

# Aplicación de la envolvente espectral del ronquido a registros de larga duración para la clasificación de roncadores sanos y con Apnea Obstructiva del Sueño

Jordi Solà Soler, Raimon Jané Campos

Dept. ESAII, CREB, Universitat Politècnica de Catalunya (jordi.sola@upc.es, raimon.jane@upc.es)

José A. Fiz Fernández, José Morera Prat

Servei de Pneumologia, Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, Badalona (jafiz@ns.hugtip.scs.es)

## Resumen

*En los últimos años diversos estudios han constatado que existen diferencias espectrales significativas entre los ronquidos de pacientes sanos y los ronquidos post-apneicos de pacientes con Síndrome de Apnea Obstructiva del Sueño (OSAS). Este trabajo parte de la hipótesis de que la presencia de OSAS influye en las características del ronquido de un sujeto, y no sólo cuando éste se produce después de una apnea. En un trabajo previo se propuso un método de estimación de la envolvente espectral del ronquido y se aplicó a segmentos de sonido respiratorio de corta duración extraídos de una base de datos con 16 pacientes. Se constató que los parámetros de la envolvente espectral del ronquido presentan una mayor variabilidad en sujetos con OSAS. En el presente trabajo se analiza la envolvente espectral de los ronquidos producidos durante toda la noche en una base de pacientes ampliada a 9 roncadores sanos y 16 pacientes con OSAS, con un total de 15795 y 21834 ronquidos respectivamente. La variabilidad local de los formantes de la envolvente, calculada como la diferencia de valor entre un ronquido y el siguiente, resulta mayor en sujetos con OSAS ( $p < 0.001$ ). Los parámetros más significativos se han utilizado para clasificar a los sujetos mediante análisis discriminante y regresión logística, obteniéndose un 82.3% de acierto en sujetos con OSAS con una validación dejando uno fuera. Estos resultados, que se han obtenido sin necesidad de extraer los ronquidos post-apneicos, parecen apoyar la hipótesis de partida y pueden constituir el principio de una técnica de screening para descartar la presencia de OSAS antes de realizar un estudio polisomnográfico.*

**Palabras clave:** OSAS, apnea, ronquido, formantes, envolvente espectral, clasificación de pacientes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han demostrado que existe una relación entre el ronquido y el Síndrome de Apnea Obstructiva del Sueño (OSAS). El ronquido está presente en un porcentaje importante de la población general. Se ha podido constatar que los pacientes con OSAS han sido roncadores durante 10 o 20 años antes de evolucionar hacia esta enfermedad. En los últimos años se han hallado diferencias en la morfología de la Densidad Espectral de Potencia (PSD) entre los

ronquidos de pacientes sanos y los ronquidos post-apneicos de pacientes con OSAS [1,2].

En un trabajo previo se propuso un método de estimación de la envolvente espectral del ronquido y se aplicó a segmentos de sonido respiratorio de corta duración extraídos de una base de datos con 8 sujetos sanos y 8 pacientes con OSAS. Se anotaron ronquidos de distintos tipos (inspiratorios, espiratorios, post-apneicos) y se constató que determinados formantes de la envolvente espectral del ronquido presentan una mayor variabilidad en sujetos con OSAS [3].

En este trabajo se ha ampliado la base de datos a un total de 25 pacientes y se analizan los ronquidos producidos durante toda la noche, con un promedio de 1755 ronquidos en sujetos sanos y 1365 en pacientes con OSAS. Se propone cuantificar la variabilidad ronquido a ronquido de los formantes de la envolvente espectral para enfatizar las diferencias entre poblaciones. Los parámetros de los formantes que resultan más significativos se aplican a realizar una clasificación estadística de pacientes mediante análisis discriminante y regresión logística, obteniendo modelos óptimos que se ponen a prueba con una validación dejando uno fuera.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El sonido respiratorio ha sido adquirido durante estudios polisomnográficos con un sensor de contacto piezoeléctrico ubicado en la zona lateral del cartilago cricotiroideo. La señal ha sido amplificada y filtrada en la banda 70-2000Hz para eliminar el ruido de baja frecuencia, y posteriormente digitalizada a una frecuencia de muestreo  $F_s = 5\text{KHz}$  con un conversor A/D de 12 bits. En paralelo se dispone de una señal de flujo respiratorio adquirida con un termistor nasal.

