

# UN ANALISIS DE SERIES TEMPORALES INTERRUMPIDAS: REACTIVIDAD CARDIACA ANTE UN ESTRESOR DE LABORATORIO

**ARNEDO, M.; RICARTE, J. Y SALVADOR, A.**  
Area de Psicobiología. Facultad de Psicología  
Universitat deValència

## Resumen

En este estudio se ha evaluado la utilidad del análisis estadístico mediante modelos ARIMA para analizar la reactividad cardíaca ante un estresor agudo de laboratorio. Dicha reactividad fue registrada en un equipo de deportistas de élite, al inicio y a mitad de una temporada deportiva. Los registros de este indicador de activación autonómica fueron considerados como series temporales interrumpidas en las que se distinguieron dos segmentos, el previo y el posterior al inicio del estresor.

Los resultados del análisis estadístico mediante modelos ARIMA mostraron que la reactividad cardíaca al estresor mental fue menor en la segunda sesión, lo que sugiere que el entrenamiento realizado entre las sesiones podría haber mejorado la capacidad de afrontamiento de estresores agudos. Este estudio muestra que los modelos ARIMA son herramientas útiles en el análisis e interpretación de datos psicofisiológicos de registro continuo, permitiendo controlar el efecto de la dependencia que las series temporales suelen presentar.

## Abstract

The usefulness of ARIMA models in the study of cardiac reactivity to an acute laboratory stressor has been assessed. The heart rate of a group of elite athletes was recorded at the beginning and in the middle of the sportseason when faced with an acute stressor. These recordings were considered as interrupted time series with two segments, pre-stressor and post-stressor.

The results obtained using ARIMA models showed that cardiac reactivity to the mental stressor was lower in the second test, suggesting that training carried out between tests could improve the ability to deal with acute stressors. This study shows that ARIMA models are not only useful tools to manage continuously registered psychophysiological data but in addition control for the dependence effect that temporal series usually present.

Correspondencia: Dra. Alicia Salvador. Area de Psicobiología. Facultad de Psicología. Universitat de València. Blasco Ibañez, 21. 46010 Valencia. Teléfono: 96-3864420. Fax: 96-3864668. e-mail: Alicia.Salvador@uv.es.

Este trabajo forma parte de un estudio que ha sido subvencionado por la CICYT (SAF92-692) y por el Consejo Superior de Deportes (nº 3732).

## 1. Introducción

La respuesta ante estresores agudos de laboratorio ha sido asociada con el comienzo y curso de enfermedades cardiovasculares (Obrist, Langer, Light y Koepke, 1983; Kirschbaum et al., 1995; Everson, Kaplan, Goldberg y Salonen, 1996; Al'Absi, Bongard, Buchanan, Pincomb, Licinio y Lovallo, 1997; Sherwood et al., 1997). El ejercicio aeróbico puede contribuir a una reducción de la reactividad al estrés agudo (Blumenthal y McCubbin, 1987; Crews y Landers, 1987; Roy y Steptoe, 1991; Steptoe, Kearsley y Walters, 1993; Boutcher, Nugent, McLaren y Weltman, 1998), de forma que los sujetos que mejoran su forma física mediante entrenamiento de resistencia muestran una reducción en su frecuencia cardíaca en respuesta a un estresor mental (Stein y Boutcher, 1992; de Geus, van Doornen y Orlebeke, 1993). Sin embargo, estos efectos positivos no han aparecido en todos los estudios (Seragianian, Roskies, Hanley, Oseasohn y Collu, 1978; Blumenthal et al., 1988; Steptoe, Moses, Mathews y Edwards, 1990), lo que ha sido explicado aludiendo a factores como el nivel de forma física, la presencia de sujetos hipertensos en las muestras estudiadas, las expectativas, la socialización y otros factores no específicos que pueden estar interviniendo en tales respuestas (Hughes, Casal y Leon, 1986; Holmes y McGilley, 1987; King, Taylor, Haskell y DeBusk, 1989; Sherwood, Light y Blumenthal, 1989).

