

Modelo de regresión de Cox de la pérdida auditiva en trabajadores expuestos a ruido y fluidos de mecanizado o humos metálicos

Cox regression model of hearing loss in workers exposed to noise and metalworking fluids or welding fumes

J.C. Conte¹, A.I. Domínguez¹, A.I. García Felipe¹, E. Rubio¹, A. Pérez Prados²

RESUMEN

Fundamento. Los trabajos sobre pérdida auditiva laboral se han centrado clásicamente en el estudio del ruido como causa principal. En la rama del metal es muy común la presencia de contaminantes físicos y químicos. En este artículo se analizan ambos junto con ciertos hábitos personales, con la finalidad de ver su influencia conjunta en la pérdida auditiva laboral.

Material y métodos. Se analiza una muestra de 558 trabajadores mediante regresión de Cox con una finalidad explicativa. Se define el carácter de las relaciones causa-efecto existentes entre las variables consideradas, con respecto a tres situaciones: sano/alterado; recuperable/no recuperable; sin caídas en conversacionales/ con caídas en conversacionales.

Resultados. El análisis refleja que los fluidos de mecanizado, en presencia de ruido, retrasan la adquisición de los diversos grados de alteración auditiva; efecto contrario al que producen los humos metálicos, que adelantan la adquisición de dichos estadios. El hábito de fumar se reconoce como influyente en la adquisición de un trauma acústico inicial; la exposición a ruido extralaboral influye en la adquisición de un trauma acústico avanzado; y por otro lado, los equipos de protección auditiva son protectores del ruido pero no de la ototoxicidad de los humos metálicos.

Conclusión. Se pone de manifiesto el efecto antagónico de los fluidos de mecanizado y el sinérgico de los humos metálicos frente al ruido, explicando la variación temporal en la evolución de la alteración auditiva, relacionada con estas atmósferas; se comprueba la influencia del tabaco y del ruido extralaboral, en la adquisición del trauma acústico.

Palabras clave. Regresión de Cox. Pérdida auditiva. Ruido. Humos metálicos. Fluidos de mecanizado. Multiexposición laboral.

ABSTRACT

Background. Works on labour-related hearing loss have traditionally been centred on the study of noise as the principal cause. The presence of physical and chemical pollutants is very common in the metalworking branch. This article analyses both, together with certain personal habits, with the aim of determining their joint influence on labour-related hearing loss.

Methods. A sample of 558 workers was analysed using Cox regression with an explicative aim. The character of the cause-effect relations existing between the variables considered is defined with respect to three situations: healthy/altered; recoverable/non-recoverable; with falls in conversational abilities/without falls in conversational abilities.

Results. The analysis reflects the fact that metalworking fluids, in the presence of noise, delay the acquisition of different degrees of auditory alteration; an effect contrary to that produced by welding fumes, which accelerate such states. The habit of smoking is recognised as having an influence on the acquisition of an initial acoustic trauma; exposure to noise outside the workplace influences the acquisition of an advanced acoustic trauma; and, on the other hand, the auditory protective equipment provides protection against noise but not of the ototoxicity of welding fumes.

Conclusion. The antagonistic effect of metalworking fluids and the synergic effect of welding fumes in the face of noise are made evident in relation to these environments, explaining the temporal variation in the evolution of auditory alteration; the influence of tobacco and noise outside the workplace in the acquisition of acoustic trauma are confirmed.

Key words. Cox regression. Hearing loss. Noise. Welding fumes. Metalworking fluids. Occupational multiple exposure.

An. Sist. Sanit. Navar. 2010; 33 (1): 11-20

1. Departamento de Microbiología, Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Zaragoza.
2. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.

Recepción: 20 de octubre de 2009

Aceptación provisional: 20 de noviembre de 2009

Aceptación definitiva: 1 de diciembre de 2009

Correspondencia

Juan Carlos Conte Solano
Departamento de Microbiología, Medicina Preventiva y Salud Pública
Facultad de Medicina. Universidad de Zaragoza
Domingo Miral, s/n
50009 Zaragoza. España
E-mail: jcconte@unizar.es

INTRODUCCIÓN

La hipótesis de la interacción entre diversos contaminantes físicos y químicos y sus efectos en la audición ha sido estudiada por diversos autores, centrándose la mayor parte de los trabajos en la interacción entre el ruido y los disolventes industriales¹⁻⁵. Con carácter minoritario, se han publicado otros estudios basados en la exposición a ruido junto con otros compuestos químicos, como estireno⁶, pesticidas⁷, monóxido de carbono^{8,9}, cianuro de hidrógeno¹⁰, sulfuro de carbono¹¹, metales y sus compuestos^{12,13}.