Para este trabajo se ha ampliado la base de datos a un total de 9 roncadores sanos y 16 pacientes con OSAS que cubren un amplio espectro de Índices de Apnea Hipoapnea (AHI), especialmente en los pacientes con OSAS ( $\text{AHI} \geq 10$ ). Para cada paciente se dispone de un registro de 6 horas de sueño, del cual se extraen todos los episodios de ronquido mediante un detector automático que ha sido validado clínicamente en estudios previos [4]. Los episodios anotados por el detector en cada paciente se han examinado posteriormente de forma manual eliminando las falsas detecciones.

La Tabla I recoge las características de los pacientes y el número de ronquidos detectados. En total se han analizado 15795 ronquidos de pacientes sanos ( $AHI < 10$ ) y 21834 ronquidos de pacientes con OSAS ( $AHI \geq 10$ ). Los ronquidos no han sido clasificados por tipo (inspiratorio, espiratorio, post-apneico, etc.) en lo que intenta ser un análisis automático más próximo a una aplicación real.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DE LOS PACIENTES ANALIZADOS  
(BMI: Índice de Masa Corporal, AHI: Índice de Apnea-Hipoapnea)  
RONCADORES SANOS

Paciente	Sexo	Edad	BMI	AHI	Ronquidos
S1	H	55	31,98	2,2	3273
S2	H	50	27,76	3,4	1222
S3	H	53	24,54	4,2	1932
S4	H	48	30,49	6,8	1577
S5	M	33	22,68	8,6	119
S6	H	36	26,79	8,8	3012
S7	H	66	26,03	9	706
S8	H	39	30,85	9,4	928
S9	H	52	23,53	9,7	3026
Media		48	27,2	6,9	1755
Desviación		10	3,3	2,9	1135

PACIENTES CON OSAS					
Paciente	Sexo	Edad	BMI	AHI	Ronquidos
O1	H	53	31,99	10,5	2571
O2	H	35	30,25	10,9	2042
O3	H	51	31,18	11,5	2415
O4	H	52	31,25	12,8	347
O5	H	47	24,16	13,6	1363
O6	H	52	24,46	29,6	666
O7	H	44	27,22	30,9	2593
O8	M	33	34,67	36,7	757
O9	H	53	27,92	39,3	544
O10	H	59	34,08	42,2	1526
O11	H	61	28,73	52,0	1602
O12	H	49	33,46	53,4	421
O13	H	61	29,73	65,8	548
O14	H	37	27,13	73,4	695
O15	H	51	28,33	75,8	524
O16	H	41	41,91	86,3	3220
Media		49	30,4	40,3	1365
Desviación		9	4,4	25,4	943

La envolvente espectral del ronquido se ha obtenido mediante un modelo AutoRegresivo (AR) de bajo orden propuesto en un trabajo previo [3]. Los resultados se han comparado con una estimación mediante un modelo de orden fijo y mediante un periodograma Welch de baja resolución. En todos los casos la envolvente espectral se

parametriza a través de sus máximos locales (formantes). En el trabajo previo se concluyó que los formantes se localizan en cinco bandas frecuenciales:

- B1: [0,300) Hz
- B2: [300,700) Hz
- B3: [700,1400) Hz
- B4: [1400,1900) Hz
- B5: [1900,2500) Hz.

Cada formante se caracteriza por su frecuencia, amplitud y profundidad (Figura I). Para cuantificar la variabilidad de estos parámetros a lo largo de la noche se propone utilizar, además de la desviación estándar clásica, la diferencia de valores ( $d$ ) entre un ronquido y el siguiente (Figura II, inf.). La magnitud promedio de esta diferencia se mide a través de la desviación estándar ( $S$ ) y también mediante el intervalo intercuartílico ( $IQ$ ); este último parámetro no se ve tan afectado por los cambios bruscos que experimentan los formantes (Figura II, sup.). Aquí vemos algunos ejemplos de esta nomenclatura:

- SF<sub>1</sub>: Desviación estándar del parámetro  $F_1$
- SdM<sub>2</sub>: Desviación estándar de la diferencia de  $M_2$
- IQdL<sub>3</sub>: Intervalo intercuartílico de la diferencia de  $L_3$ .