Generalmente, estos estudios emplean diseños longitudinales en los que se registra de manera continua uno o más indicadores de activación autonómica. Estos registros podrían considerarse como series temporales interrumpidas, ya que los datos constituyen un conjunto de observaciones tomadas cronológicamente (Vallejo, 1996) que se caracterizan por un segmento inicial que es posteriormente «interrumpido» por la introducción del estresor. Sin embargo, la metodología más utilizada en este tipo de estudios ha sido el análisis de varianza (AVAR) de medidas repetidas, el diseño experimental más utilizado en la investigación médica y psicológica actual (Fernández y Vallejo, 1996), a pesar de que los diseños longitudinales se caracterizan por la presencia de dependencia serial en los datos (Fernández y Vallejo, 1996; Vallejo y Menéndez, 1998). Esto provoca el incumplimiento del supuesto de independencia de las puntuaciones requerido por las pruebas estadísticas clásicas. Sin embargo, dichas pruebas se aplican rutinariamente a pesar de los importantes efectos que el incumplimiento de dicho supuesto tiene sobre el nivel de significación (Vallejo y Menéndez, 1998). Cuando no se tiene en cuenta la dependencia serial, se obtiene una incorrecta estimación del error tipo I, de modo que, en presencia de una autocorrelación positiva la prueba F tiende a ser bastante liberal, mientras que en presencia de una autocorrelación negativa tiende a ser demasiado conservadora (Scheffé, 1959).

Entre los intentos de soslayar el grave problema de la dependencia serial, algunos autores han sugerido el uso de modelos ARIMA (modelos autorregresivos integrados de medias móviles), basados en los análisis de series temporales desarrollados por Box y Jenkins (1976). Esta metodología permite eliminar, a nivel estadístico, el efecto de la dependencia que las series temporales suelen presentar (Glass, Wilson y Gottman, 1975; Vallejo, 1996). Los modelos ARIMA son modelos de regresión que, con independencia de fines predictivos, pueden ser utilizados para analizar el efecto de una intervención sobre la serie temporal analizada eliminando el efecto de la posible autocorrelación (McDowall, McCleary, Meidinger y Hay, 1980), tratándose en este caso de modelos que aúnan la finalidad de un modelo de regresión clásico con las características propias de un modelo estocástico, regido de acuerdo con las leyes de la probabilidad.

Dentro de este marco teórico, en este trabajo se pretende evaluar la utilidad de los modelos ARIMA en el estudio de la reactividad cardíaca ante un estresor mental de laboratorio (tarea Stroop), utilizando datos de una investigación más amplia, en la que se sometió a un grupo de deportistas de élite a dos sesiones de evaluación, al principio y a mitad de una temporada deportiva. En primer lugar se analizó, en cada una de las sesiones, si la frecuencia cardíaca había experimentado un aumento significativo durante el periodo de tarea, lo cual indicaría que,

la presencia del estresor mental (tarea Stroop) produce un incremento en la activación autonómica con respecto a los niveles de respuesta registrados en la línea base. En segundo lugar, mediante la comparación entre las dos sesiones se estudió si, tal y como se ha descrito en la literatura, el impacto del estresor mental sobre la frecuencia cardíaca se reduce como efecto del entrenamiento y de la exposición repetida al estresor.

## **Método**

### **Muestra**

La muestra está compuesta por cinco deportistas de élite varones, jugadores de baloncesto del mismo equipo profesional. La edad promedio fue de 22.16 años ( $\pm 3.71$ ), la media en estatura de 193.35 cm. ( $\pm 6.89$ ) y en peso de 91.21 kg. ( $\pm 8.62$ ).

### **Procedimiento y materiales**

Se llevaron a cabo dos sesiones de evaluación de los deportistas, en las que se analizó el efecto del estresor mental sobre la frecuencia cardíaca. La primera sesión tuvo lugar inmediatamente después de un período vacacional. La segunda sesión tuvo lugar después de un período aproximado de cinco meses, durante el que los sujetos estuvieron sometidos a las sesiones de entrenamiento y participaron en las competiciones correspondientes. Las dos sesiones experimentales se realizaron en el Centro de Medicina Deportiva de Chestre y tuvieron lugar entre las 9 y las 14.30 horas.

Al inicio de cada sesión los sujetos cumplieron una serie de tests y pruebas para controlar su adaptación al entrenamiento. Tras tomar una muestra de sangre para realizar determinaciones hormonales basales y cumplimentar el historial médico se obtuvieron los datos antropométricos y se realizó un electrocardiograma. A continuación, los sujetos que reunían las condiciones apropiadas realizaron una ergometría máxima. Tras un período de descanso de 20-30 minutos, los deportistas llevaron a cabo una tarea atencional mediante ordenador (tarea Stroop), realizándose simultáneamente un registro electrofisiológico mediante un sistema computerizado Coulburn (Modelo S16-12). La frecuencia cardíaca fue registrada de forma continua (10 medidas por segundo) durante tres períodos: cinco minutos de línea base, cinco de tarea (realización de la tarea Stroop) y tres minutos de recuperación tras la finalización de la tarea. Finalmente, los sujetos completaron varios cuestionarios psicológicos.