Prasher y col¹⁴ reconocen que los efectos en la salud provocados por las exposiciones múltiples a agentes físicos y químicos son poco conocidas. Presentan una comisión europea de investigación (NOISECHEM) para evaluar los efectos en la audición de la exposición a ruido y contaminantes químicos, iniciativa que es apoyada con esta línea de investigación.

De acuerdo con Gobba¹², el efecto en la audición de los trabajadores por exposición a compuestos metálicos de origen laboral, ha recibido poca atención en la comunidad médica. Además, el número de compuestos metálicos estudiados es escaso, centrándose las valoraciones en un solo compuesto, sin analizar pues la interacción múltiple. Concluye que el conocimiento actual sobre estos efectos provenientes de la exposición múltiple es muy incompleto.

Domínguez¹⁵ puso de manifiesto la lesividad auditiva de diversas atmósferas del metal, ruido moderado con fluidos de mecanizado y ruido elevado con humos metálicos, utilizando una metodología mixta que establecía las relaciones de afinidad entre las variables y caracterizaba, posteriormente, su dependencia mediante análisis de supervivencia. Las condiciones de exposición que analiza le llevan a reconsiderar el papel que juegan los agentes químicos ambientales en el proceso de alteración auditiva. La idea surgió como respuesta a la necesidad, en el ámbito de la prevención de riesgos laborales, de obtener criterios de decisión dirigidos al control y minimiza-

ción del riesgo higiénico, con el objeto de mejorar los actuales métodos de control.

Partiendo de las líneas de investigación reconocidas para el estudio de la problemática planteada por Gobba¹³, relativa al estudio de los mecanismos patogénicos y valoración de los nuevos umbrales de exposición múltiple, este artículo se centra en el segundo de estos aspectos, teniendo como finalidad la obtención de patrones que permitan contrastar diversas poblaciones de trabajadores en condiciones de exposición múltiple, análogas a las definidas por los patrones indicados.

En este artículo se presenta un estudio dirigido a averiguar, en el sector del metal, la relación ototóxica de dos agentes químicos con respecto al ruido: fluidos de mecanizado de metales y humos metálicos. Se toma como referencia el grado de alteración auditiva y el tiempo de exposición a dichas condiciones de los trabajadores expuestos.

El objetivo de este trabajo es el análisis, dentro del sector del metal, de la influencia sobre la pérdida auditiva laboral de diversos agentes químicos junto con el ruido, para determinar las relaciones entre dichos factores con fines preventivos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se ha efectuado un estudio epidemiológico de tipo descriptivo. Se han utilizado dos tipos de fuentes: una basada en registros relacionados con cada individuo, obtenidos mediante reconocimientos médico laborales con protocolo específico ruido (realizados en diversas fechas del periodo de inclusión), que incluían datos audiométricos, tiempo de exposición a ruido y hábitos personales; la otra, dirigida a comprobar en campo los puestos de trabajo, con el fin de asegurar la tipología y homogeneidad de las condiciones de exposición ambiental mediante observación directa, en los individuos integrantes de las empresas incluidas en la muestra (a lo largo del tiempo de estudio).

La recogida, revisión y depuración de los datos, ha sido realizada por facultativos especialistas en prevención de riesgos laborales, con amplia experiencia profesional cualificada en este ámbito. El estudio se ha complementado con consultas al personal facultativo del Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), que han realizado los reconocimientos médicos.

Se realiza un estudio longitudinal de trabajadores expuestos a ruido y agentes químicos en el que cada individuo está caracterizado por dos puntos espaciados en el tiempo: el de su estado auditivo al comienzo de la exposición a una atmósfera del metal concreta y el de su estado auditivo en el momento de realización de la audiometría.

Obtención de la muestra

La población de estudio son individuos expuestos a ruido laboral del sector del metal aragonés. A partir de la encuesta industrial de empresas (EIE) realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) se calculó la población aragonesa cuya actividad se incluía en la industria del metal, durante el periodo de estudio 1991-2000, obteniendo una población media de 10.802 trabajadores. En estas empresas se habían realizado estudios de Salud Laboral con protocolo específico de ruido. Los datos fueron facilitados por el INSHT (ISSLA). Las empresas seleccionadas eran Pymes.

