



# ¿Caos en el electrocardiograma de estudiantes con miedo a volar? Un análisis de no linealidad<sup>1</sup>

Jordi Llabrés<sup>2</sup> (*Institut Universitari d'Investigacions en Ciències de la Salut, IUNICS y Universitat de les Illes Balears, España*),  
Xavier Bornas (*Universitat de les Illes Balears, España*),  
Miquel Noguera (*Universitat Politècnica de Catalunya, España*),  
Ana María López (*Universidad de Sevilla, España*) y  
Francesca Barceló (*Universitat de les Illes Balears, España*)

(Recibido 17 de septiembre 2004/ Received September 17, 2004)  
(Aceptado 30 de noviembre 2004 / Accepted November 30, 2004)

**RESUMEN.** La Teoría del Caos proporciona una nueva forma de analizar las respuestas psicofisiológicas asociadas a los trastornos de ansiedad. Pero para poder aplicar los métodos de análisis no lineal de esta relativamente reciente teoría, primero es necesario comprobar la existencia de algún tipo de no linealidad que justifique su uso. En este estudio experimental se analiza, mediante el procedimiento de los datos vicarios, la no linealidad de las señales generadas por el sistema cardiovascular (ECG) de estudiantes con y sin miedo a volar, en diferentes condiciones de estimulación. Los errores de predicción de las series vicarias fueron siempre mayores que los de las correspondientes series empíricas ( $p < 0,05$ ), demostrándose así que las señales ECG, en todos los sujetos y en todas las condiciones, presentan propiedades no lineales y que por tanto resulta adecuado analizarlas desde planteamientos no lineales para obtener conocimiento acerca de su complejidad, entropía, regularidad, etc.

**PALABRAS CLAVE.** Electrocardiograma. ECG. Trastornos de ansiedad. Sistemas no lineales. Datos vicarios. Estudio experimental.

<sup>1</sup> Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto BSO2002-03807).  
<sup>2</sup> Correspondencia: Departament de Psicologia. Universitat de les Illes Balears. Edifici Guillem Cifre de Colonya. Carretera de Valldemossa, km. 7,5. 07122 Palma de Mallorca (España). E-mail: jordi.llabres@uib.es

**ABSTRACT.** Chaos theory provides a new way to analyze the psychophysiological functioning of anxiety disordered people. However, in order to apply any of the nonlinear analysis techniques, nonlinearity tests must be performed and nonlinearity must be found in the psychophysiological signal. In this experimental study we use the surrogate data method to analyze the nonlinearity of the ECG time series of students with and without fear of flying under several stressing conditions. The prediction errors of the surrogate data were found to be much higher than the prediction errors of the ECG signals ( $p < .05$ ) in all the experimental conditions as well as during the baseline period. We conclude that nonlinear properties are in fact in the ECGs of the participants, and therefore it would be possible to analyze these signals with nonlinear techniques to get knowledge about their complexity, entropy, regularity, and so on.

**KEYWORDS.** Electrocardiogram. ECG. Anxiety disorders. Nonlinear systems. Surrogate data. Experimental study.

**RESUMO.** A Teoria do Caos fornece uma nova forma de analisar as respostas psicofisiológicas associadas a perturbações de ansiedade. Para poder aplicar os métodos de análise não linear desta teoria relativamente recente, é necessário, primeiro, comprovar a existência de algum tipo de não linearidade que justifique o seu uso. Neste estudo experimental analisa-se a não linearidade do sinais gerados pelo sistema cardiovascular (ECG) de estudantes com e sem medo de viajar de avião, em diferentes condições de estimulação. Os erros de predição das séries substitutas foram sempre maiores que as das séries empíricas correspondentes ( $p < 0,05$ ), demonstrando-se assim que os sinais ECG, em todos os sujeitos e em todas as condições, apresentam propriedades não lineares e que por isso é adequado analisá-las a partir de técnicas não lineares para obter conhecimento acerca da sua complexidade, entropia e regularidade, etc.

**PALAVRAS CHAVE.** Electrocardiograma. ECG. Perturbações de ansiedade. Sistemas não lineares. Dados vicarios. Estudio experimental.