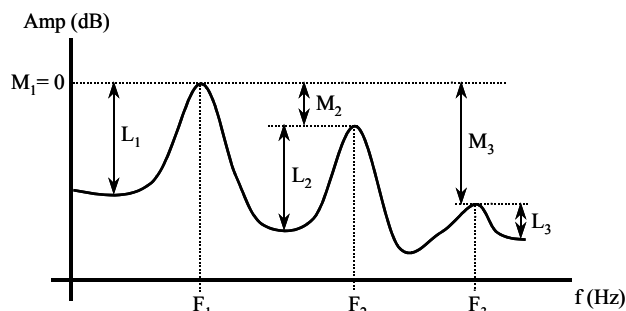


Figura I: Definición de los parámetros característicos de los formantes: frecuencia  $F_j$ , amplitud relativa  $M_j$  y profundidad  $L_j$ .

La clasificación de pacientes se ha realizado a partir de los parámetros promedio anteriores utilizando dos técnicas estadísticas: el análisis discriminante y la regresión logística. Ésta última proporciona un umbral que permite ajustar los resultados de la clasificación consiguiendo una clasificación óptima de pacientes patológicos –óbviamente a cambio de una peor clasificación de sujetos sanos. En ambos casos se ha obtenido un modelo óptimo que ha sido validado con el método de dejar uno fuera, puesto que el número de pacientes de la base de datos resulta insuficiente para dividirlos en una base de datos de ajuste y otra de validación. Esta técnica consiste en generar un modelo con  $N-1$  observaciones (en nuestro caso, parámetros promedio de 24 pacientes) y a continuación validarlo con la observación restante. Este proceso se repite para cada una de las  $N$  observaciones disponibles y se promedian los resultados de clasificación obtenidos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS CUALITATIVO

La envolvente espectral constituye una buena herramienta de monitorización de los cambios que experimenta el ronquido a lo largo de la noche. En la Figura II se muestra la evolución de la frecuencia de los formantes  $F_1$  a  $F_4$  en los ronquidos sucesivos de un sujeto. Los formantes se han situado en un eje de tiempos en el instante de producción de cada ronquido.

Al analizar los registros de larga duración, por un lado se observa que los formantes se ubican en las mismas bandas de frecuencia  $B_1$ – $B_5$  que se habían establecido en los estudios previos con registros de corta duración. Se puede apreciar también que los formantes presentan valores similares tanto en roncodores sanos como en pacientes con OSAS. Dada la estrecha relación de la envolvente espectral con el mecanismo de producción del ronquido, este hecho parece confirmar que el ronquido se produce de una forma similar en todos los sujetos roncodores, con independencia de que padezcan OSAS.

En el trabajo previo se concluyó que la desviación estándar de la frecuencia y amplitud de algunos formantes resultaba significativamente mayor en pacientes con OSAS [3]. Sin embargo, al calcular esta misma desviación estándar con los valores de los ronquidos de toda la noche, estas diferencias ya no son tan acusadas y en general pierden su significación estadística. Esto puede ser debido a la influencia de los cambios bruscos de valor que experimentan los formantes en determinados instantes de la noche, por ejemplo después de un periodo sin roncar (Figura II, sup.).

La desviación estándar es un estadístico que mide la variación global, y en parte por ello tiene esta limitación. Para superarla se propone analizar la variación local de los formantes a través de la diferencia de valores entre un ronquido y el siguiente (Figura II, inf.). De esta forma se obtiene una medida uniforme de la regularidad de los formantes a lo largo de la noche.