### **Estresor**

La tarea Stroop (MacLeod, 1991) produce una alteración de las respuestas cardiovasculares y neuroendocrinas (Freyschuss, Hjemdahl, Juhlin-Dannfelt y Linde, 1988), por lo que fue seleccionada para inducir estrés mental en los sujetos experimentales.

Las condiciones de humedad y temperatura de la sala en la que se realizó el Stroop se mantuvieron constantes para todos los sujetos. Tras la colocación de los electrodos en la mano no dominante comenzaron diez minutos de habituación. Durante este tiempo el sujeto leía las instrucciones de la tarea experimental que aparecían en la pantalla del ordenador de forma estandarizada. Tras este período, los sujetos comenzaban a realizar la tarea. Esta tarea consistía en detectar y teclear en el ordenador lo más rápido posible, el número de ítems (numéricos y no numéricos) que aparecían en la pantalla.

## Reducción de datos y análisis estadísticos

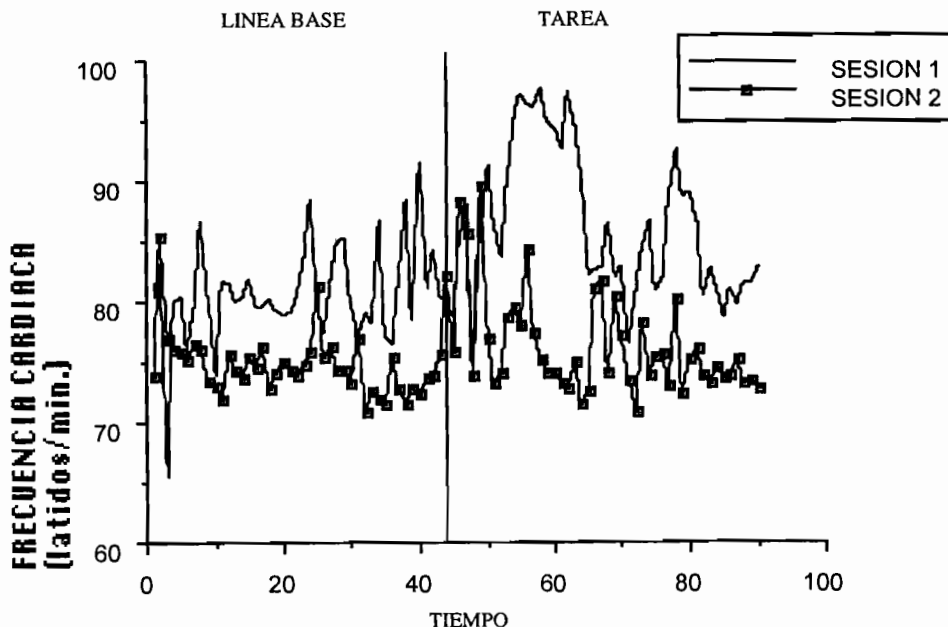
Se llevó a cabo una reducción de los datos obtenidos para la frecuencia cardíaca para obtener un dato por segundo (300 datos para la línea base y 300 para la tarea). Para realizar los análisis estadísticos mediante ARIMA se seleccionaron para cada sujeto los 180 últimos valores de la línea base (minutos del tres al cinco de registro) y los primeros 180 valores del período de tarea (del minuto uno al tres de la tarea). Posteriormente, se calcularon los valores promedio para los cinco sujetos del equipo en cada una de las sesiones. Se realizó un análisis ARIMA con los datos de cada una de las dos sesiones.

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el paquete estadístico SPSS versión 4.0 (SPSS/Mac Inc., 1989).

## Resultados

El procedimiento seguido con los datos procedentes de cada una de las dos sesiones de evaluación fue el siguiente: 1) se desarrolló un modelo para la serie de datos antes de la intervención (línea base); 2) se creó una variable 'fantasma' para representar el efecto de la intervención; 3) se estimó el modelo, incluyendo los parámetros del modelo propuesto y la variable 'fantasma'; 4) se realizó un diagnóstico de la autocorrelación de los residuales del modelo estimado, donde el modelo propuesto es aceptado sólo si los residuales se ajustan a un proceso de 'ruido blanco' (distribución normal e independiente con media cero y varianza constante).

En la Figura 1 se representa la frecuencia cardíaca durante la línea base y la tarea en la primera y segunda sesión, donde se observa que los niveles de esta medida fueron más elevados en la primera sesión ( $F_{1,179}=141.39$ ,  $p=0.001$ ).



