

# Estudio de las consecuencias que el nivel sonoro, soportado en el interior de un vehículo, produce en fatiga y tiempo de reacción del conductor (\*)

## SUMARIO

*El objetivo de este estudio fue aportar datos sobre la influencia que ejerce el ruido que genera el propio coche sobre el conductor, es decir, el ruido procedente del motor, el que proviene del rozamiento del automóvil con la calzada, el que genera en su avance al desplazar el aire que lo rodea, etc. Por todo ello se simuló en el laboratorio la tarea de conducción, con el fin de estudiar los efectos que las distintas intensidades y tipos de ruido tienen en los errores y tiempos de reacción de los conductores; al tiempo que se hacían mediciones sobre el nivel real de ruido que existe en el interior de diferentes tipos de automóviles en funcionamiento.*

M. T. BAJO MOLINA  
*Doctora en Psicología Experimental  
(Universidad de Granada)*

J. J. CANAS DELGADO  
*Doctor en Psicología Experimental  
(Universidad de Granada)*

F. PADILLA ADAMUZ  
M. C. PUERTA MELGUIZO  
*Licenciadas en Psicología  
(Universidad de Granada)*

**Palabras clave:** Tráfico, ruido, fatiga, comportamiento del conductor.

(\*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 1994 a raíz de la beca concedida en su Convocatoria 1993-1994.

**E**l efecto que el ruido tiene sobre el ser humano ha sido estudiado ampliamente en los últimos cincuenta años. Se ha estudiado tanto en el laboratorio como fuera de él, así como en lugares de trabajo y en zonas residenciales (Moreira y Bryan, 1972; Standing y Stace, 1980; Amando, 1988; Broadbent, 1977 y 1978; Glass y Singer, 1972; Kryter, 1970). En concreto, los ruidos ambientales más estudiados son el ruido producido por los aviones, el tráfico y el industrial. Este último ha sido estudiado, sobre todo, en relación con la accidentabilidad en el trabajo (Kryter, 1970).

El ruido del tráfico es el que afecta a mayor número de personas. En Europa, más de 130 millones de personas están expuestas a niveles de ruido de tráfico por encima de los 75 dB. Son 300 millones más los que viven en zonas que superan este nivel. En concreto, y en lo que se refiere a España, hemos de decir que es el segundo país del mundo con mayor nivel de ruido, superado tan sólo por Japón (Amando, 1988).

A pesar de estas estadísticas, el ruido de tráfico es, entre los citados, el que menos ha sido estudiado, principalmente por falta de financiación. Afortunadamente, en las dos últimas décadas se han realizado algunos estudios que empiezan ya a aclarar los efectos específicos que el ruido de tráfico ejerce sobre el individuo. Entre los estudios realizados hasta el momento con el ruido producido por el tráfico podemos diferenciar dos tipos: primero, los que se han interesado por la molestia que supone este ruido para los que residen en lugares altamente ruidosos (Gloag, 1980), y segundo, los que se limitan a establecer qué zonas de las ciudades son las más ruidosas. En España, las dos primeras ciudades que realizaron cartografías sobre el ruido fueron Valencia (Amando, 1988) y Granada (Vera y cols., 1990). Como resultado de este segundo tipo de estudio, sabemos que las intensidades más altas se registran en las proximidades de los cruces con calles importantes, ya que en estos enclaves es donde el embotellamiento del tráfico se acentúa. También sabemos que las variables que más correlacionan con el nivel de ruido que se alcanza en un punto determinado son:

- a) La naturaleza y estado del firme.
- b) La existencia o no de edificios a ambos lados de la vía, dados los fenómenos de reflexión de las ondas sonoras, que acontecen en el caso

*El efecto más importante del ruido es el de producir sesgos atencionales en aquellos que lo escuchan. Estos sesgos llevan, fundamentalmente, a localizar la atención en una sola de las fuentes de información disponibles, al tiempo que favorecen comportamientos arriesgados.*

de que la vía esté flanqueada a uno y otro lado por edificios.

- c) El tipo de vehículos.
- d) La velocidad a la que circulen.
- e) La aceleración.
- f) La utilización o no de señales acústicas (Vera, 1991).

Hay una segunda línea de estudios interesante para nuestros objetivos y que se realizaron dentro del laboratorio (Hockey, 1970 a, 1970 b; Santesteban y Santalla, 1990; Hamilton y cols., 1972). Dichos estudios se han interesado por el efecto que ruidos de muy diversos tipos tienen sobre multitud de tareas. Algunas de estas tareas son similares a las que tiene que realizar un conductor cuando se haya frente al volante de su automóvil. Por esta similitud es por lo que los estudios englobados en este segundo grupo son relevantes para nuestra investigación. El estudio de Hockey (1970 a) es, en concreto, el relacionado más directamente. Sin embargo, sus resultados no pueden ser aplicados sin más al contexto de la conducción, pues no utilizó ruido de tráfico ni de coche en sus estudios.