### Introducción

El sistema cardiovascular ha sido uno de los primeros sistemas fisiológicos que han atraído la atención de los investigadores interesados en la Teoría del Caos, un área en proceso de expansión desde su nacimiento, relativamente reciente, en la década de los años sesenta. A principios de los años noventa encontramos los primeros intentos de caracterizar el sistema cardíaco como un sistema caótico en el sentido más estricto del término, es decir, teniendo como referencia los sistemas matemáticos que, mediante ecuaciones conocidas, se comportan de forma caótica (impredictible a medio y largo plazo) y cuyas representaciones en dos o tres dimensiones dibujan los denominados atractores extraños (Lorenz, Rössler, Hénon, etc.). Ary Goldberger fue uno de los primeros en afirmar que el sistema cardíaco era un sistema caótico (Goldberger, Rigney y West, 1990; véase también Deering y West, 1992). Tras aquellos intentos iniciales que pretendían poder conocer la complejidad, la entropía o la regularidad del sistema, y en buena medida gracias al desarrollo de la metodología de análisis no lineal de series

temporales, en la segunda mitad de los años noventa se ha podido observar cierta moderación en las expectativas que la Teoría del Caos generó entre los investigadores del sistema cardiovascular. Así, autores como Kantz y Schreiber (1997) señalan que «antes de realizar cualquier análisis no lineal de un conjunto de datos, es una buena idea comprobar que realmente exista algún tipo de no linealidad que lo haga necesario. La principal lección a aprender es que procesos lineales estocásticos pueden producir señales muy complejas en apariencia y que no todas las estructuras que podemos encontrar en el conjunto de datos son producidas por dinámicas no lineales del sistema» (p. 93). En otras palabras, aunque podamos suponer que un determinado conjunto de datos proviene de un sistema dinámico (y en el caso del electrocardiograma (ECG) la señal no es absolutamente regular como supondría un planteamiento determinista, ni es fácil aceptar que sea completamente aleatoria como ocurriría si el sistema fuera indeterminado), la ley de la parsimonia nos debe llevar a buscar la explicación más sencilla y ésta es que los datos provengan de un sistema lineal estocástico (Schreiber y Schmitz, 2000), esto es, que la irregularidad observada sea debida a «ruido». De esta forma, resulta imprescindible demostrar primero la presencia de no linealidad en los datos obtenidos del sistema y, sólo en el caso de que se demuestre, se puede proceder después a indagar en la complejidad, la flexibilidad o cualquier otra característica no lineal del mismo.

Para comprobar la existencia de no linealidad en el sistema generador de una serie de datos, uno de los procedimientos más utilizados es la generación de series de datos vicarios o sustitutos (*surrogate data*), un procedimiento desarrollado por Theiler, Eubank, Longtin, Galdrikian y Farmer (1992) y que es, básicamente, una aplicación de los métodos de remuestreo de la estadística computacional (López y Chorro, 2002). El método de los datos vicarios consiste en la generación, a partir de la serie empírica, de un conjunto de series aleatorias de manera que éstas conserven algunas propiedades de la serie original (media, varianza, espectro de Fourier, estructura de autocorrelación), pero de las que se ha eliminado la posible dependencia no lineal (Govindan, Narayanan y Gopinathan, 1998). Más concretamente, una vez generado el conjunto de series vicarias, se trata de calcular un índice estadístico sensible a la dependencia no lineal en la serie de datos original y después obtener la distribución de ese mismo índice para sus series vicarias. Si a través de un test estadístico podemos rechazar la hipótesis nula que establece que los índices proceden de un sistema lineal, demostraremos, siempre dentro de un determinado intervalo de confianza, la no linealidad de los datos empíricos dado que las series vicarias son producto de un proceso lineal aleatorio. Algunos de los índices estadísticos utilizados con mayor frecuencia son la dimensión de correlación (véase por ejemplo Small, *et al.*, 2002) y la predictibilidad no lineal (Kaplan, 2002). Nosotros hemos escogido la predictibilidad como estadístico debido a que «una de las características definitorias de un sistema dinámico que muestra caos determinístico es que, mientras la predicción a largo plazo es imposible, sin embargo es posible predecir el comportamiento del sistema a corto plazo con un determinado grado de confianza» (Lefebvre, Goodings, Kamath y Fallen, 1993).

En cuanto a la investigación aplicada, es decir, aquélla que se dirige al conocimiento del sistema cardiovascular para, en última instancia, prevenir o tratar ade-

cuadramente las alteraciones relacionadas con el mismo, se ha desarrollado mucho más en el terreno de la Medicina que en el de la Psicología. A modo de ejemplo, la revista *Cardiovascular Research* publicó en 1996 un monográfico sobre las posibles aplicaciones de la Teoría del Caos, y dos años más tarde Wagner y Persson (1998) presentaban una actualización del tema en la misma revista. Sin embargo, en los últimos años se han publicado trabajos de indudable interés para la Psicología Clínica y de la Salud (Friedman y Thayer, 1998; Johnsen *et al.*, 2003; Rao y Yeragani, 2001; Rihakrishna, Dutt y Yeragani, 2000; Thayer y Lane, 2000; Yeragani, *et al.*, 2002, entre otros).