**Figura 1.- Representación de la frecuencia cardíaca durante la línea base y la tarea en la primera y segunda sesión**

### Primera sesión

En primer lugar, se utilizaron los procedimientos diagnósticos FAC y FACP para identificar la estructura de dependencia de la serie en cuestión, que puede ser autorregresiva [AR (p)], de medias móviles [MA (q)], o una combinación de ambas [autorregresiva de medias móviles (p,q)]. Estos procedimientos fueron aplicados a los 180 valores en frecuencia cardíaca registrados durante la línea base de la primera sesión, por tanto previos a la aparición del estresor. El intervalo de confianza en los correlogramas fue estimado mediante el modelo independencia, que asume que el modelo subyacente es de ruido blanco.

**Tabla 1.- Función de autocorrelación (FAC) para la frecuencia cardíaca de la línea base en la primera sesión. \*=autocorrelaciones; .=límite de dos desviaciones típicas**

Auto-	Stand.											Box-Ljung	Prob.
Lag	Corr.	Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1		
1	.606	.074					.	**	*****			67.197	.000
2	.342	.074					.	**	****			88.726	.000
3	.155	.074					.	*	***			93.152	.000
4	-.066	.073					.	*	*			93.952	.000
5	-.119	.073					.	**	*			96.588	.000
6	-.180	.073					.	**	*			102.709	.000
7	-.176	.073					.	**	*			108.605	.000
8	-.109	.072					.	*	*			110.883	.000
9	-.048	.072					.	*	*			111.327	.000
10	-.030	.072					.	*	*			111.500	.000
11	.013	.072					.	*	*			111.530	.000
12	.016	.072					.	*	*			111.583	.000
13	.031	.071					.	*	*			111.776	.000
14	.073	.071					.	*	*			112.819	.000
15	.109	.071					.	*	*			115.175	.000
16	.163	.071					.	*	*			120.472	.000

La FAC presenta correlaciones producto-momento de Pearson entre dos observaciones distintas de una misma variable en dos puntos temporales diferentes, denominándose 'retardo' a la distancia entre los dos puntos de observación en el tiempo (Vallejo, 1996). Para una serie temporal, la distribución de las autocorrelaciones a través de los 'retardos' en la FAC es indicativa de la posible estructura de dependencia. En la Tabla 1 se presenta la FAC para la serie analizada. El estadístico Box-Ljung fue significativo en todos los 'retardos', indicando que existían autocorrelaciones significativas en la serie analizada. Además, el correlograma mostró una rápida reducción en las autocorrelaciones a través de los 'retardos'. Este patrón de autocorrelaciones es característico de un proceso autorregresivo (p) (McDowall et al., 1980). La FACP complementa la información proporcionada por la FAC, ya que el número de 'puntas' que esta función presente indica el posible orden del proceso autorregresivo. La FACP (Tabla 2) mostró una única correlación elevada situada en el primer 'retardo', representada en el correlograma por una 'punta', lo cual sugiere que el proceso autorregresivo es de primer orden [AR (1)]. Por tanto, este es el modelo tentativo de dependencia de la serie de datos, que fue contrastado para conocer si era adecuado, ya que en el caso de que el modelo propuesto no se ajuste a la serie, éste ha de ser rechazado y el proceso de identificación ha de comenzar de nuevo.

**Tabla 2.- Función de autocorrelación parcial (FACP) para la frecuencia cardíaca de la línea base en la primera sesión.**

Pr-Aut- Lag	Stand. Corr.	Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	.606	.075						**	*****		
2	-.040	.075					*	-			
3	-.058	.075					*	-			
4	-.201	.075					**	-			
5	.034	.075					*	-			
6	-.103	.075					**	-			
7	.002	.075					*	-			
8	.016	.075					*	-			
9	.031	.075					*	-			
10	-.067	.075					*	-			
11	.034	.075					*	-			
12	-.029	.075					*	-			
13	.036	.075					*	-			
14	.047	.075					*	-			
15	.080	.075					*	-	**		
16	.080	.075					*	-	**		

En segundo lugar, se creó una nueva variable ('fantasma'), que fue codificada como 0 durante la línea base y como 1 durante el estresor. El coeficiente de esta variable fue interpretado en la fase de estimación del modelo como una medida del efecto de la intervención. La hipótesis nula establece que no hay diferencias entre las observaciones de las dos fases como consecuencia de la intervención.

En tercer lugar, se estimó el efecto de la intervención y del parámetro autorregresivo del modelo ( $\phi_1$ ) (Tabla 3). Para que el modelo sea aceptado los parámetros propuestos de dependencia de la serie han de ser significativos y han de estar dentro de los límites de estacionareidad-invertibilidad (McDowall et al., 1980), para ello, han de ser en valor absoluto menores que la unidad. En nuestro caso, esta condición se cumplió, los límites de estacionareidad-invertibilidad no fueron superados. Además, el parámetro autorregresivo fue significativo ( $\phi_1=0.67$ ,  $p=0.000$ ), por lo que se concluyó que el modelo propuesto era adecuado a la serie de datos. El efecto de la intervención fue significativo ('ESCALON'=5.266,  $p=0.000$ ), por tanto, se concluyó que el estresor mental produjo un aumento significativo en los niveles de frecuencia cardíaca con respecto a los niveles registrados en la línea base.