El tamaño de muestra inicial se consideró que fuera el 10% de los trabajadores, es decir 1.080. Se obtuvo mediante muestreo probabilístico sistemático sobre las empresas del listado anterior, hasta completar el número deseado de trabajadores.

De la inicial selección se eliminaron los individuos no expuestos a ruido laboral (gerencia, administración, comercial, etc.). En segundo lugar, se eliminaron aquellos individuos que presentaban una audiometría alterada por causas ajenas al ruido. También se eliminaron aquellos individuos que de forma previa a $t=0$ habían estado expuestos durante un largo periodo a ruido extralaboral, dato registrado en el PER

(protocolo específico ruido). Finalmente, se eliminaron aquellos sujetos expuestos a disolventes y desengrasantes, productos que no cumplieran las condiciones de inclusión en nuestro estudio, con lo que la muestra final estudiada son 558 trabajadores.

Descripción de las variables

Las variables consideradas inicialmente son siete:

1. Intensidad de la exposición acústica en el puesto de trabajo
2. Presencia de agentes químicos
3. Tiempo total de exposición a ruido del trabajador
4. Estado audiométrico
5. Hábito de fumar
6. Exposición a ruido extralaboral
7. Uso de protección auditiva

Las cuatro primeras se consideran como variables principales. Las tres últimas, consideradas en el estudio como variables secundarias, presentan valores perdidos (Tabla 1).

1. Intensidad acústica de la exposición (I_{exp}), con dos intervalos: intensidad moderada, (I_{min}) cuando esta comprendida entre $85dB(A) \leq I_{exp} < 90dB(A)$; intensidad elevada (I_{max}) si $I_{exp} \geq 90dB(A)$.

2. Presencia de agentes químicos (Q_{exp}). Identifica el químico en el puesto de trabajo. Se han distinguido, en general: fluidos de mecanizado de metales (FM), se asocia a ruido de intensidad moderada y es característico de puestos como torno, taladro, fresa, etc.; humos metálicos (HM), se asocia a ruido de intensidad elevada y es característico de puestos como soldadura, fundición, etc. Si la atmósfera de exposición no tiene químicos, es decir, solo hay ruido, se identifica como SQ (sin químicos), característica de puestos de ajuste, montaje, etc. No obstante, con estas dos variables se creó una nueva variable, atmósfera de exposición (A_{exp}) que codificamos en tres categorías: ruido sin presencia de agentes químicos (SQ), ruido y humos metálicos (HM) y ruido y fluidos mecanizados (FM).

Tabla 1. Variables del estudio.

Variables	n	%
Atmósferas exposición (Aexp)	558	
Ruido general (sin químicos), SQ	115	20,6
Ruido + Fluidos mecanizado, FM	146	26,2
Ruido + Humos metálicos, HM	297	53,2
Tiempo de exposición (Texp)	558	
0-5	57	10,2
5-10	41	7,3
10-15	36	6,5
15-20	42	7,5
20-25	85	15,2
25-30	116	20,8
30-35	106	19,0
35-40	50	9,0
40-45	22	3,9
45-50	3	0,5
Audiometría (Galt)	558	
S	158	28,3
TAI	196	35,1
TAA	105	18,8
HLEV	70	12,5
HAV	29	5,2
Hábito de fumar (FU)	558	
No	147	26,3
Sí	130	23,3
Valores perdidos	281	50,4
Ruido extralaboral (REX)	558	
No	192	34,4
Sí	35	6,3
Valores perdidos	331	59,3
Protección auditiva (EPI)	558	
No	103	18,5
Sí	95	17,0
Valores perdidos	360	64,5

3. Tiempo de exposición a ruido (T_{exp}), registro del tiempo total que cada trabajador llevaba expuesto a ruido laboral hasta la fecha de control audiométrico.

4. Grado de alteración audiométrica (G_{alt}). Presenta cinco categorías ordenadas basadas en la clasificación de Klockhoff y col¹⁶: sano (S); trauma acústico inicial (TAI); trauma acústico avanzado (TAA); hipoacusia leve (HLEV) e hipoacusia avanzada (HAV).