En los estudios de tratamiento de los trastornos de ansiedad no es frecuente la evaluación de las respuestas psicofisiológicas. Pero esto no es debido a que se haya determinado su falta de valor explicativo en este tipo de trastornos sino a que esta evaluación resulta muy costosa, conlleva problemas metodológicos y a menudo genera resultados contradictorios. Algunos autores consideran que las medidas de autoinforme resultan suficientes para la planificación del tratamiento por lo que la evaluación psicofisiológica resulta superflua (Foa y Kozak, 1988). Pero como señala Craske (1999), el hallazgo de una inflexibilidad autonómica asociada a diferentes trastornos de ansiedad (Thayer, Friedman y Borkovec, 1996; Yeragani, *et al.*, 1990) ha renovado el interés por la psicofisiología de la ansiedad. La posibilidad de una nueva forma de analizar las respuestas psicofisiológicas (esto es, de realizar análisis no lineales de dichas respuestas) probablemente contribuirá a este renovado interés.

El objetivo del presente estudio experimental (Montero y León, 2005) es analizar, mediante el procedimiento de los datos vicarios y utilizando el error de predicción como estadístico de comparación, la no linealidad de las señales ECG registradas en estudiantes con y sin miedo a volar, en diferentes condiciones de estimulación. Como ya se ha comentado, el fin último de este análisis es la justificación de la aplicación de medidas no lineales derivadas de la Teoría del Caos en la caracterización de la respuesta cardiovascular, con el fin de obtener conocimiento de su dinámica, complejidad, regularidad, etc. Hace ya más de diez años, Lefebvre *et al.* (1993) comprobaron que el ECG, o más concretamente, las series de intervalos R-R obtenidas, tanto de sujetos sanos como de sujetos que habían padecido un infarto de miocardio, presentaban propiedades no lineales. Algunos años más tarde, Govindan *et al.* (1998) llegaron a la misma conclusión, aunque con ciertas reservas, trabajando con señales ECG (esta vez, como nosotros, con señales directamente en milivoltios) obtenidas de sujetos sanos y de pacientes con trastornos cardiovasculares diversos. Recientemente, Small *et al.* (2002) también concluyeron que el ECG registrado durante un ritmo normal, durante taquicardia ventricular o durante fibrilación ventricular, presentaba características no lineales. Pero hasta la fecha, por lo que conocemos, aún no se ha realizado ningún estudio en que se haya analizado la no linealidad de la respuesta cardiovascular asociada a la ansiedad de los sujetos con fobia a volar en avión.

Este trabajo, que sigue las pautas de redacción establecida por Ramos-Alvarez y Catena (2004), se enmarca en un proyecto de investigación más amplio en el que se trata de mejorar la eficacia de un tratamiento asistido por ordenador de la fobia a volar, el CAFFT (*Computer Assisted Fear of Flying Treatment*; Bornas, Fullana, Tortella-

Feliu, Llabrés y García de la Banda, 2001a; Bornas, Tortella-Feliu, Llabrés y Fullana 2001b; Bornas, *et al.*, 2002). A otro nivel, el presente estudio viene a ser una concreción, de entre las muchas posibles, de la propuesta general sobre la relación entre Teoría del Caos y Terapia de Conducta formulada recientemente por Bornas y Noguera (2002).

## Método

### *Participantes*

Se seleccionaron diez estudiantes con miedo a volar (siete mujeres) y diez estudiantes no fóbicos (siete mujeres) de un conjunto más amplio de estudiantes de la Universidad de las Islas Baleares ( $n = 230$ , 188 mujeres; media de edad = 22 años;  $DE = 3,2$ ). Todos los participantes completaron el Cuestionario de Miedo a Volar (QPV) (Bornas, Tortella-Feliu, García de la Banda, Fullana y Llabrés, 1999), la Escala de Miedo a Volar (FFS) (Haug, *et al.*, 1987) y el Inventario de Depresión de Beck (BDI) (Beck, Rush, Shaw y Emery, 1979). La selección se realizó en función de la puntuación en el QPV ( $n = 230$ ;  $M = 75,8$ ;  $DE = 32,6$ ). Los sujetos que puntuaron por encima de dos desviaciones estándar de la media ( $QPV > 141$ ) se consideraron estudiantes fóbicos ( $n = 14$ ). Cuatro estudiantes del grupo fóbico se excluyeron debido a la pérdida o contaminación de sus datos en una o más de las condiciones experimentales. Los diez participantes no fóbicos se seleccionaron de entre un grupo de treinta estudiantes cuya puntuación estaba una desviación por encima o por debajo de la media ( $43 < QPV < 108$ ). Todos los participantes puntuaron por debajo de 16 (no depresión) en el BDI y dieron su consentimiento por escrito después de ser informados de los objetivos del estudio.