**Tabla 3.- Estimación del parámetro autorregresivo del modelo (AR1=f1), de la constante y del efecto de la intervención ('ESCALON') en la primera sesión**

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	.673898	.0389905	17.283667	.00000000
ESCALON	5.266809	1.4455693	3.643415	.00030917
CONSTANTE	80.946286	1.0425646	77.641506	.00000000

En cuarto lugar, se evaluó la independencia de los residuales del modelo. Los residuales se ajustan a un modelo de 'ruido blanco' si en la FAC las autocorrelaciones de los primeros 'retardos' no son significativas y la mayoría de ellas no superan las dos desviaciones típicas (línea de puntos en el correlograma). Los residuales del modelo propuesto cumplieron ambos criterios (Tabla 4).

**Tabla 4.- Función de autocorrelación (FAC) para los residuales del modelo en la primera sesión**

Auto- Lag	Stand. Corr.	Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	-.091	.052					**					3.013	.083
2	.061	.052					.*					4.353	.113
3	.077	.052					**					6.515	.089
4	.002	.052					.*					6.517	.164
5	-.005	.052					.*					6.526	.258
6	.083	.052					**					9.061	.170
7	-.033	.052					.*					9.462	.221
8	.042	.052					.*					10.117	.257
9	.077	.052					**					12.297	.197
10	.062	.052					.*					13.723	.186
11	.052	.052					.*					14.718	.196
12	.028	.052					.*					15.011	.241
13	.004	.052					.*					15.019	.306
14	.061	.052					.*					16.424	.288
15	.039	.051					.*					16.990	.319
16	.119	.051					**					22.345	.132

## Segunda sesión

La FAC de los datos de la línea base (Tabla 5) mostró correlaciones significativas en todos los 'retardos'. En el correlograma se observó que las correlaciones descendían rápidamente, lo que sugería que existía un proceso autorregresivo en la serie. Para determinar el orden de este proceso se analizó la FACP (Tabla 6). Se observó una única 'punta' situada en el primer 'retardo'. Por tanto, se propuso que el modelo de dependencia de la serie era un proceso autorregresivo de primer orden [AR (1)], al igual que en la primera sesión. Tras crear la variable 'fantasma' para evaluar el efecto de la intervención se realizó la estimación de parámetros (Tabla 7). El parámetro autorregresivo permaneció dentro de los límites de estacionariedad-invertibilidad y fue significativo ( $\phi_1=0.46$ ,  $p=0.000$ ). El efecto de la intervención no alcanzó el nivel de significación ('ESCALON'=1.35,  $p=0.101$ ), por tanto, a diferencia de lo observado en la primera sesión, la frecuencia cardíaca de los deportistas de élite no experimentó un aumento significativo durante el estresor mental. La Tabla 8 presenta la FAC de los residuales del modelo. La mayoría de las correlaciones fueron no significativas y se mantuvieron dentro del límite de las dos desviaciones típicas, sobre todo las de los primeros 'retardos', por lo que el modelo planteado se consideró adecuado a la serie.

**Tabla 5.- Función de autocorrelación (FAC) para la frecuencia cardíaca de la línea base en la segunda sesión**

Auto- Lag	Stand. Corr.	Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	.470	.052						*	*	*	*	80.275	.000
2	.203	.052						*	*			95.307	.000
3	.198	.052						*	*			109.661	.000
4	.158	.052						*	*			118.832	.000
5	.086	.052						*	*			121.534	.000
6	.079	.052						*	*			123.852	.000
7	.151	.052						*	*			132.288	.000
8	.089	.052						*	*			135.224	.000
9	.126	.052						*	*			141.136	.000
10	.170	.052						*	*			151.915	.000
11	.232	.052						*	*	*	*	172.002	.000
12	.179	.052						*	*			183.994	.000
13	.049	.052						*	*			184.906	.000
14	.093	.052						*	*			188.179	.000
15	.055	.051						*	*			189.342	.000
16	.068	.051						*	*			191.099	.000

**Tabla 6.- Función de autocorrelación parcial (FACP) para la frecuencia cardíaca de la línea base en la segunda sesión**