La diferencia de los formantes ronquido a ronquido es un serie temporal que oscila alrededor de cero con una determinada amplitud, y que presenta puntos extremos en especial cuando se produce un cambio brusco en el valor medio de los formantes (Figura II, inf). Una forma de disminuir el efecto de estos valores extremos al medir la amplitud de la diferencia, consiste en utilizar el intervalo intercuartílico en lugar de la desviación estándar clásica.

Como veremos a continuación, generalmente esta medida proporciona una mejor discriminación estadística. Por ejemplo, en la parte inferior de la Figura II tal vez no se aprecia a simple vista que las diferencias  $dF_1$  y  $dF_3$  tienen una mayor amplitud en el sujeto con OSAS, pero los intervalos intercuartílicos  $IQdF_1$  y  $IQdF_3$  así lo confirman.

#### 3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

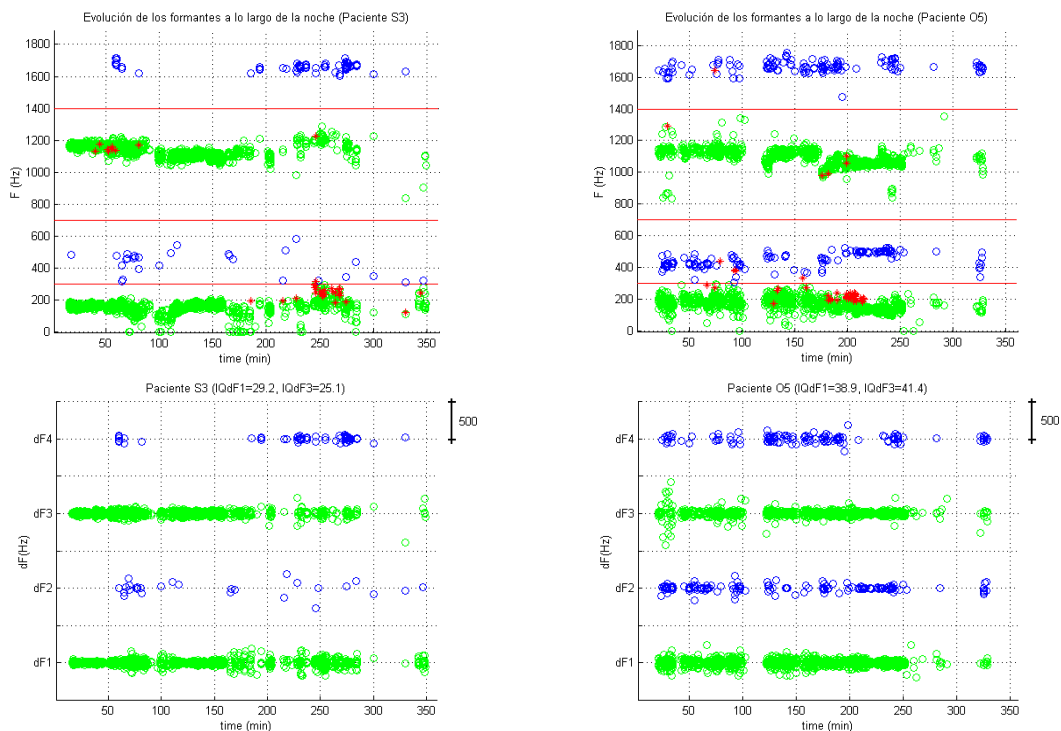
Para cada paciente, se ha calculado el valor medio ( $F_i$ ,  $M_i$ ,  $L_i$ ) la desviación estándar ( $SF_i$ ,  $SM_i$ ,  $SL_i$ ), la desviación estándar de la diferencia ( $SdF_i$ ,  $SdM_i$ ,  $SdL_i$ ) y el intervalo intercuartílico de la diferencia ( $IQdF_i$ ,  $IQdM_i$ ,  $IQdL_i$ ) de los parámetros de los formantes en cada banda  $B_i$ ,  $i=1..5$ , considerando todos los ronquidos del paciente que tienen formantes en esa banda.