### *Estímulos y registro ECG*

Para este experimento se modificó ligeramente la secuencia del CAFFT correspondiente al despegue. En ella se incluyeron nueve imágenes con sus correspondientes sonidos sincronizados (tanto las imágenes como los sonidos fueron obtenidos en situaciones reales). Esta secuencia de 70 segundos de duración se denominó secuencia IS y se editaron dos versiones de la misma: una sin sonido (secuencia I) y otra sin imágenes (secuencia S). Con el fin de disponer de una condición «neutral» se construyó otra secuencia de la misma duración utilizando imágenes relajantes (por ejemplo paisajes) y música clásica (secuencia C). Las cuatro secuencias se incluyeron en un programa informático que permitía una rápida selección de las mismas por parte de la investigadora. La presentación de los estímulos se controló con un PC Pentium a 500 MHz.

Las sesiones se realizaron en una habitación insonorizada con iluminación atenuada. El registro del ECG se llevó a cabo con una configuración Lead II (electrodo positivo en el tobillo izquierdo, electrodo negativo en la muñeca derecha y toma de tierra en el tobillo derecho) usándose electrodos Ag/AgCl de 10 mm. La señal se registró en un sistema BIOPAC 30 y la frecuencia de muestreo se fijó en 200 Hz. Los registros de cada condición y sujeto se almacenaron en otro ordenador diferente al de presentación de estímulos.

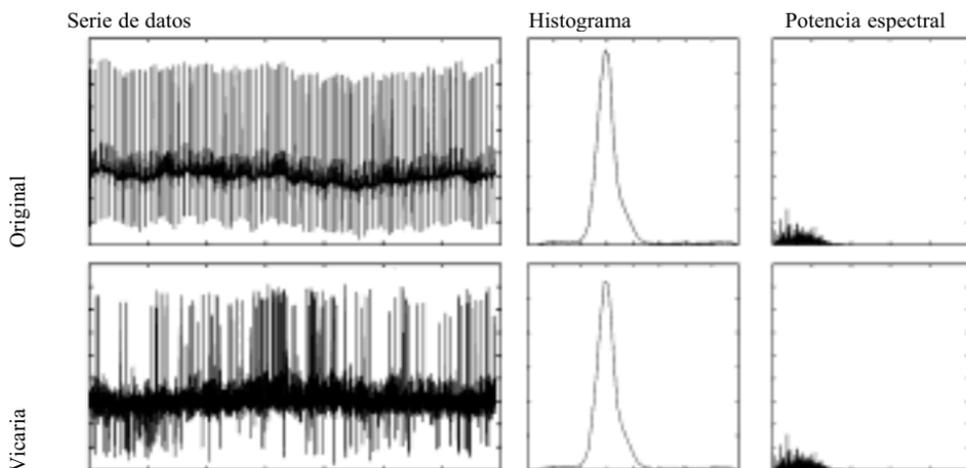
### Procedimiento

Una vez en el laboratorio, los participantes se sentaban en una silla confortable y se obtenía su consentimiento para participar en el experimento. Los sujetos se colocaban a aproximadamente un metro y medio de un monitor de 17 pulgadas y se les colocaban los electrodos para obtener el registro psicofisiológico. Se les decía a los participantes que se llevarían a cabo registros de línea base y la experimentadora salía de la habitación. Mientras el sujeto escuchaba música clásica de fondo se obtenía una línea base durante los 5 minutos que duraba la fase de adaptación. De este registro, se usaron como línea base (LB) 70 segundos libres de artefactos de la parte central del mismo. Después la experimentadora entraba en la habitación y comunicaba al sujeto que el experimento iba a comenzar. En este momento se daba una breve explicación de lo que iba a ocurrir: «usted verá algunas imágenes en la pantalla de este ordenador y/o oirá algunos sonidos a través de los auriculares. En algunas ocasiones las imágenes o los sonidos pueden generar ansiedad, y otras veces las encontrará relajantes. Habrá cuatro presentaciones. Después de cada una de ellas, le haré algunas cuestiones sobre sus sensaciones, sus reacciones físicas, etc. Entonces esperaremos dos minutos hasta la siguiente presentación». En ese momento, la experimentadora esperaba dos minutos antes de empezar con la primera presentación. Para evitar el potencial efecto de la presentación en el mismo orden de las secuencias (por ejemplo, la habituación), éstas se presentaron de forma aleatoria.