Finalmente, consideramos como variables binarias:

5. Hábito de fumar (FU)

6. Exposición a ruido extralaboral (REX)

7. Uso de protección auditiva (EPI)

El grado de alteración audiométrica (G_{alt}) si bien presenta las cinco categorías señaladas, se ha recodificado como binaria para definir los 3 eventos analizados (Tabla 2).

Tabla 2. Definición de eventos analizados.

Eventos	Modalidades	¿Suceso de Cox?
Evento 1 Sano (código 0) Alterado (código 1)	(S) (TAI+TAA+HLEV+HAV)	Sí Efecto temporal (TAI) tratado como «permanente»
Evento 2 Recuperable (código 0) No recuperable (código 1)	(S+TAI) (TAA+HLEV+HAV)	Sí Efecto permanente
Evento 3 Sin pérdidas en conversacionales (código 0) Con pérdidas en conversacionales (código 1)	(S+TAI+TAA) (HLEV+HAV)	Sí Efecto permanente

MÉTODOS

Para realizar el análisis explicativo de las relaciones existentes entre los factores de riesgo considerados se ha utilizado un análisis multivariante de regresión de Cox. Este análisis se presentó también como confirmatorio de un modelo factorial de correspondencias anterior obtenido con los mismos datos y que alcanzaba la misma solución.

En la variable grado de alteración se comprueba que los niveles se ajustan a las condiciones de un evento de Cox, evento no repetible. El análisis se ha realizado sobre cada uno de los eventos indicados (Tabla 2).

Como la alteración auditiva por ruido sigue una evolución continua, que la clasificación de Klockhoff y col¹⁶ discretiza, acertar en la audiometría el momento concreto

de paso de un grado de alteración a otro, interpretando la manifestación dichos grados como eventos concretos, es casi una cuestión de azar, lo que condiciona que la manifestación de una determinada alteración acepte bastante mejor en su definición un intervalo temporal, que la expresión «momento en que se produce el evento», ya que ésta expresa un marcado carácter puntual ajeno a esta fenomenología. Lo normal es reconocer situaciones por encima o por debajo del «evento teórico», aunque éstas sean próximas. Esta característica suaviza la limitación impuesta por el momento en que se manifiesta el evento y reduce el sesgo asociado a la censura a efectos explicativos. En este sentido, no es tan importante cuando se produce el evento siempre que se encuentre dentro del intervalo de su manifestación, cualquier punto del intervalo es válido como diagnóstico.

Por otro lado, al utilizar un grupo de individuos para aproximar un mismo grado de alteración o evento, con tiempos de exposición distintos, se plantea la proximidad del promedio temporal del conjunto hacia un valor central, lo que apoya la idoneidad de los resultados alcanzados según el modelo utilizado, entendiendo que los *hazard ratios* se refieren a dichos valores centrales. En este sentido, los resultados son idóneos con respecto a la finalidad explicativa y a la referencia indicada, sin que esta suponga un sesgo.

También se utilizó inicialmente para realizar este análisis un modelo de regresión logística, pero al introducir el tiempo de exposición como variable de ajuste, el resto de variables consideradas no presentaban en general significación, lo que planteaba la idoneidad del modelo de Cox. Como la variable ordinal inicial se transformó en nominal binaria (Tabla 1), se utilizó un modelo de regresión logística de respuesta binaria para estudiar cada evento así definido (orientación más práctica), no el modelo ordinal.

El uso de modelos de supervivencia paramétricos permitiría modelizar la situación: tiempo hasta el evento menor o igual al tiempo hasta el momento de la audiometría (modeliza censuras a la izquierda), que se ajusta a las necesidades del estudio. Según este planteamiento el diseño epidemiológico del estudio será transversal, considerando la primera audiometría de cada individuo en la misma isócrona. Esta interpretación permitirá una orientación predictiva complementaria a la explicativa y será objeto de un estudio posterior.