Realmente han sido pocos los grupos de investigación que han podido conjugar ambos tipos de estudios en los que podría considerarse una tercera línea de investigación. Nos referimos a aquella que se interesa por saber cómo el ruido procedente del coche afecta al usuario del mismo. Actualmente diversos organismos y empresas han empezado a mostrar

un gran interés en torno a estas posibles repercusiones prácticas del ruido. El trabajo realizado por nuestro grupo de investigación es, en este sentido, pionero, junto con el de Finkelman y cols. (1977).

En primer lugar, nuestro estudio pretende arrojar luz sobre el efecto que el ruido que genera el propio coche tiene sobre el conductor del mismo. Nos estamos refiriendo al ruido procedente del motor, al que proviene del rozamiento del automóvil con la calzada, al ruido que genera el coche en su avance al desplazar el aire que lo rodea... Estos ruidos se superponen y forman el ruido que está presente con mayor o menor intensidad en todos nuestros automóviles. Junto con la intensidad, otros parámetros son también de interés, como la frecuencia de las ondas y el nivel de cambio de ruido (Kjellberg, 1990; Loeb, 1986). Es de gran importancia también el tiempo durante el cual el sujeto está expuesto a la fuente sonora, encontrándose mayores perjuicios con exposiciones más largas (Kjellberg, 1990). En conexión con la duración, es de interés la diferenciación entre ruidos continuos e intermitentes, puesto que en exposiciones largas los continuos permiten la habituación del sujeto, efecto que, sin embargo, no llega a producirse con los ruidos de carácter intermitente (Loeb, 1986).

Pero, a pesar de la contribución que todas estas variables hacen a la comprensión del ruido, es la intensidad la más importante de ellas (Loeb, 1986). Los resultados de los estudios realizados hasta el momento así lo confirman. Ruidos a intensidades elevadas, por encima de los 80 dB, resultan perjudiciales. En el caso de intensidades menores, los resultados son más contradictorios. Hasta ahora, los datos no permiten establecer un nivel de intensidad por encima del cual el ruido siempre sea perjudicial para cualquier tarea. Quizá por ello, los fabricantes de automóviles se afanan simplemente en la construcción de coches cada vez más silenciosos. Nadie ha podido hasta ahora indicarles qué nivel de ruido puede ser considerado como adecuado para conducir un coche ni nadie ha sido capaz de determinar si existe algún nivel de ruido por debajo del cual no sería aconsejable bajar, para evitar, por ejemplo, efectos de adormecimiento en el conductor.

El efecto de la intensidad del ruido puede venir modulado por lo significativo que pueda ser éste para el que lo escucha (Kjellberg, 1990). Entendemos significado en un sentido am-

plio, englobando tanto música, instrumental o no, como conversación. Los conductores, están expuestos a este tipo de sonidos con frecuencia, fundamentalmente cuando escuchan la radio. Estos sonidos se superponen a los ruidos que se generan al conducir y que proceden del automóvil. Ambos grupos de ruidos tienen características físicas notablemente diferentes, sobre todo en lo que se refiere a la variabilidad, los ruidos están caracterizados fundamentalmente por ella. Dado que en la literatura general esta variable parece de gran relevancia, pensamos que sería de interés estudiar estas posibles diferencias en el contexto de la conducción.

Pero, aun teniendo en cuenta todas estas variables físicas, los efectos del ruido resultan contradictorios. Se han publicado efectos tanto perjudiciales como beneficiosos, aunque éstos con menor frecuencia. Parte de esta disparidad de resultados se debe a que los estudios se han realizado con tareas muy diversas (Broadbent, 1954; Poulton, 1978; Smith y cols., 1988). La importancia de la tarea es lógica si pensamos en el mecanismo a través del cual el ruido ejerce su efecto.

Está ampliamente aceptado que cuando una persona ha de realizar una tarea en presencia de ruido, se produce un aumento general de la activación o **arousal**, así como en la fatiga (Broadbent, 1953, 1954). En Psicología sabemos que, en general, niveles intermedios de activación resultan más adecuados para ejecutar de forma óptima una tarea dada. En contrapartida son más perjudiciales tanto niveles altos como excesivamente bajos de activación. Es lo que se conoce como Ley de Yerkes-Dobson y que explicita que entre rendimiento y **arousal** existe una relación en forma de U invertida (Papalia y cols., 1986). Gracias a dicha ley podríamos conjugar y explicar tanto los estudios en los que se han encontrado efectos beneficiosos del ruido como aquellos en los que su presencia resulta perjudicial. Además, sabemos que no todas las tareas generan el mismo nivel de activación.

Cuando un individuo tiene que detectar la aparición o no de una determinada señal, los individuos se benefician de la presencia del ruido cuando la tarea les resulta monótona, aburrida o de muy poca dificultad; por ejemplo, cuando la señal a detectar aparece con muy poca frecuencia (Teichner y cols., 1963).

Si una tarea no genera por sí misma los niveles adecuados de activación, la presencia de elementos que ayuden a elevar la activación de los



*En Europa más de 130 millones de personas, están expuestas a niveles de ruido del tráfico por encima de los 75 dB*

individuos tendría el efecto de mejorar la ejecución (Eysenck, 1975). El ruido puede ser uno de esos elementos.