### Datos vicarios

Existen diferentes métodos para generar series vicarias a partir de un conjunto de datos [(Schreiber y Schmitz (2000) o Small, Judd y Mees (2001) han publicado revisiones sobre este tema)], pero la idea siempre es la misma: obtener una serie de datos aleatorizados que «imite» determinadas propiedades de la serie original en el dominio del tiempo (por ejemplo la media, la variancia y la amplitud intercuartil), en el dominio de las frecuencias (por ejemplo la potencia espectral) o en ambos. En realidad, en la generación de las series vicarias se trata de conservar las propiedades lineales de la serie original destruyendo a la vez toda estructura no lineal con la aleatorización de los datos (Breakspear y Terry, 2002). En este trabajo se ha utilizado el procedimiento desarrollado por Schreiber y Schmitz (1996) basado en el algoritmo de la transformada de Fourier con ajuste de la amplitud (*amplitude adjusted Fourier transform, AFFT*) propuesto por Theiler *et al.* (1992). El método de Schreiber y Schmitz (1996) permite obtener series vicarias que presentan el mismo histograma y prácticamente la misma potencia espectral que los datos originales. En la Figura 1 se puede observar este hecho en la serie original y una de sus vicarias que se han tomado como ejemplo. Esto se consigue a través de un proceso de iteración en el que se mantiene un histograma exacto al de la serie original y se va ajustando al máximo la potencia espectral (Burioka, Cornélissen, Halberg y Kaplan, 2001).

**FIGURA 1.** Comparación de una señal ECG original, de su histograma y potencia espectral, con una de sus series vicarias.



### Predicción no lineal

Hemos señalado ya en la introducción que una de las características que definen a un sistema dinámico que muestra caos determinista es la posibilidad de predecir, dentro de un margen de confianza, el comportamiento del sistema a corto plazo pero nunca a largo plazo. En otras palabras, si el sistema fuera determinista la predicción sería posible incluso a largo plazo, y si el sistema fuera aleatorio (como lo son las series vicarias obtenidas) incluso la predicción a corto plazo sería imposible (Govindan *et al.*, 1998). Para realizar la predicción no lineal hemos utilizado un sencillo pero robusto método de aproximación local en el que el valor predicho es la media de los «futuros» de los valores vecinos (Hegger, Kantz y Schreiber, 1999). De esta forma el valor predicho en un determinado momento  $n+k$ , vendría definido por la media de los valores reales vecinos en el mismo instante  $n+k$ , es decir por la ecuación,

$$\hat{S}_{n+k} = \frac{1}{|U_n|} \sum_{j \in U_n} S_j \quad \text{donde } U_n \text{ es la vecindad, } S_j \text{ son los valores reales de dicha vecindad}$$

y  $S_{j+k}$  son los valores reales del instante  $n+k$ . Así pues, además de los parámetros de reconstrucción del espacio de fase (dimensión de reconstrucción y retardo) para el cálculo de los valores predichos o ajustados sólo es necesario determinar el tamaño de la vecindad, es decir, qué grupo de valores consideraremos como vecinos de un determinado valor (Hegger *et al.*, 1999). Realizada la predicción, se compara con la serie de datos original y se calcula el error cuadrático medio de predicción (*root mean squared prediction error*) para cada valor futuro.

