autocorrelated?. En: A.Garriga-Trillo, P.R. Miñón, C. García-Gallego, P.Lubn, J.M. Merino y A. Villarino (Eds.). *Fechner day 93* (pp. 83-87). Palma de Mallorca, UNED: International Society for Psychophysics.
- García-Gallego, C., Garriga, A.J., Merino, J.M., Rodríguez-Miyon, P. & Villarino, A. (1991). Sequential modelization of psychophysical data. En: R. Lockhead (Ed.) *Fechner day 91* (pp. 49-54). Durham, Duke University: International Society for Psychophysics.
- García-Gallego, C., Merino, J.M., Garriga, A.J. & Rodríguez-Miyon, P. (1990). Autocorrelation and sequential effects. En F. Mhller (Ed) *Fechner Day, 90* (pp. 71-76). Germany, Universit@t Whrzburg: International Society for Psuochophysics.
- Garriga, A.J. & Dorn, T. (1991). Medición de la borrosidad: Modalidades cruzadas. *Psicothema*, 3 (2), 423-432.
- Lockhead, G.R. (1992). Psychophysical scaling:Judgments of attributes or objects? *Behavioral and Brain Sciences* (15), 543-601.
- Luce, R.D. & Green, D. M. (1974). The response ratio hypothesis for magnitude estimation. *Journal of Mathematical Psychology*, 11, 1-14.
- Marks, L. (1974). *Sensory Processess*. New York: Academic Press.
- Stevens, S.S. (1956). The direct estimation of sensory magnitudes-loudness. *American Journal of Psychology*, 69, 1-25.
- Stevens, S.S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 1953-1981.
- Ward, L.M. (1973). Repeated magnitude estimations with a variable standard: Sequential effects and other properties. *Perception & Psychophysics*, 14, 143-200.
- Ward, L.M. (1979). Stimulus information and sequential dependencies in magnitude estimation and cross-modality matching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 444-459.
- Ward, L.M. (1991). Simple reaction times may be chaotic. En: G.R: Lockhead (Ed.). *Fechner Day 91* (pp. 145-150). Durham, NC: International Society for Psychophysics.