En el caso de tareas monótonas, el efecto del ruido que predomina es el de «despertar» o activar a la persona, lo que lleva a una mejora en su ejecución. También existen tareas que generan niveles adecuados o intermedios de activación, pensemos en la misma tarea de detectar señales cuando la aparición es muy frecuente, o cuando posee características que hacen muy difícil percibir la señal. En este caso, la tarea genera por sí misma niveles adecuados de activación.

La presencia del ruido acentúa la activación, lo que repercute en peores ejecuciones. Los altos niveles de activación hacen que los que realizan la tarea se focalicen en ciertos aspectos

de ésta en detrimento de otros (Hockey, 1970 a). Esta focalización puede ser en lo global frente a los detalles (Smith, 1982), o bien en ciertas zonas espaciales en detrimento de otras (Hockey, 1970 b). Este efecto negativo del ruido se ha observado, sobre todo, cuando se realizan diversas tareas de modo simultáneo. Esto exige al individuo que maneje en un mismo momento gran cantidad de información.

Normalmente, las personas se focalizan en aquella tarea que consideran prioritaria; ya sea la que consideren más difícil (Ponsoda, 1983), la que les reporte más beneficios, la que requiere una ejecución más continuada o la que se les indique como de mayor relevancia. Además, el ruido al favorecer la fatiga aumenta la probabilidad de que las personas seleccionen entre las posibles alternati-



*España es el segundo país del mundo con mayor nivel de ruido.*

vas ante una tarea aquella que les supone un menor esfuerzo, independientemente de lo eficaces que piensen van a resultar (Loeb, 1986). La focalización puede considerarse como un caso concreto de selección de alternativas poco efectivas.

La conducción es un conjunto de subtareas que han de realizarse a la vez. Por una parte, el conductor ha de mantenerse en la calzada, para lo cual necesita estar pendiente de la información que recibe sobre el trazado de la vía. Probablemente es esta sub-tarea la prioritaria entre todas las que conforman la conducción. Por otra parte ha de atender la información adicional acerca de elementos de interés que sin formar parte de la calzada puedan aparecer en ella, por ejemplo, las señales de tráfico. Esta información adicional le exige, en ciertas ocasiones, que se esfuerce para dar en todo momento respuestas no sólo efectivas, sino también rápidas: pensemos en la aparición repentina de un niño en la calzada. Son respuestas que de uno u otro modo se verían perjudicadas si el conductor se focalizase en la que le informa exclusivamente del trazado. Pero este efecto de focalización es el más característico del ruido.

En resumen, la complejidad de la

tarea que supone conducir generaría en los conductores cierto nivel de activación. Este nivel aumentaría en presencia del ruido. Como consecuencia, los conductores se focalizarían principalmente en una de las subtareas que realizan de modo simultáneo. Esto habría de repercutir de modo negativo en la conducción considerada como un todo y especialmente en las subtareas consideradas de menor relevancia. Esta focalización, que podría no ser importante en otros contextos, puede ser preocupante, sin embargo, en una situación real de conducción.

El efecto más importante del ruido es el de producir sesgos atencionales en aquellos que lo escuchan. Estos sesgos llevan fundamentalmente a focalizar la atención en una sola de las fuentes de información disponibles, al tiempo que favorecen comportamientos arriesgados. Este efecto, nos lleva a tomar conciencia de la importancia que podría tener el minimizar los efectos del ruido generado por el coche, en beneficio de la seguridad de los millones de personas que utilizan diariamente el automóvil. Por ello, en nuestro estudio intentamos simular en el laboratorio la tarea de conducción y estudiar los efectos que distintas intensidades y tipos de ruido

tienen en los errores y tiempos de reacción que muestran las personas.

## PROCEDIMIENTO

El primer objetivo de este proyecto fue el de realizar mediciones sobre el nivel real de ruido que existe en el interior de diferentes tipos de vehículos cuando están en funcionamiento. Estas mediciones fueron usadas posteriormente para poder analizar sus efectos sobre algunas de las diferentes tareas que se ejecutan cuando se conduce.

En un intento de ser lo más rigurosos posible, la medida del nivel básico de ruido se realizó en situaciones reales de conducción y en el interior de dos tipos de vehículos. Las características físicas y técnicas de los coches escogidos nos hicieron suponer que generaban niveles significativamente diferentes de ruido. Concretamente, los vehículos usados fueron un Citroën GSA, con más de diez años de antigüedad y el tubo de escape defectuoso, y un coche modelo Ford Escort 16V, con menos de un año de antigüedad. Las grabaciones se realizaron en un trayecto de 20 kilómetros y en una carretera nacional con tráfico intenso. La grabadora-es-

téreo (Sony. Cassette-corder TCS-2000) fue situada sobre el respaldo del conductor. Una persona situada en el asiento del acompañante realizaba mediciones periódicas de intensidad con un decibelímetro. Las ventanillas del coche estuvieron cerradas en todo momento y no hubo conversación entre el conductor y el acompañante. En el Citroën GSA la medición y análisis posterior de la grabación mostró una intensidad promedio de 80 dB. Este nivel se encuentra dentro del rango psicológico de ruidos «desagradables» o «molestos». Dentro del Ford Escort, sin embargo, el nivel de ruido medio encontrado fue de 70 dB. Estos niveles básicos de ruido, en primer lugar, nos confirmaron la existencia de diferencias en el nivel de ruido al comparar dos tipos de vehículos con características tan diferentes.