Pr-Aut- Lag	Stand. Corr.	Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	.470	.053						*	*	*	*
2	-.023	.053						*	*		
3	.143	.053						*	*		
4	.018	.053						*	*		
5	-.011	.053						*	*		
6	.034	.053						*	*		
7	.111	.053						*	*		
8	-.045	.053						*	*		
9	.115	.053						*	*		
10	.057	.053						*	*		
11	.144	.053						*	*	*	*
12	-.005	.053						*	*		
13	-.094	.053						*	*		
14	.069	.053						*	*		
15	-.056	.053						*	*		
16	.061	.053						*	*		

**Tabla 7.- Estimación del parámetro autorregresivo del modelo (AR1=f1), de la constante y del efecto de la intervención ('ESCALON') en la segunda sesión**

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	.459400	.04700793	9.77283	.00000000
ESCALON	1.356987	.82607544	1.64269	.10132718
CONSTANTE	74.891717	.58826244	127.31004	.00000000



**Tabla 8.- Función de autocorrelación (FAC) para los residuales del modelo en la primera sesión**

Auto- Lag	Stand. Corr.	Err. -1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	.013	.052				.*					.062	.803
2	-.082	.052				**					2.519	.284
3	.090	.052				.	-	**			5.472	.140
4	.072	.052				.	-	*			7.344	.119
5	-.009	.052				.	-	*			7.376	.194
6	-.026	.052				.	-	*			7.623	.267
7	.130	.052				.	-	**	*		13.880	.053
8	-.032	.052				.	-	*			14.255	.075
9	.041	.052				.	-	*			14.893	.094
10	.047	.052				.	-	*			15.699	.109
11	.148	.052				.	-	**	*		23.914	.013
12	.106	.052				.	-	**	*		28.155	.005
13	-.093	.052				.	-	**	*		31.394	.003
14	.081	.052				.	-	**	*		33.852	.002
15	-.013	.051				.	-	*			33.915	.003
16	.059	.051				.	-	*			35.243	.004

## Discusión

Los estresores de laboratorio producen aumentos en los niveles de activación autonómica en función de diversos aspectos como las características de la tarea, la habilidad del sujeto y la situación (Mulder y Mulder, 1987), siendo la respuesta en la frecuencia cardíaca el indicador de estrés psicológico agudo más utilizado (Boucsein, 1993). Con respecto al estresor utilizado, se han descrito incrementos en frecuencia cardíaca ante estresores como la tarea «Stroop» (Sloan et al., 1997). Nuestros resultados muestran una clara respuesta de la frecuencia cardíaca ante dicho estresor en la primera sesión. La aplicación de modelos ARIMA confirma la sensibilidad de la frecuencia cardíaca como indicador de estrés mental.

Los resultados de los análisis estadísticos realizados mediante modelos ARIMA mostraron que, en el equipo de deportistas de élite evaluado, la respuesta en la frecuencia cardíaca a un estresor mental de laboratorio fue menor tras un período de entrenamiento. Mientras que en la primera sesión el impacto del estresor sobre la frecuencia cardíaca fue significativo, en la segunda sesión este efecto no alcanzó el nivel de significación estadística. Dado que entre las dos sesiones experimentales transcurrieron aproximadamente cinco meses de entrenamiento, los resultados obtenidos sugieren que este entrenamiento podría haber mejorado la capacidad de afrontamiento ante estresores agudos de laboratorio, tal y como se ha observado en estudios previos en los que se analizó el efecto del seguimiento de programas de entrenamiento sobre la reactividad al estrés (Duda, Sedlock, Melby y Thaman, 1988; Steptoe et al., 1993; Boutcher, Nugent, McLaren y Weltman, 1998). El descenso en los niveles de frecuencia cardíaca de la primera a la segunda sesión durante la línea base apoya esta hipótesis, ya que cuando el ejercicio físico se practica regularmente con una adecuada intensidad y duración se han observado reducciones de la tasa cardíaca basal (Kohl III, Powell, Gordon, Blair y Paffenbarger, 1992). Pese a que se podría atribuir parte de la disminución del impacto estresante de la tarea a su

administración repetida, la respuesta de la frecuencia cardíaca a estresores de laboratorio suele ser estable durante meses (Sherwood, Turner, Light y Blumenthal, 1990) por lo que la disminución de la frecuencia cardíaca tras el entrenamiento no podría ser explicada por la re-exposición a la tarea experimental, hecho que supondría un apoyo a la hipótesis planteada del efecto protector del ejercicio físico ante el estrés.