Para verificar la viabilidad del análisis de Cox se comprobó la ausencia de multicolinealidad entre las variables del estudio en base a las correlaciones existentes entre las mismas. Para comprobar la condición de linealidad de la variable cuantitativa tiempo de exposición a ruido, se ha utilizado un método gráfico basado en la proyección del tiempo de exposición de cada individuo con respecto a su residuo parcial; para comprobar la proporcionalidad de los riesgos se ha utilizado un método gráfico

basado en la proyección de la función de supervivencia; para comprobar la existencia de observaciones influyentes se han utilizado los valores delta-beta; para identificar las posibles relaciones de confusión e interacción entre variables se ha utilizado el método del cambio de los coeficientes del modelo; para comprobar la estabilidad de cada modelo se ha utilizado la correlación entre sus coeficientes beta.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La población de estudio son individuos expuestos a ruido laboral del sector del metal aragonés. No se podía muestrear directamente sobre esta población. Por eso se tuvo que muestrear en los archivos-INSHT que contenían gran parte de las empresas. Esto puede suponer una limitación. Además, los expedientes de los archivos se referían a empresas y la forma de muestreo más idónea era sobre un listado de las mismas, que resume los expedientes contenidos en los archivos. Se tomó el primer control médico que se realizó a cada empresa, ya que la mayoría sólo presentaban un reconocimiento durante el periodo de estudio. En las empresas se controlaban a todos sus trabajadores y todos presentaban audiometría.

La muestra inicial con 1.080 trabajadores había que depurarla (criterios de inclusión), puesto que dentro del mismo sector de actividad se presentaban condiciones de trabajo muy diferentes (administrativos, operarios, etc.). Tras el proceso de depuración se alcanzó un valor final de 558 trabajadores. Se volvió a comprobar la representatividad estadística de esta última, obtención del tamaño muestral para la estimación de una proporción de una población finita en condiciones de máxima varianza, con respecto al valor poblacional medio.

En el diseño del estudio que se presenta se interpreta conceptualmente como longitudinal en el sentido de Rothman¹⁷, existencia de un intervalo de tiempo entre la exposición y el comienzo de la enfermedad, con dos puntos de observación en $t=0$ y en $t=n$.

Se obtuvieron así dos observaciones, una real para cada individuo (audiometría) en $t=n$, y otra estimada en $t=0$ (a partir de los datos de $t=n$). Esta última se establece en base a un conjunto de pruebas y resultados, reconocimiento médico laboral (RML), protocolo específico ruido (PER), registro ambiental de la exposición (RAE), a partir de los cuales se puede aproximar, apoyado por los resultados de alteraciones que presentan los individuos de la muestra no expuestos (situación equivalente a $t=0$), un estado auditivo al comienzo de la exposición para cada individuo.

La definición de $t=0$ puede plantear un pequeño sesgo, por la presencia de individuos que hayan estado sometidos a ruido extralaboral de forma previa y prolongada durante el periodo de no exposición, al practicar en su tiempo de recreo una actividad ruidosa y no lo hayan indicado en el protocolo específico ruido. En cualquier caso, este grupo es minoritario (<5%, dato obtenido a partir de los individuos «no expuestos» de la muestra, que presentaban esta característica).

El modelo de regresión de Cox utilizado para el análisis puede resultar impreciso a efectos predictivos (fuera del objeto de este artículo), ya que queda mejor acotada la variabilidad temporal con censuras a la izquierda.

RESULTADOS

Se presentan los modelos univariantes y aquellos bivariantes que han presentado significación. Los modelos trivariantes no son en general significativos y no se consideran en este estudio (Tabla 3).

Se describen seguidamente las relaciones existentes para cada evento (Tabla 3). Las asociaciones bivariantes y trivariantes no significativas no figuran en esta tabla.

Evento 1: relación sano/alterado

El análisis univariante de las variables FM, HM, FU, REX, EPI, es significativo para

cada una de ellas consideradas de forma independiente. En el caso bivalente se han considerado los modelos: FM-FU; HM-FU; HM-REX.

Evento 2: recuperable/no recuperable

Para el caso univariante los modelos de regresión son significativos con excepción de variable FU. En cuanto al comportamiento de las variables en los modelos bivariantes son significativos FM con REX; FM con EPI y los que más HM con REX.

Evento 3: sin caídas/con caídas, en frecuencias conversacionales

En el caso de los modelos univariantes, las variables FU y REX dejan de ser significativas, lo que indica que, en este evento, han dejado de tener influencia. El resto de variables siguen siendo significativas. En los modelos bivariantes solo hay significación para el caso de la asociación de los fluidos de mecanizado con EPI.