A partir de estos niveles básicos pudimos establecer comparaciones entre los diferentes niveles de ruido. Para ello realizamos variaciones en la intensidad (experimento 1) y el contenido del ruido (experimento 2). Como fruto de estos experimentos hemos podido analizar en qué medida los diferentes tipos de ruido producen efectos diferenciales sobre las actividades implicadas en la conducción.

Concretamente, en esta segunda fase hemos estudiado la influencia del ruido en el tiempo de respuesta y en los errores que se cometen en una actividad compleja, como es la de conducir. Actividad que, recordemos, requiere de la ejecución de una serie de respuestas matrices al mismo tiempo que de la detección e interpretación de diferentes tipos de señales visuales. Para tal fin, la tarea usada fue una versión de ordenador de la empleada por Hockey (1970). Los sujetos realizaron simultáneamente dos tareas: una, conocida como tarea de *tracking*, y otra, de detección de señales periféricas. La elección de estas tareas se basó en la similitud de las capacidades requeridas para su ejecución con las capacidades requeridas para la conducción de un vehículo.

La tarea de *tracking* es, dentro de las tareas utilizadas por la Psicología Cognitiva, la más adecuada para estudiar la tarea de conducir. En particular simula la subtarea de mantenerse con el automóvil en la calzada, puesto que ambas demandan en magnitud similar, del mismo tipo de habilidades espaciales y visuales (Baddeley, 1986). Nuestra tarea de *tracking* consiste en seguir con el ratón del ordenador un punto que se mueve a lo largo de la pantalla. Con-

*Nuestros datos confirman que intensidades de 70 y 80 dB afectan negativamente a tareas similares a las implicadas en la conducción. Si a esto unimos que nuestras grabaciones demuestran que muchos automóviles alcanzan estos niveles, la importancia de nuestros datos se hace evidente.*

cretamente, en la pantalla del ordenador aparece un punto y una flecha que el sujeto puede mover con el ratón para seguir al punto. El objetivo del sujeto es mantenerse en todo momento sobre el punto de la forma más precisa posible. De modo similar a como la visualización de la carretera permite a los conductores anticipar su ejecución al volante, bajo el punto aparece de forma continuada una función o curva en movimiento. La curva informa sobre la trayectoria que va a seguir el punto y permite al sujeto anticipar los movimientos que va a tener que realizar con el ratón. Esta función era visualizada en una ventana de anticipación de 4 cm de anchura.

La tarea de detección de señales pretende simular el fenómeno de la aparición de diferentes tipos de estímulos o señales que comúnmente se le presentan al conductor mientras conduce. Estos estímulos pueden presentarse de forma inesperada ante el conductor y, en multitud de ocasiones, requieren de respuestas rápidas y efectivas. Para implementar esta situación se incluyó una segunda pantalla de ordenador situada a la derecha del sujeto y en la que aparecían distintas figuras geométricas a las que debía responder de forma di-

ferencial. Los estímulos se presentaron a la derecha del sujeto, dado que es por la derecha por la que el conductor recibe la mayor cantidad de información que resulta ser relevante al conducir.

Para la tarea de *tracking* nuestro equipo de investigación adquirió un programa de ordenador llamado ERTS, que ha sido desarrollado en Alemania por la Compañía Berisoft Corporation. Preferimos utilizar un programa estandarizado porque de esta manera otros investigadores podrán replicar y extender nuestros resultados. El programa ERTS ha sido utilizado también en el programa espacial europeo. Para la tarea de detección de señales periféricas usamos un programa de ordenador estándar llamado MEL, desarrollado en Estados Unidos. Este programa está especializado en el diseño de tareas experimentales en el ámbito de la Psicología.

La sesión experimental estaba dividida en seis periodos de tres minutos cada uno más un periodo de práctica de un minuto. En los periodos 1, 3 y 5 la tarea de *tracking* estaba programada de forma que simulaba una situación de conducción lenta. La frecuencia de movimiento del punto en estos periodos lentos estaba atenuada por dos filtros: de 900 y 10 Hz/100. En los periodos 2, 4 y 6, sin embargo, el punto se desplazaba a una velocidad mayor a través de la pantalla, simulando una situación de conducción rápida. En los periodos en que el movimiento del punto era más rápido, la frecuencia estaba atenuada por dos filtros: de 700 y 40 Hz/100.