### Análisis de datos

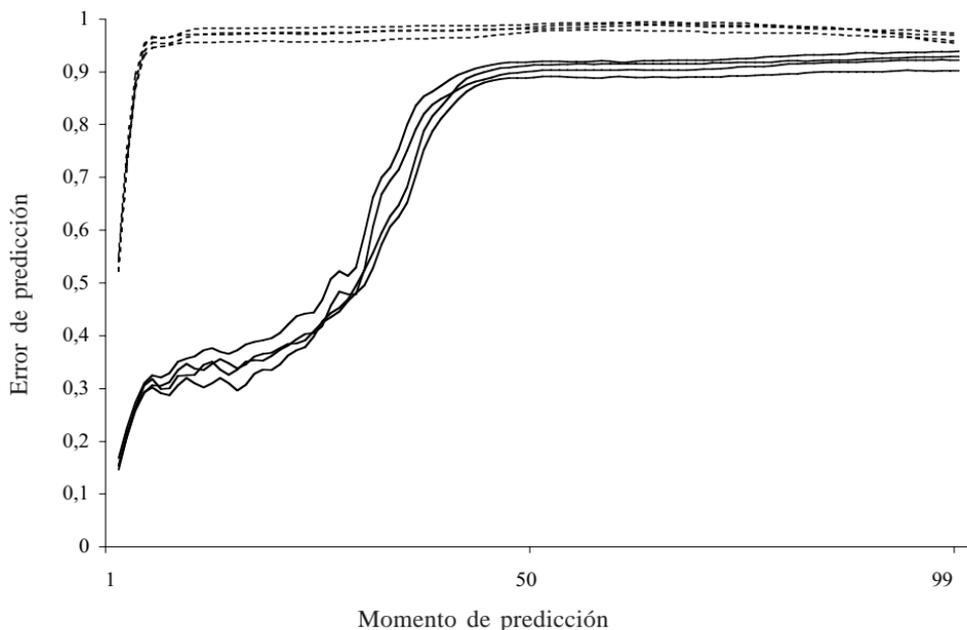
Siguiendo las recomendaciones de Theiler *et al.* (1992), que aconsejan la utilización de estadísticos robustos en lugar de métodos paramétricos, en el diseño del test hemos utilizado una prueba de datos ordenados por magnitud (*rank-order test*). De esta forma, según Schreiber y Schmitz (2000), una vez determinado el nivel de significación asumido (en nuestro caso  $\alpha = 0,05$ ), para una prueba bilateral se deberían generar  $2/\alpha - 1$  series vicarias (en nuestro caso 39), y comprobar que el error de predicción de la serie original es menor que el error de predicción de todas sus series vicarias para poder rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ : error de predicción de la serie original = error de predicción de la serie vicaria), es decir que los datos son producto de un proceso lineal aleatorio.

Tanto la generación de las series vicarias como el cálculo del error de predicción se ha realizado con el paquete de análisis de series temporales TISEAN 2.1 (Hegger *et al.*, 1999), más concretamente con los programas *surrogates* y *predict*, respectivamente.

### Resultados

De las 100 señales ECG obtenidas (5 señales por cada uno de los 20 sujetos) se seleccionaron 85 series libres de artefactos. Cada serie contenía 14000 valores (70 segundos a 200 Hz). No se aplicó ningún tipo de filtro a los datos originales dado que no se recomienda su uso en el estudio de la dinámica de un sistema (Breakspear, 2002; Sprott, 2003). De cada una de estas series se generaron 39 series vicarias (véase apartado de método). En la construcción de series vicarias se debe tomar la precaución de que la serie original comience y acabe con datos que aproximadamente coincidan en valor y fase (Hegger *et al.*, 1999). Los artefactos de periodicidad podrían conducir al rechazo erróneo de la hipótesis nula (Schreiber y Schmitz, 2000). Por ese motivo, antes de generar los datos vicarios se seleccionaron sub-secuencias adecuadas de las series originales con los programas *endtoend* y *choose* del TISEAN. Estos programas permiten seleccionar sub-series adecuadas conservando el máximo número de valores. En nuestro caso, de los 14000 valores que componían las series originales sólo se descartaron una media de 200 valores por serie. Una vez generadas las series vicarias se calculó el error de predicción de cada una de las 3400 series resultantes (85 originales) siguiendo el procedimiento descrito anteriormente y se compararon los errores de predicción de los datos originales con los de sus series vicarias. En todas las ocasiones, tanto en los sujetos fóbicos como en los controles, tanto en la condición de línea base como en las de exposición a estimulación neutra y fóbica, los errores de predicción de las series originales fueron menores que los errores de predicción de sus 39 series vicarias. En otras palabras, con un margen de confianza del 95%, podemos rechazar la hipótesis nula para todos los sujetos y todas las condiciones. La Figura 2 puede ilustrar las diferencias en el error de predicción entre las series originales y sus vicarias. Se calculó dicho error para los 100 primeros momentos de predicción con el programa *zeroth* del TISEAN. Las cuatro líneas continuas de la Figura 2 representan el error de predicción medio de los sujetos fóbicos y controles, en la condición de línea base y durante la exposición a la secuencia S, mientras que las líneas discontinuas representan el error de predicción de sus respectivas vicarias.

**FIGURA 2.** Error medio de predicción para los datos originales (líneas continuas) y sus respectivos vicarios (líneas discontinuas) de las fases S y LB en los 100 primeros momentos de predicción.