Cuando en un AVAR se consideran observaciones de un mismo sujeto se producen, por un lado, correlaciones graduales y positivas entre las mismas y por otro, se produce una matriz de varianzas-covarianzas entre las medidas repetidas en la que las puntuaciones más próximas presentan una correlación más elevada. Este fenómeno es contrario a las asunciones del AVAR, ya que los errores asociados con cada puntuación deberían ser independientes (Fernández y Vallejo, 1996). Por tanto, tal y como fue propuesto por Vallejo (1996), el AVAR podría ser visto como un caso especial del análisis de series temporales cuando no hay dependencia serial en los datos, constituyendo el análisis de series temporales mediante ARIMA una alternativa útil en el caso en que se compruebe la existencia de dependencia. Las dos series temporales analizadas en este estudio han sido descritas mediante un modelo autorregresivo de primer orden [AR(1)], que es el modelo autorregresivo descrito con mayor frecuencia en las ciencias socio-comportamentales. Dicho modelo es similar al modelo de regresión simple, en el que la constante y el efecto del impacto son componentes deterministas del modelo y el parámetro autorregresivo está restringido a un intervalo de valores.

En este trabajo se ha mostrado cómo los modelos ARIMA, basados en los análisis de series temporales desarrollados inicialmente por Box y Jenkins (1976), pueden servir para evaluar el impacto de una intervención, en este caso, un estresor mental, sobre un indicador de respuesta autonómica como es la frecuencia cardíaca. El principal inconveniente de este procedimiento estadístico es que requiere un número de observaciones lo suficientemente grande como para obtener una línea base estable. Sin embargo, esto no constituye un problema importante en los estudios en los que como en éste, la variable dependiente es un indicador de activación autonómica, ya que suelen registrarse de manera continua.

El interés de la aplicación de esta metodología en este campo de estudio recae en que, a diferencia de las metodologías tradicionales, se logra controlar la dependencia serial que frecuentemente se observa en este tipo de datos.

## Referencias

- Al'Absi, M., Bongard, S., Buchanan, T., Pincomb, G.A., Licinio, J. y Lovallo, W.R. (1997) Cardiovascular and neuroendocrine adjustment to public speaking and mental arithmetic stressors. *Psychophysiology*, 34, 266-275.
- Blumenthal, J.A. y McCubbin, J.A. (1987) Physical exercise as stress management. En A. Baum y J.E. Singer (Eds.), *Handbook of Psychology and Health* (pp. 303-331). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Blumenthal, J.A., Emery, C.F., Walsh, M.A., Fox, D.R., Kuhn, C.M., Williams, R.B. y Williams, R.S. (1988) Exercise training in healthy Type A middle-aged men: Effects on behavior and cardiovascular responses. *Psychosomatic Medicine*, 50, 418-435.
- Boucsein, W. (1993) *Psychophysiological investigations of mental and emotional strain in computer interaction: laboratory and field studies*. Paper presented at the Workshop on Stress in New Occupations. Tiburg, WORC.
- Boutcher, S.H., Nugent, F.W., McLaren, P.F. y Weltman, A.L. (1998) Heart period variability of trained and untrained men at rest and during mental challenge. *Psychophysiology*, 35, 16-22.
- Box, G.E.P. y Jenkins, G.M. (1976) *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
- Crews, D.J. y Landers, D.M. (1987). A meta-analytic review of aerobic fitness and reactivity to psychosocial stressors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, S114-S120.
- de Geus, E.J.C., van Doornen, L.J.P. y Orlebeke, J.F. (1993) Regular exercise and aerobic fitness in relation to psychological make-up and physiological stress reactivity. *Psychosomatic Medicine*, 55, 347-363.