Simultáneamente a la tarea de *tracking*, en una pantalla situada a la derecha de los sujetos, podían aparecer, a intervalos aleatorios de tiempo, dos tipos de señales a los que los sujetos debían responder diferencialmente y lo más rápidamente posible. Concretamente, las señales a las que debían responder eran un cuadrado y un círculo. Las respuestas a estas señales eran dadas mediante el teclado, que estaba situado frente a los sujetos. Como respuestas, los sujetos experimentales presionaban con la mano izquierda una de dos teclas; la tecla «1», si aparecía un círculo, y la tecla «2», si lo que aparecía era un cuadrado.

En la tarea de detección de señales medimos el tiempo que tardaban en responder (tiempo de reacción), así como las respuestas erróneas. Para el análisis de los datos de la tarea de *tracking*, primero dividimos en intervalos de menor duración cada uno de los seis periodos experimentales. A

continuación hallamos el «promedio absoluto de error» para cada uno de estos subperiodos. Para obtener este promedio se calcula la media de las diferencias que existen entre el punto sobre el que el sujeto debe situar la flecha con respecto a aquel en que realmente la sitúa. Por tanto, son tres las medidas con las que vamos a analizar las diferencias entre los grupos incluidos en cada uno de nuestros dos experimentos.

Con el primer experimento intentamos analizar el efecto que diferentes intensidades de ruido producen sobre las tareas propuestas. Para ello comparamos, además de las intensidades de los vehículos medidos, 70 y 80 dB, dos modificaciones del nivel de ruido encontrado en el interior del Ford Escort. Las modificaciones consistieron, simplemente, en reducir el volumen de la grabación obtenida en este vehículo hasta situarlo en 50 y 60 dB, respectivamente. Consideramos adecuada la inclusión de estos cuatro grupos de ruido porque la sonoridad del nivel del ruido se duplica con diferencias de 10 dB (Kjellberg, 1990).

Para delimitar los efectos del ruido producido por cualquier otra variable que incida en la realización de las tareas decidimos incluir un grupo más. Los sujetos que pertenecían a este grupo ejecutaron las tareas sometidos tan sólo al ruido de la sala generado por los ordenadores en funcionamiento. La intensidad del ruido ambiental se estableció en torno a los 40 dB. Nos referimos a esta condición como «silencio».

Así pues, en este primer experimento las cinco condiciones experimentales fueron las siguientes:

- a) GSA 80 dB. En esta condición los sujetos escucharon el resultado de la grabación realizada en el GSA y cuya intensidad promedio era de 80 dB.
- b) Ford, 70 dB. La intensidad media de ruido en el interior del Ford Escort fue de 70 dB.
- c) Ford, 80 dB.
- d) Ford, 50 dB.
- e) Silencio. Grupo en el que los sujetos estuvieron sometidos a una intensidad de 40 dB.

Para realizar este experimento se usaron cinco grupos compuestos por 10 sujetos. Cada uno de los grupos fue expuesto a una de las condiciones de ruido anteriormente comentadas. Todos los sujetos eran estudiantes de Psicología, de una media de edad de veintitún años y con visión normal o corregida en todos los casos. Ninguno de los sujetos informó tener problemas de tipo auditivo.

En nuestro segundo experimento evaluamos aspectos más cualitativos del ruido. Para ello se sobreimpusieron ruidos con significado al ruido procedente del Ford Escort. Estos ruidos son del tipo a los que están expuestos con frecuencia los conductores en el interior de los vehículos.

Las cinco condiciones experimentales que se compararon fueron las siguientes:

- a) Ford, 70 dB + música rap.
- b) Ford, 70 dB + música clásica.
- c) Ford 70 dB + radio. La grabación que los sujetos de este grupo escucharon fue una conversación emitida por la radio.
- d) Silencio.
- e) Ford, 70 dB.

*En nuestro estudio intentamos simular en el laboratorio la tarea de conducción y estudiar los efectos que distintas intensidades y tipos de ruido tienen en los errores y tiempos de reacción que muestran las personas.*

De entre las dos grabaciones realizadas, y a la luz de los resultados del primer experimento, escogimos para este segundo estudio como nivel base de ruido 70 dB. La razón fundamental para esta elección es porque este nivel de ruido tiende a ser más habitual en los automóviles que actualmente se fabrican. Por ello, las grabaciones de sonidos con significado se realizaron con el Ford Escort y en las condiciones ya citadas. Una vez realizadas las grabaciones, el decibelímetro indicó que, como fruto de esta superposición, se incrementó la intensidad en 10 dB, de modo que el ruido del coche pasó de 70 a 80 dB de intensidad. Este nivel es también el existente en el interior del modelo

GSA. Esta igualdad nos permitió conjugar los resultados de ambos experimentos para llegar a un análisis más detallado de los efectos diferenciales de intensidad y contenido.

Como en el primer experimento, se usaron cinco grupos diferentes de sujetos que fueron sometidos a las diferentes condiciones de calidad o contenido de ruido. Al igual que en el experimento anterior, cada uno de los grupos estuvo compuesto por 10 sujetos, todos ellos estudiantes de Psicología, de una media de edad de veintitún años y con visión en todos los casos normal o corregida. Ningún sujeto informó presentar problemas de tipo auditivo.