A continuación se ha obtenido un promedio de estos valores en cada una de las dos poblaciones: roncodores sanos ( $AHI < 10$ ) y pacientes con OSAS ( $AHI \geq 10$ ), y se ha realizado una prueba de independencia de poblaciones mediante el test U de Mann Whitney para los tres métodos de estimación de la envolvente (modelo AR de orden variable, modelo AR de orden fijo, y periodograma Welch).

La Tabla II muestra únicamente aquellos parámetros que han obtenido una significación estadística  $p < 0.05$  utilizando el modelo AR de orden variable. En general se observa que las diferencias más significativas entre poblaciones se producen al cuantificar la variabilidad de los formantes, no su valor medio (el caso de  $F_1$  es la única excepción).

La variabilidad global de la mayoría de formantes, medida a través de la desviación estándar, no resulta significativa (Tabla II). En cambio la variabilidad local cuantificada por medio de la diferencia ronquido a ronquido sí resulta significativamente mayor en sujetos con OSAS ( $dF_1$ ,  $dF_3$ ,  $dM_3$ ,  $dL_3$ ,  $dF_4$ ). Además, la significación estadística es mayor cuando la amplitud de la diferencia se mide a través del intervalo intercuartílico ( $IQdF_3$ ) y no con la desviación estándar ( $SdF_3$ ).

Por último, se deduce de la Tabla II que al estimar la envolvente mediante un modelo AR de orden fijo o a través de un periodograma Welch, la significación estadística de la mayoría de parámetros obtenida con un modelo AR de orden variable disminuye o incluso desaparece. Este hecho puede ser debido a que un modelo de orden fijo –o de ventana fija en el caso del periodograma– tiene un grado menos de libertad que un modelo de orden variable, y por ello tal vez no es capaz de representar toda la variabilidad que se produce en la envolvente espectral del ronquido.



**Figura II:** Parte superior: Evolución de los formantes de la envolvente espectral en las bandas B<sub>1</sub> a B<sub>4</sub> –la banda B<sub>5</sub> no contenía formantes– a lo largo de la noche en un roncador sano (izquierda) y en un paciente con OSAS (derecha). Parte inferior: Diferencia ronquido a ronquido de la frecuencia de los mismos formantes. El intervalo intercuartílico indica que las diferencias dF<sub>1</sub> y dF<sub>3</sub> tienen una mayor amplitud en el paciente con OSAS.

**TABLA II**  
 PARÁMETROS MÁS SIGNIFICATIVOS EN LOS TRES MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ENVOLVENTE  
 SN: Roncadores sanos; OP: Pacientes con OSAS; p: Significación en el test U de Mann-Whitney

AR ORDEN VARIABLE													
		F <sub>1</sub>	SdF <sub>1</sub>	IQdF <sub>1</sub>	SF <sub>3</sub>	SdF <sub>3</sub>	IQdF <sub>3</sub>	SdM <sub>3</sub>	IqdM <sub>3</sub>	IqdL <sub>3</sub>	SF <sub>4</sub>	SdF <sub>4</sub>	IQdF <sub>4</sub>
SN	m	158,7	32,9	22,8	50,4	47,1	24,8	3,8	3,9	1,8	29,2	32,7	33,9
	s	43,5	9,1	9,2	26,3	38,2	6,8	1,2	1,8	0,6	10,0	6,2	7,8
OP	m	129,4	48,1	40,8	80,5	72,9	55,9	6,0	6,8	2,5	59,9	69,1	70,9
	s	24,5	16,7	19,7	38,3	46,6	27,7	1,9	2,6	0,6	34,8	45,8	76,9
	p	0,019	0,019	0,016	0,035	0,026	0,0003	0,003	0,019	0,026	0,0004	0,001	0,0004