Como puede observarse, mientras que las series originales presentan un error de predicción relativamente bajo a corto plazo, las series vicarias presentan un elevado error de predicción desde el primer momento. A medio y sobre todo a largo plazo, las series originales no podrían distinguirse de las vicarias en función del error de predicción. Como ya se ha dicho, la posibilidad de predicción a corto plazo y la imposibilidad a largo plazo es una de las características definitorias del caos determinista.

### Discusión

El objetivo del presente trabajo es tan simple como importante. Simple porque sencillamente se demuestra con cierto margen de confianza que existen estructuras no lineales en las señales ECG estudiadas, pero no se entra en absoluto a analizar esas estructuras. Importante porque es el primer paso necesario para realizar ese análisis, es más, «un test de no linealidad debería realizarse de forma rutinaria cada vez que se planease la utilización de medidas no lineales» (Schreiber y Schmitz, 2000, p.348). Nuestros resultados indican claramente que las señales ECG registradas en sujetos con y sin miedo a volar, tanto en la condición de estimulación fóbica como en la neutra, así como en línea base presentan propiedades no lineales y que por tanto resulta adecuado aplicar índices de este tipo para su análisis. Estos resultados se añaden a los cada

vez más numerosos estudios que coinciden en señalar que el sistema cardiovascular se comporta como un sistema dinámico no lineal (Govindan *et al.*, 1998; Lefebvre *et al.*, 1993; Small *et al.*, 2002). Queremos destacar para acabar, que la salida de un sistema (en nuestro caso la señal ECG) no debe confundirse con el sistema en sí (en nuestro caso el cardiovascular). En otras palabras, aunque una salida del sistema presente no linealidad eso no debe interpretarse como una prueba definitiva de caos determinista en el sistema (Govindan *et al.*, 1998). En el mismo sentido, por muy fundada que sea la suposición de que el sistema que genera la serie de datos se comporte de forma no lineal, esto no significa que la serie de datos a analizar presente características no lineales. Siguiendo la argumentación de Schreiber y Schmitz (2000) con la que iniciábamos este apartado, podríamos decir que de la misma manera que para realizar un análisis de la varianza hay que realizar una prueba de normalidad, para aplicar índices no lineales debería realizarse una prueba de no linealidad.

### Referencias

- Beck, A.T., Rush, A.J., Shaw, B.F. y Emery, G. (1979). *Cognitive therapy for depression*. Nueva York: Guilford Press.
- Bornas, X., Fullana, M.A., Tortella-Feliu, M., Llabrés, J. y García de la Banda, G. (2001a). Computer-assisted therapy in the treatment of flight phobia: A case report. *Cognitive and Behavioural Practice*, 8, 234-240.
- Bornas, X. y Noguera, M. (2002). Bases científicas de la terapia de conducta: nuevas propuestas para un viejo problema. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud/International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2, 9-24.
- Bornas, X., Tortella-Feliu, M., García de la Banda, G., Fullana, M.A. y Llabrés, J. (1999). Validación factorial del cuestionario de miedo a volar (QPV). *Análisis y Modificación de Conducta*, 25, 885-907.
- Bornas, X., Tortella-Feliu, M., Llabrés, J., Barceló, F., Pauli, P. y Mühlberger, A. (2002). Clinical usefulness of a simulated exposure treatment for fear of flying. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud/International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2, 247-262.
- Bornas, X., Tortella-Feliu, M., Llabrés, J. y Fullana, M.A. (2001b). Computer-assisted exposure treatment for flight phobia: A controlled study. *Psychotherapy Research*, 11, 259-273.
- Breakspear, M. (2002). Nonlinear phase desynchronization in human electroencephalographic data. *Human Brain Mapping*, 15, 175-198.
- Breakspear, M. y Terry, J. R. (2002). Detection and description of non-linear interdependence in normal multichannel human EEG data. *Clinical Neurophysiology*, 113, 735-753.
- Burioka, N., Cornélissen, G., Halberg, F. y Kaplan, D. T. (2001). Relationship between correlation dimension and indices of linear analysis in both respiratory movement and electroencephalogram. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1147-1153.
- Craske, M. G. (1999). *Anxiety disorders: Psychological approaches to theory and treatment*. Oxford: Westview Press.
- Deering, W. y West, B. J. (1992). Fractal physiology. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 11, 40-46.
- Foa, E.B. y Kozak, M.J. (1988). Clinical applications of bioinformational theory: Understanding anxiety and its treatment. *Behavior Therapy*, 29, 675-690.