DISCUSIÓN

La metodología cualitativa presentada para el estudio de la influencia conjunta del ruido y contaminantes químicos en la pérdida auditiva es diferente a la utilizada en estudios clásicos sobre este mismo tema. Estos realizan un análisis cuantitativo de las caídas de umbral auditivo, aspecto que se ha sustituido por una clasificación del audiograma según un código diagnóstico. También se ha utilizado el tiempo de la exposición a ruido de cada individuo en vez de su edad, aspecto que mejora el comportamiento lineal de la variable temporal. Finalmente se ha caracterizado cada contaminante químico mediante una variable binaria, evitando de esta manera utilizar un valor de medición ambiental, lo que facilita una identificación más general y menos restrictiva que las mediciones ambientales cuantitativas.

Tabla 3. Modelo de regresión de Cox.

Evento 1					
Modelo	V _i	Hazard β_i	Densidad e^{β_i}	IC 95%	Wald $\chi^2_{g.l.}$
FM	FM	-0,524	0,591	0,467-0,748	0,000
HM	HM	0,389	1,475	1,208-1,801	0,001
FU	FU	0,492	1,637	1,203-2,227	0,001
REX	REX	0,826	2,285	1,540-3,391	0,000
EPI	EPI	-0,338	0,712	0,521-0,974	0,033
FM/FU	FM	-0,492	0,611	0,429-0,869	0,006
	FU	0,473	1,605	1,179-2,185	0,002
HM/FU	HM	0,322	1,380	1,020-1,866	0,036
	FU	0,477	1,612	1,184-2,194	0,002
HM/REX	HM	0,346	1,414	1,045-1,912	0,024
	REX	0,781	2,183	1,470-3,243	0,000
Evento 2					
FM	FM	-0,926	0,395	0,274-0,570	0,000
HM	HM	0,816	2,262	1,686-3,034	0,000
FU	FU	0,391	1,479	0,974-2,245	0,065
REX	REX	0,812	2,252	1,207-4,201	0,010
EPI	EPI	-0,647	0,523	0,323-0,847	0,008
FM/REX	FM	-0,867	0,420	0,232-0,762	0,004
	REX	0,665	1,945	1,040-3,636	0,037
FM/EPI	FM	-0,864	0,422	0,219-0,811	0,010
	EPI	-0,526	0,591	0,362-0,963	0,035
HM/REX	HM	1,062	2,893	1,746-4,795	0,000
	REX	0,652	1,919	1,030-3,576	0,040
Evento 3					
FM	FM	-1,368	0,254	0,139-0,466	0,000
HM	HM	1,159	3,186	2,031-4,998	0,000
FU	FU	-0,263	0,768	0,347-1,702	0,516
REX	REX	0,789	2,203	0,915-5,298	0,078
EPI	EPI	-1,058	0,347	0,172-0,701	0,003
FM/EPI	FM	-1,507	0,222	0,067-0,731	0,013
	EPI	-0,881	0,414	0,204-0,843	0,015

Este estudio manifiesta la influencia del ruido en la alteración de la audición, bien de forma temporal (TAI) o permanente (TAA, HLEV, HAV). Esta situación es coincidente con los estudios sobre la influencia de este agente físico en la audición.

Por otro lado, los agentes químicos considerados interactuantes con el ruido (FM y HM), han sido tratados por diversos autores como tóxicos pulmonares^{18,19} basándose en su mecanismo principal de incorporación al individuo: la inhalación. No es menos cierto que a la influencia de los mismos en la pérdida auditiva, efecto toxicológico que podría entenderse como indirecto, no se le ha prestado la debida atención.

Se comprueba, en este estudio, la existencia de interacción entre factores de tipo físico y químico del sector del metal que influyen en la alteración de la función auditiva, que pueden caracterizarse mediante tres atmósferas de exposición tipo, HM con ruido, FM con ruido y solo ruido.

La primera atmósfera, I_{\min} +FM (ruido + fluidos) es característica de puestos de trabajo con torno, taladro, fresa, sierra de metales, etc. La segunda, $I_{\min/\max}$ (solo ruido), propia de acciones de montaje, ajuste, prensa, guillotina, etc. La tercera, (I_{\min} ó I_{\max})+HM (ruido + humos), propia de procesos de soldadura de baja o alta temperatura.