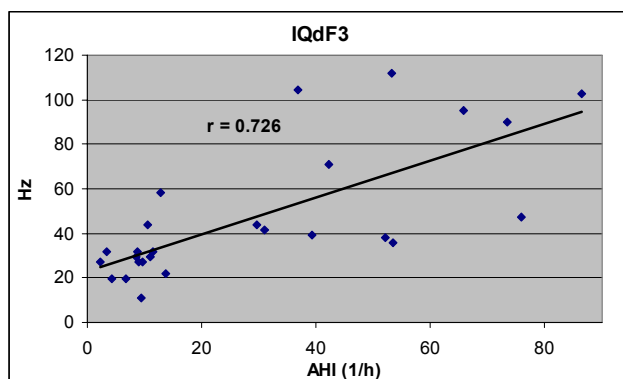
  

AR ORDEN 15													
		F <sub>1</sub>	SdF <sub>1</sub>	IQdF <sub>1</sub>	SF <sub>3</sub>	SdF <sub>3</sub>	IQdF <sub>3</sub>	SdM <sub>3</sub>	IqdM <sub>3</sub>	IqdL <sub>3</sub>	SF <sub>4</sub>	SdF <sub>4</sub>	IQdF <sub>4</sub>
SN	m	157,4	28,7	18,2	36,7	29,7	20,6	2,8	2,8	1,5	23,7	25,8	27,2
	s	42,1	9,4	6,2	21,5	16,9	10,3	1,2	1,2	0,7	9,9	8,8	7,0
OP	m	130,4	41,9	32,3	80,0	73,0	47,4	5,6	6,5	2,2	48,2	46,2	37,0
	s	22,6	14,4	16,1	43,6	56,8	30,1	2,1	2,6	0,7	39,0	30,9	18,4
	p	0,066	0,045	0,009	0,011	0,018	0,009	0,0009	0,0002	0,066	0,009	0,025	0,039

WELCH VENTANA 64													
		F <sub>1</sub>	SdF <sub>1</sub>	IQdF <sub>1</sub>	SF <sub>3</sub>	SdF <sub>3</sub>	IQdF <sub>3</sub>	SdM <sub>3</sub>	IqdM <sub>3</sub>	IqdL <sub>3</sub>	SF <sub>4</sub>	SdF <sub>4</sub>	IQdF <sub>4</sub>
SN	m	146,9	35,6	21,7	57,0	55,6	36,4	3,6	3,3	1,9	27,5	32,9	29,8
	s	53,0	11,8	11,2	26,3	42,5	15,4	2,4	1,4	0,6	14,2	15,0	8,0
OP	m	119,0	43,4	29,7	84,0	80,5	56,8	5,0	5,6	2,2	47,0	50,4	44,4
	s	25,4	17,5	13,9	39,9	53,2	36,6	1,9	2,4	0,7	30,2	29,5	19,9
	p	0,085	0,339	0,075	0,107	0,148	0,181	0,004	0,0005	0,133	0,085	0,045	0,039

El gráfico de dispersión de la Figura III muestra el intervalo intercuartílico de la diferencia ronquido a ronquido del formante F<sub>3</sub> (IQdF<sub>3</sub>) para el conjunto de pacientes de la base de datos. Cada paciente se identifica por medio de su AHI, que mide el grado de severidad del OSAS. Puede observarse que existe una tendencia al aumento de la variación ronquido a ronquido de este formante en función de la severidad de la patología. Este comportamiento es común a los otros parámetros significativos, pero con un coeficiente de correlación menor.



**Figura III:** La diferencia ronquido a ronquido de la frecuencia del formante F<sub>3</sub>, cuantificada a través del intervalo intercuartílico, tiende a aumentar con la severidad del OSAS. Este comportamiento también se observa en otros formantes que resultan significativos para la distinción de poblaciones.

La tendencia observada en la gráfica anterior sugiere que la variación local de los formantes podría resultar útil para estimar la severidad de la patología OSAS. En este trabajo realizamos una primera aproximación, intentando clasificar los pacientes en dos poblaciones, sanos y patológicos, que corresponden respectivamente a los rangos AHI < 10 y AHI ≥ 10. Otra aproximación bastante extendida en la práctica clínica, que será abordada en un trabajo futuro, consiste en dividir a los pacientes en tres rangos de severidad: AHI < 5, 5 ≤ AHI < 15 y AHI ≥ 15.