Para la realización de los dos experimentos necesitamos un total de 80 personas, 10 por cada condición experimental. Los sujetos debían sentarse frente a la pantalla del ordenador y mover el ratón, que estaba situado sobre la mesa, con la mano derecha. Al mismo tiempo, con la mano izquierda debían responder, lo más rápidamente posible, a cada una de las señales geométricas. Las instrucciones dadas a los sujetos y, sobre todo, por la disposición de las pantallas de ordenador, la tarea que pareció captar la mayor parte de la atención de los sujetos fue la tarea de tracking, dada la dificultad de ésta.

Durante toda la sesión experimental, los sujetos tuvieron colocados unos auriculares, fuese cual fuese el grupo al que perteneciesen, incluido el grupo denominado silencio. La exposición al ruido se realizó a través de audífonos por ser la forma más adecuada de reproducir los niveles medidos en el interior de los vehículos. Tomamos esta decisión, ya que, en caso contrario, es decir, si la exposición es de campo-libre, el nivel de intensidad que los sujetos realmente hubiesen percibido se ve modificado con respecto al real.

Concretamente, percibirían una mayor intensidad de la que procede de la grabación. El aumento puede variar entre uno y seis dB, dependiendo de los casos. Este fenómeno es producto de la reflexión de ondas que acontece al chocar éstas contra las paredes de la sala. Sin embargo, dicho aumento no se produce con el uso de auriculares (Hartley, 1974).

## RESULTADOS

Para el estudio de los efectos del ruido sobre las dos tareas se hará análisis de varianza tipo ANOVA de cada una de las variables consideradas en los dos experimentos.

## Experimento 1. Efectos de la intensidad del ruido

Recordemos que los sujetos realizaron simultáneamente las tareas de *tracking* y la tarea de detección de señales. A continuación presentamos, de forma desglosada, el análisis de los datos obtenidos en estas dos tareas.

### Tarea de tracking

El diseño del experimento fue un  $5 \times 2 \times 2$  factorial. La intensidad del ruido fue manipulada entre grupos, de modo que cada grupo de sujetos fue sometido a una intensidad de ruido determinada. Recordemos que esta variable tenía cinco niveles (GSA, 80 dB; Ford, 70 dB; Ford, 60 dB; Ford, 50 dB; y silencio). La variable velocidad estaba manipulada intrasujetos y, por lo tanto, todos los sujetos realizaron la tarea bajo las condiciones de alta y baja velocidad. Por último, tras el minuto de práctica, analizamos también en todos los sujetos las diferencias en ejecución en los momentos inicial, intermedio y final con el objetivo de ver el efecto de la práctica sobre la tarea.

Medimos el número de errores que los sujetos cometieron al ejecutar la tarea de *tracking*. Nuestro objetivo fundamental fue analizar si, con diferentes intensidades de ruido, se alcanzaban tasas mayores o menores de errores. Para ello hicimos análisis de varianza tipo ANOVA del número de errores sobre cada una de las variables consideradas.

Encorramos que, conforme transcurre el tiempo, los sujetos mejoran su ejecución en la tarea de modo que el número de errores que cometen es cada vez menor [ $F(2,90) = 7,48$ ,  $p < 0,001$ ;  $MCE = 2,24$ ].

También hallamos diferencias significativas en ejecución entre las condiciones de alta y baja velocidad [ $F(1,45) = 3,21$ ,  $p < 0,001$ ;  $MCE = 5,79$ ]. El número de errores es mayor cuando los sujetos ejecutan la tarea a alta velocidad que cuando el punto a seguir se mueve más despacio. Es evidente que cuanto mayor es la velocidad con que se han de ejecutar las tareas mayor es el grado de demanda exigido al sujeto y mayor la probabilidad de que cometa errores. Pensemos que bajo estas condiciones se han de tomar las decisiones con mayor rapidez que cuando se ejecutan las mismas acciones en condiciones de baja velocidad. En este último caso se dispone de mayor cantidad de tiempo para planificar las acciones a realizar.