La interacción de los contaminantes con el individuo condiciona que los efectos auditivos producidos por el factor de riesgo principal (ruido) se desarrollen más rápidamente o más lentamente en el trabajador. Así, se llega a identificar que los fluidos de mecanizado de metales ralentizan el tiempo de adquisición y agravamiento de los diversos estadios de alteración auditiva y, por el contrario, los humos metálicos aceleran la adquisición de los mismos.

Se comprueba la fuerte influencia de humos metálicos en la alteración auditiva, tanto en condiciones de intensidad acústica moderada como elevada.

Uno de los principales problemas detectados con respecto a los humos metálicos en presencia de ruido es que, por lo general, la protección utilizada es efectiva para amortiguar la intensidad acústica pero no lo es para rebajar los efectos del contaminante químico indicado. La utilización en este caso de mascarillas de celulosa o compuestos análogos tiene poco efecto, ya que su capacidad filtrante de partículas (carbonilla) no lo es de las moléculas gaseosas tales como el monóxido de carbono, altamente ototóxico^{8,9}.

Para los hábitos personales se conoce la tendencia creciente del uso de EPI conforme aumenta la lesividad de la atmósfera. La interpretación de este hecho se relaciona con el incremento de la disposición personal al uso de equipos de protección cuando el individuo siente cierto malestar que, intuitivamente, puede asociar con la atmósfera de trabajo. Se verifica, que este incremento de protección no tiene capacidad aparente de mejorar suficientemente las condiciones de salud auditiva, lo que apoya el efecto negativo de los humos metálicos sobre los trabajadores.

Para el caso de REX y FU no se advierten tendencias definidas en el comportamiento de los individuos del estudio según las atmósferas de trabajo, presentando unos valores medios de exposición a REX del 16% y de hábito de fumar del 50%.

Los resultados del análisis de regresión ponen de manifiesto que las atmósferas individuales (FH o HM) son las que mejor y con mayor precisión definen cada modelo en función del evento.

Aún con pérdida de precisión, los modelos bivariantes son los que pueden tener mayor interés aplicado. Para el evento 1, la variable FU se presenta como la más influyente y mejor representada en los modelos. Para este evento también REX presenta un modelo aceptable junto a HM. Para el evento 2 los modelos idóneos son FM con REX y con EPI, así como HM con REX. Hay un descenso de precisión con respecto al evento anterior. Para el evento 3 sólo se presenta el modelo FM-EPI como idóneo,

perdiendo la significación los otros dos hábitos considerados.

Esta situación indica la influencia obtenida para cada variable hábito: FU influyente hasta TAI; REX influye en la adquisición de un TAA; EPI influye como protector en todos estadios, si bien presenta el problema de ineficacia frente a los humos si no se combina con una protección respiratoria.

La influencia del tabaco en la alteración auditiva inicial que se reconoce en este estudio, coincide con los resultados alcanzados por otros autores²⁰⁻²³, si bien indican la necesidad de realizar más investigaciones con el fin de valorar adecuadamente dicha influencia. De igual manera, se reconoce la influencia del ruido extralaboral, que puede llegar a alcanzar estadios de alteración auditiva caracterizados por caídas de umbral permanentes²⁴.

La solución alcanzada se presenta como una herramienta de interés en prevención del riesgo laboral²⁵.

En conclusión, se pone de manifiesto el efecto antagónico de los fluidos de mecanizado y el sinérgico de los humos metálicos frente al ruido, explicando la variación temporal en la evolución de la alteración auditiva, relacionada con estas atmósferas; se comprueba la influencia del tabaco y del ruido extralaboral, en la adquisición del trauma acústico.