Para la clasificación de pacientes, como primera opción se propone utilizar un análisis discriminante. Inicialmente se ha llevado a cabo introduciendo todos los parámetros que han resultado significativos en el test U de independencia. Finalmente se ha conseguido obtener el mismo resultado utilizando únicamente los parámetros IQdF<sub>1</sub>, IQdF<sub>3</sub> y IQdF<sub>4</sub>. Los pacientes bien clasificados son un 88.9% de los sujetos sanos y un 76.5% de los pacientes con OSAS (Tabla III). Estos porcentajes de clasificación disminuyen al 77.8% y 70.6%, respectivamente, cuando el modelo se valida con la técnica de dejar uno fuera.

Otro método de clasificación que resulta adecuado en nuestra aplicación es la regresión logística. El modelo ajustado asigna a cada sujeto una probabilidad de pertenencia a uno de los dos grupos. Cada paciente se asigna a uno u

otro grupo mediante un umbral de probabilidad. Con el umbral inicial de 0.5 se obtienen los resultados de clasificación por defecto. Sin embargo, este umbral puede modificarse para conseguir una mejor clasificación del grupo que se desee (Figura IV).

En nuestro caso, se propone aplicar el modelo obtenido a realizar un *screening* de pacientes que evite, en la medida de lo posible, tener que someterlos a la costosa prueba de polisomnografía nocturna. En este sentido se le puede permitir al modelo un cierto grado de pacientes sanos mal clasificados, pero interesa que éste detecte correctamente el máximo número de pacientes con OSAS. Así pues, ajustando la regresión logística con un umbral de 0.25 conseguimos clasificar correctamente el 100% de los sujetos patológicos. Este porcentaje se reduce al 82.3% cuando se valida el modelo con la técnica de dejar uno fuera.

**TABLA III**  
RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN ESTADÍSTICA DE SUJETOS EN RONCADORES SANOS (SN) Y PACIENTES CON OSAS (OP)

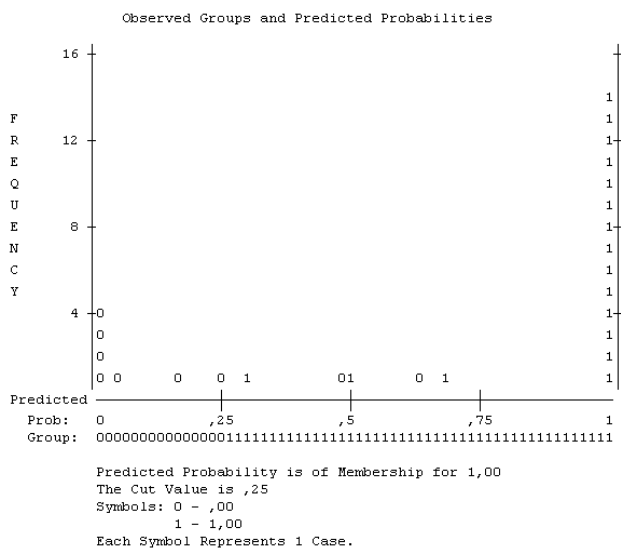
ANÁLISIS DISCRIMINANTE							
MODELO ÓPTIMO			VALIDACIÓN DEJANDO UNO FUERA				
Grupo original		Grupo predicho		Grupo original		Grupo predicho	
		SN	OP			SN	OP
	SN	88.9%	11.1%		SN	77.8%	22.2%
	OP	23.5%	76.5%		OP	29.4%	70.6%

REGRESIÓN LOGÍSTICA							
MODELO ÓPTIMO			VALIDACIÓN DEJANDO UNO FUERA				
Grupo original		Grupo predicho		Grupo original		Grupo predicho	
		SN	OP			SN	OP
	SN	77.8%	22.2%		SN	71,4%	28.6%
	OP	0.00%	100%		OP	17.7%	82,3%

#### 4. CONCLUSIONES

Una de las principales aportaciones de este trabajo es el análisis automático de un número de ronquidos superior a 37000, extraídos de una población de sujetos roncadores que cubre un rango muy amplio de AHI especialmente en los pacientes con OSAS (16 pacientes con un AHI comprendido entre 10.5h<sup>-1</sup> y 86.3h<sup>-1</sup>). Además los resultados *no* se han obtenido extrayendo los ronquidos post-apneicos en los pacientes con OSAS, como se venía realizando en los trabajos publicados hasta el momento [1,2], sino analizando todo el conjunto de ronquidos producidos durante la noche sin distinción de ningún tipo.