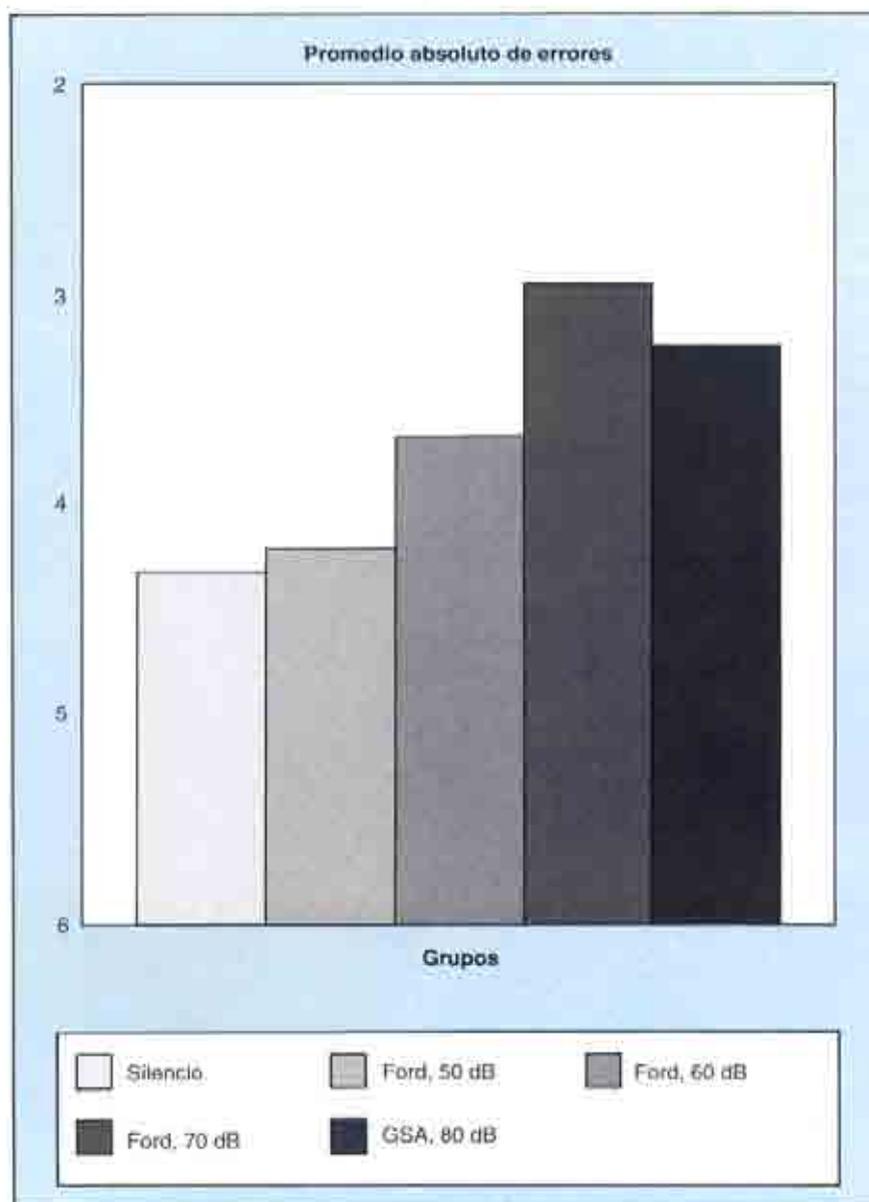
El efecto de la velocidad se ve, sin embargo, modificado por la práctica [ $F(2,90) = 10,22$ ,  $p < 0,003$ ;  $MCE = 1,69$ ]. La práctica mejora la ejecución de la tarea sólo cuando los sujetos ejecutaron la tarea a baja velocidad. Esta interacción se debe posiblemente a que, en baja velocidad, la tasa de errores es ya tan baja que posiblemente no pueda ser reducida con la práctica. En cualquier caso, la mejora producida bajo la situación de alta velocidad nunca llega a alcanzar la presentada a baja velocidad. Es decir, los sujetos no llegan a compensar con la práctica el alto grado de demanda que la tarea supone cuando debe ejecutarse con rapidez.

El efecto del nivel del ruido tiende a ser significativo y, por tanto, importante para la tarea de *tracking*

[ $F(2,90) = 10,22$ ,  $p = 0,13$ ;  $MCE = 1,69$ ]. Conforme se incrementa la intensidad de ruido el número de errores tiende a ser mayor.

La figura 1 muestra el promedio de errores para cada una de las condiciones de ruido. Como se muestra en la gráfica, la tendencia a cometer un mayor número de errores a mayor intensidad se hace más evidente cuando comparamos los niveles de ruidos a dos. El análisis de comparaciones arroja resultados significativos al comparar las condiciones de silencio con GSA, 80 dB [ $t(1,9) = 2,41$ ,  $p < 0,03$ ], y de silencio con Ford, 70 dB [ $t(1,9) = 2,29$ ,  $p < 0,04$ ]. Estos datos indican que a partir de los 70 dB, los sujetos comienzan a incrementar significativamente el número de errores en la ejecución de la tarea.

FIGURA 1. Errores en la tarea de *tracking*.



## Tarea de detección de señales

El número de errores, al detectar las señales, fue muy bajo, situándose la media de errores en torno al 5 por 100. Por lo tanto, el análisis de varianza se hizo sólo sobre los tiempos de reacción de las variables manipuladas en el experimento.