BIBLIOGRAFÍA

1. HOET P, LISON D. Ototoxicity of toluene and styrene: state of current knowledge. *Crit Rev Toxicol* 2008; 38: 127-170.
2. RABINOWITZ PM, GALUSHA D, SLADE MD, DIXON-ERNST C, O'NEILL A, FIELLIN M et al. Organic solvent exposure and hearing loss in a cohort of aluminium workers. *Occup Environ Med* 2008; 65: 230-235.
3. CHANG SJ, CHEN CJ, LIEN CH, SUNG FC. Hearing loss in workers exposed to toluene and noise. *Environ Health Perspect* 2006; 114: 1283-1286.
4. DE BARBA MC, JURKIEWICZ AL, ZEIGELBOIM BS, DE OLIVEIRA LA, BELLE AP. Audiometric findings in petrochemical workers exposed to noise and chemical agents. *Noise Health* 2005; 7: 7-11.
5. SLIWINSKA-KOWALSKA M, ZAMYSLOWSKA-SZMYTKE E, SZYMCAK W, KOTYLO P, FISZER M, DUDAREWICZ A. Hearing loss among workers exposed to moderate concentrations of solvents. *Scand J Work Environ Health* 2001; 27: 335-342.
6. JOHNSON AC. Relationship between styrene exposure and hearing loss: review of human studies. *Int J Occup Med Environ Health* 2007; 20: 315-325.
7. PERRY MJ, MAY JJ. Noise and chemical induced hearing loss: special considerations for farm youth. *J Agromedicine* 2005; 10: 49-55.
8. GWIN KK, WALLINGFORD KM, MORATA TC, VAN CAMPEN LE, DALLAIRE J, ÁLVAREZ FJ. Ototoxic occupational exposures for a stock car racing team: II. chemical surveys. *J Occup Environ Hyg* 2005; 2: 406-413.
9. MORLEY JC, SEITZ T, TUBBS R. Carbon monoxide and noise exposure at a monster truck and motocross show. *Appl Occup Environ Hyg* 2000; 14: 645-655.
10. FECHTER LD. Promotion of noise-induced hearing loss by chemicals contaminants. *J Toxicol Environ Health* 2004; 67: 727-740.
11. CHANG SJ, SHIH TS, CHOU TC, CHENG CJ, CHANG HY, SUNG FC. Hearing loss in workers exposed to carbon disulfide and noise. *Environ Health Perspect* 2003; 111: 1620-1624.
12. GOBBA F. Sensory perception: an overlooked target of occupational exposure to metals. *Bioinorg Chem Appl* 2003; 1: 119-214.
13. GOBBA F. Occupational exposure to chemicals and sensory organs: a neglected research field. *Neurotoxicology* 2003; 24: 675-691.
14. PRASHER D, MORATA T, CAMPO P, FECHTER L, JOHNSON AC, LUND SP. NoiseChem: an european commission research project on the effects exposure to noise and industrial chemicals on hearing and balance. *Int J Occup Med Environ Health* 2002; 15: 5-11.
15. DOMÍNGUEZ AI. Estudio evolutivo de la afección auditiva en atmósferas laborales (Tesis doctoral). Zaragoza: Univ de Zaragoza, 2005.
16. KLOCKHOFF I, DRETTNER B, HAGELIN KW, LINDHOLM L. A method for computerized classification of pure tone screening audiometry results in noise exposed groups. *Acta Oto-laryngol* 1973; 75: 339-340.

17. ROTHMAN KJ. *Modern epidemiology*. Boston: Little-Brown 1986.
18. GODDERIS L, DESCHUYFFELEER T, ROELANDT H. Exposure to metalworking fluids and respiratory and dermatological complains in a secondary aluminium plant. *Int Arch Occup Environ Health* 2008; 81: 845-853.
19. SCHALLER KH, CSANADY G, FILSER J, JÜNGERT B, DREXLER B. Elimination kinetics of metals after an accident exposure to welding fumes. *Int Arch Occup Environ Health* 2007; 80: 635-641.
20. CARLSSON PI, FRANSEN E, STENBERG E, BONDESON ML. The influence of genetic factors, smoking and cardiovascular diseases on human noise susceptibility. *Audiol Med* 2007; 5: 82-91.
21. POURYAGHOUB G, MEHRDAD R, MOHAMMADI S. Interaction of smoking and occupational noise exposure on hearing loss: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 2007; 7: 137.
22. FERRITE S, SANTANA V. Joint effects of smoking, noise exposure and age on hearing loss. *Occup Med* 2005; 55: 48-53.
23. MIZOUE T, MIYAMOTO T, SHIMIZU T. Combined effect of smoking an occupational exposure to noise on hearing loss in steel factory workers. *Occup Environ Med* 2003; 60: 56-59.
24. NONDAHL DM, CRUICKSHANKS HJ, WILEY TL, KLEIN R, TWEED TS. Recreational firearm use and hearing loss. *Arch Fam Med* 2000; 9: 352-357.
25. GARCÍA AI, CONTE JC, RUBIO E, PÉREZ A. Accidente laboral. ACSOM una nueva orientación para la gestión automática del riesgo. *An Sist Sanit Navar* 2009; 32: 23-34.