**Figura IV:** Probabilidades de pertenencia al grupo 1 (pacientes con OSAS) predichas por el modelo de regresión logística. Con un umbral de 0.25 se consigue que el 100% de los pacientes con OSAS resulten bien clasificados.

El análisis cualitativo de los resultados confirma una primera conclusión obtenida en los estudios previos con registros de corta duración: los formantes de la envolvente espectral aparecen en unas bandas características  $B_1$ – $B_5$  y presentan valores similares en todos los sujetos roncadores, tanto sanos como patológicos. Este hecho sugiere que existe un mecanismo de producción del ronquido por vibración de la vía aérea superior que es común a todos los sujetos roncadores.

Se constata también que la característica clave que permite discriminar a los pacientes sanos de los patológicos, y que muestra una tendencia a aumentar en función de la severidad del OSAS, no es la variabilidad global de los formantes, sino su variabilidad local medida por la diferencia de valores ronquido a ronquido. Este resultado parece indicar que los pacientes con OSAS, a pesar de producir el ronquido de la misma forma que los sujetos sanos, tienen un ronquido más irregular a lo largo del tiempo. Ello sin duda es debido en parte a la presencia de un número mayor de apneas y ronquidos post-apneicos a medida que aumenta la severidad. Pero se sospecha que este fenómeno también se produce en periodos de ronquido normal sin apneas de por medio. Esta es una hipótesis que se debe examinar más a fondo y con la que se está trabajando en estos momentos.

Por último, cabe destacar los resultados de clasificación obtenidos: un modelo de regresión logística que al validarlo clasifica correctamente el 82.3% de pacientes con OSAS, partiendo únicamente de tres parámetros promedio (IQdF<sub>1</sub>, IQdF<sub>3</sub> y IQdF<sub>4</sub>) que miden la variabilidad local de las características del ronquido de un paciente. Este porcentaje no es nada despreciable, y más si tenemos en cuenta la hipótesis de partida, a saber, que la presencia de OSAS influye en las características del ronquido en general, no sólo del que se produce después de una apnea. El modelo de clasificación se ha obtenido con información únicamente del ronquido, sin analizar las apneas como hacen los polisomnógrafos utilizados en la práctica clínica. En una versión más perfeccionada, puede constituir una poderosa herramienta de *screening* que evite a los sujetos sanos tener que someterse a un costoso estudio polisomnográfico.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por la CICYT (ref. TIC2001-2167-C02-01) y el FIS (ref. 98-0864).

## Referencias

- [1] J.R. Pérez-Padilla, E. Slawinski, L.M. Difrancesco, R.R. Feige, J.E. Remmers, W.A. Whitelaw, "Characteristics of the snoring noise in patients with and without sleep apnea." *Am Rev Respir Dis*, 1993, 147, 635-644.
- [2] J.A. Fiz, J. Abad, R. Jané, M. Riera, M.A. Mañanas, P. Caminal, D. Rodenstein, J. Morera, "Acoustic analysis of snoring sound in patients with simple snoring and obstructive sleep apnoea." *Eur Respir J*, 1996, 6, 531-5.
- [3] R. Jané, J. Solà-Soler, J.A. Fiz, J. Morera, "Análisis de la envolvente espectral del ronquido en pacientes con Apnea Obstructiva del Sueño y roncadores sanos". Proceedings de las XXIV Jornadas de Automática de la CEA-IFAC, León, 2003.
- [4] R. Jané, J. Solà-Soler, J.A. Fiz, J. Morera, "Automatic detection of snoring signals: validation with simple snorers and OSAS patients" in *Proc. of the 22th Annual Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Vol.4, pp. 3129-3131, 2000.