- Friedman, B. H. y Thayer, J. F. (1998). Anxiety and autonomic flexibility: A cardiovascular approach. *Biological Psychology*, *49*, 303-323.
- Goldberger, A. L., Rigney, D. R. y West, B. J. (1990). Chaos and fractals in human physiology. *Scientific American*, *262*, 42-49.
- Govindan, R. B., Narayanan, K. y Gopinathan, M. S. (1998). On the evidence of deterministic chaos in ECG: Surrogate and predictability analysis. *Chaos*, *8*, 495-502.
- Haug, T., Brenne, L., Johnsen, B.H., Berntzen, K.G., Gøtestam, K.G. y Hughdal, K. (1987). A three-system analysis of fear of flying: A comparison of a consonant vs. a nonconsonant treatment method. *Behaviour Research and Therapy*, *25*, 187-194.
- Hegger, R., Kantz, H. y Schreiber, T. (1999). Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *9*, 413-435.
- Johnsen, B. H., Thayer, J. F., Laberg, J. C., Wormnes, B., Raadal, M., Skaret, E., Kvale, G. y Berg, E. (2003). Attentional and physiological characteristics of patients with dental anxiety. *Journal of Anxiety Disorders*, *17*, 75-87.
- Kantz, H. y Schreiber, T. (1997). *Nonlinear time series analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kaplan, D. (2002). *Making and using surrogate data*. Recuperado el 17 de febrero de 2005, de <http://www.maclester.edu/~kaplan/barcelona/surrogatewrap.pdf>.
- Lefebvre, J. H., Goodings, D. A., Kamath, M. V. y Fallen, E. L. (1993). Predictability of normal heart rhythms and deterministic chaos. *Chaos*, *3*, 267-276.
- López, A.M. y Chorro, J.L. (2002). Un esquema general para la identificación de componentes no lineales en el mecanismo generador de una serie de tiempo. *Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Extra*, 364-369.
- Montero, I. y León, O.G. (2005). Sistema de clasificación del método en los informes de investigación en Psicología. *Internacional Journal of Clinical and Health Psychology*, *5*, 115-127.
- Ramos-Álvarez, M.M. y Catena, A. (2004). Normas para la elaboración y revisión de artículos originales experimentales en Ciencias del Comportamiento. *Internacional Journal of Clinical and Health Psychology*, *4*, 173-189.
- Rao, R. K. A. y Yeragani, V. K. (2001). Decreased chaos and increased nonlinearity of heart rate time series in patients with panic disorder. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, *88*, 99-108.
- Rhahakrishna, R. K. A., Dutt, D. N. y Yeragani, V. K. (2000). Nonlinear measures of heart rate time series: Influence of posture and controlled breathing. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, *83*, 148-158.
- Schreiber, T. y Schmitz, A. (1996). Improved surrogate data for nonlinearity tests. *Physical Review Letters*, *77*, 635-640.
- Schreiber, T. y Schmitz, A. (2000). Surrogate time series. *Physica D*, *142*, 346-382.
- Small, M., Judd, K. y Mees, A. (2001). Testing time series for nonlinearity. *Statistics and Computing*, *11*, 257-268.
- Small, M., Yu, D., Simonotto, J., Harrison, R. G., Grubb, N. y Fox, K. A. A. (2002). Uncovering non-linear structure in human ECG recordings. *Chaos, Solitons and Fractals*, *13*, 1755-1762.
- Sprott, J. C. (2003). *Chaos and time-series analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Thayer, J. F., Friedman, B. H. y Borkovec, T. D. (1996). Autonomic characteristics of generalized anxiety disorder and worry. *Society of Biological Psychiatry*, *39*, 255-266.
- Thayer, J. F. y Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, *61*, 201-216.

- Theiler, J., Eubank, S., Longtin, A., Galdrikian, B. y Farmer, J. D. (1992). Testing for nonlinearity in time series: The method of surrogate data. *Physica D*, 58, 77-94.
- Wagner, C. D. y Persson, P. B. (1998). Chaos in the cardiovascular system: An update. *Cardiovascular Research*, 40, 257-264.
- Yeragani, V. K., Meiri, P. C., Pohl, R., Balon, R., Desai, N. y Golec, S. (1990). Heart rate and blood pressure changes during postural change and isometric handgrip exercise in patients with panic disorders and normal controls. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 81, 9-13.
- Yeragani, V. K., Rao, K. A. R. K., Smitha, M. R., Pohl, R. B., Balon, R. y Srinivasan, K. (2002). Diminished chaos of heart rate time series in patients with major depression. *Biological Psychiatry*, 51, 733-744.