- Duda, J.L., Sedlock, D.A., Melby, C.L. y Thaman, C. (1988) The effects of physical activity level and acute exercise on heart and subjective response to a psychological stressor. *International Journal of Sports Psychology*, 19, 119-133.
- Everson, S.A., Kaplan, G.A., Goldberg, D.E. y Salonen, J.T. (1996) Anticipatory blood pressure response to exercise predicts future high blood pressure in middle-aged men. *Hypertension*, 27, 1059-1064.
- Fernández, P. y Vallejo, G. (1996) Análisis de un diseño de medidas repetidas con dependencia serial en el error cuando la asunción de normalidad es violada. *Psicológica*, 17, 533-558.
- Freyschuss, U., Hjemdahl, P., Juhlin-Dannfelt, A. y Linde, B. (1988) Cardiovascular and sympathoadrenal responses to mental stress: Influence of b-blockade. *American Journal of Physiology*, 255, H1443-H1451.
- Glass, G.V. Wilson, V.I. y Gottman, J.M. (1975) *Design and Analysis of Time Series Experiments*. Boulder: Colorado Associated Universities Press.
- Holmes, D.S. y McGilley, B.M. (1987) Influence of a brief aerobic training program on heart rate and subjective responses to a psychological stressor. *Psychosomatic Medicine*, 49, 366-374.
- Hughes, J.R., Casal, D.C. y Leon, A.S. (1986) Psychological effects of exercise: A randomized cross-over trial. *Journal of Psychosomatic Research*, 30, 355-360.
- King, A.C., Taylor, C.B., Haskell, W.L. y DeBusk, R.F. (1989) The influence of regular aerobic exercise on psychological health: A randomized controlled trial of healthy middle-aged adults. *Health Psychology*, 8, 305-324.
- Kohl III, H.W., Powell, K.E., Gordon, N.F., Blair, S.N. y Paffenbarger, R.S. (1992). Physical activity, physical fitness, and sudden cardiac death. *Epidemiologic Reviews*, 14, 37-58.
- Kirschbaum, C., Prüssner, J.C., Stone, A., Federenko, I., Gaab, J., Lintz, D., Schommer, N. y Hellhammer, D.H. (1995) Persistent high cortisol responses to repeated psychological stress in a subpopulation of healthy men. *Psychosomatic Medicine*, 57, 468-474.
- MacLeod, C.M. (1991) Half century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- McDowall, D., McCleary, R., Meidinger, E.E. y Hay, R.A. (1980) *Interrupted Time Series Analysis*. London: Sage Publications.
- Mulder, L.J.M. y Mulder, G. (1987). Cardiovascular reactivity and mental work-load. En R.I. Kitney y O. Rompelman (Eds.). *The beat-by-beat investigation of cardiovascular function* (pp. 216-253). Oxford: Clarendon Press.
- Obrist, P.A., Langer, A.W., Light, K.C. y Koepke, I.P. (1983) A cardiac-behavioral approach in the study of hypertension. En T.M. Dembroski, T. Schmidt y G. Blumchen (Eds.). *Biobehavioral bases of coronary heart disease* (pp. 290-303). New York: Karger.
- Roy, M. y Steptoe, A. (1991) The inhibition of cardiovascular response to mental stress following aerobic exercise. *Psychophysiology*, 28 (6), 687-690.
- Scheffé, H. (1959) *The analysis of variance*. New York: John Wiley.
- Seraganian, P., Roskies, E., Hanley, J.A., Oseasohn, R. y Collu, R. (1978) Failure to alter psychophysiological reactivity in Type A men with physical exercise or stress management programmes. *Psychology and Health*, 1, 195-213.
- Sherwood, A., Light, K.C. y Blumenthal, J.A. (1989) The effects of aerobic exercise training on hemodynamic responses during psychosocial stress in normotensive and borderline hypertensive Type A men: A preliminary report. *Psychosomatic Medicine*, 51, 123-126.
- Sherwood, A., Turner, J.R., Light, K.C. y Blumenthal, J.A. (1990). Temporal stability of the hemodynamics of cardiovascular reactivity. *International Journal of Psychophysiology*, 10, 95-98.
- Sherwood, A., Girdler, S.S., Bragdon, E.E., West, S.G., Brownley, K.A., Hinderliter, A.L. y Light, K.C. (1997) Ten-year stability of cardiovascular responses to laboratory stressors. *Psychophysiology*, 34, 185-191.
- Sloan, R.P., Demeersman, R.E., Shapiro, P.A., Bagiella, E., Kuhl, J.P., Zion, A.S., Paik, M. y Myers, M.M. (1997). Cardiac autonomic control is inversely related to blood pressure variability responses to psychological challenge. *American Journal of Physiology*, 272, 2227-2232.
- SPSS/Mac Inc. (1989). *SPSS Inc.SPSS-X Trends*. 444 North Michigan Avenue. Chicago, IL: SPSS Inc.
- Stein, P. y Boutcher, S.H. (1992) The effect of participation in an exercise training program on cardiovascular reactivity in sedentary middle-age men. *International Journal of Psychophysiology*, 13, 215-223.
- Steptoe, A., Moses, J., Mathews, A. y Edwards, E. (1990) Aerobic fitness, physical activity and psychophysiological reactions to mental tasks. *Psychophysiology*, 27, 264-274.
- Steptoe, A., Kearsley, N. y Walters, N. (1993) Cardiovascular activity during mental stress following vigorous exercise in sportsmen and inactive men. *Psychophysiology*, 30, 245-252.
- Vallejo, G. (1996) *Diseño de series temporales interrumpidas*. Barcelona: Ariel.
- Vallejo, G. y Menéndez, I. (1998) Efectos de la dependencia entre las observaciones en diversos procedimientos de comparación múltiple. *Psicológica*, 19, 53-71.