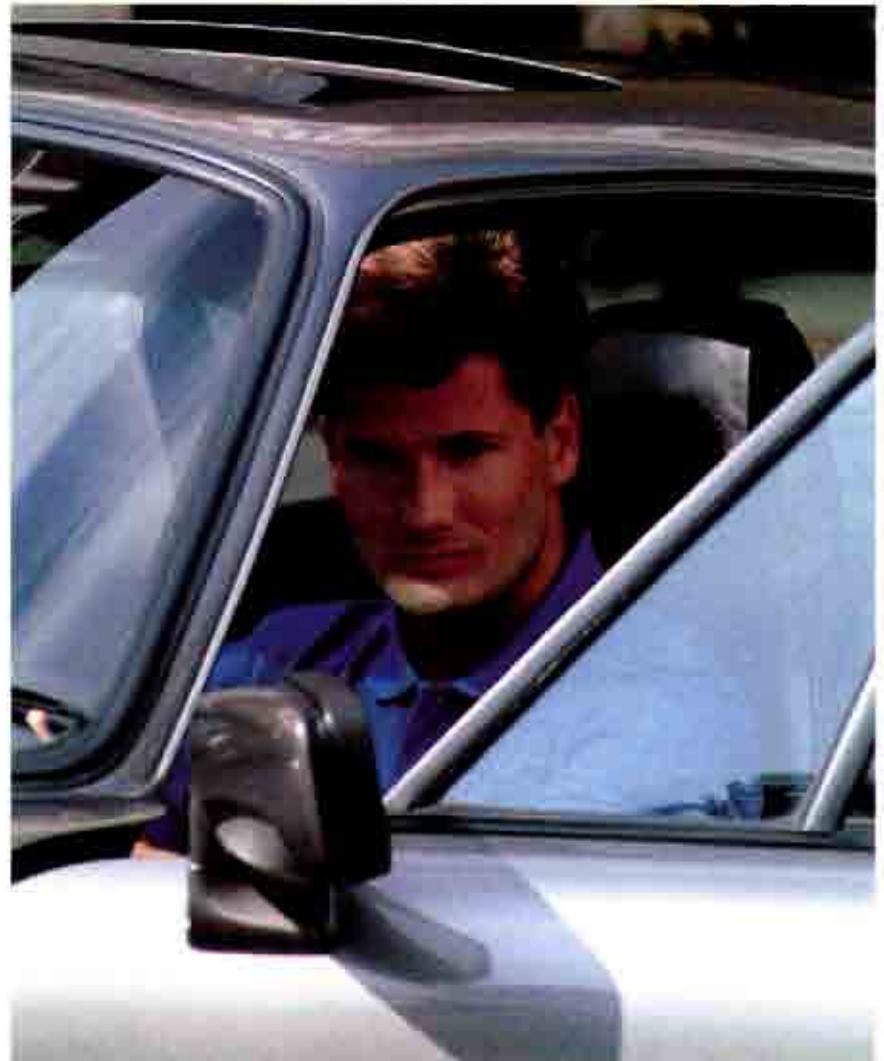
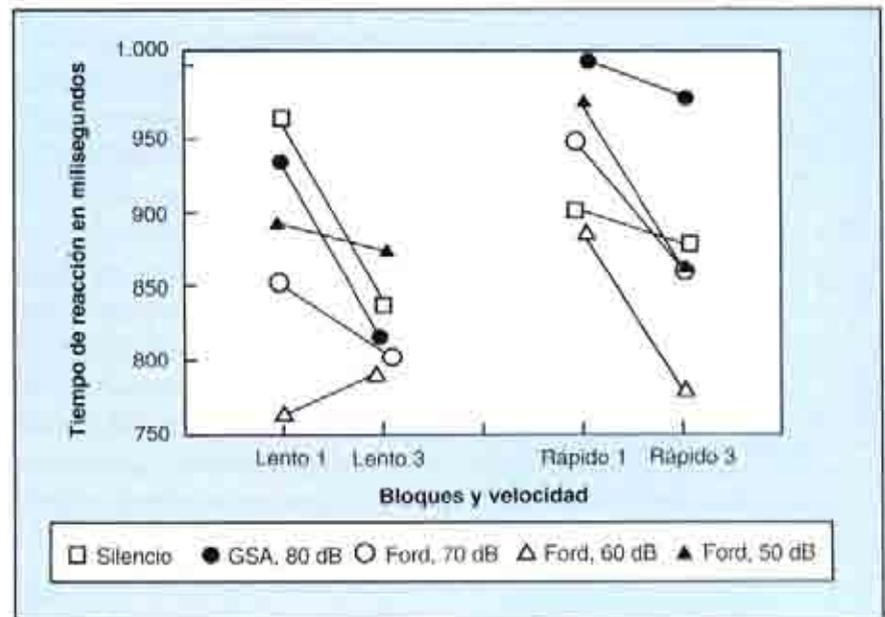
De nuevo, el diseño experimental fue un  $5 \times 2 \times 2$  factorial, donde la intensidad del ruido fue manipulada entre grupos y tenía cinco niveles. La variable velocidad estaba manipulada intrasujetos con los niveles de alta y baja velocidad, y la variable práctica, con los niveles momento inicial, intermedio y final de la detección de señales.

Para medir los efectos de la intensidad del ruido sobre la detección de señales comparamos el tiempo que los sujetos tardaron en responder a las diferentes señales geométricas en función del grupo de intensidad de ruido al que pertenecía. Recordemos la enorme importancia que tiene, a la hora de conducir, el responder lo más rápida y adecuadamente posible a algunos eventos que aparecen, a veces incluso de modo imprevisible, mientras se está conduciendo.

Como era de esperar, en la tarea de detección de señales también es significativo el efecto de la práctica [ $F(2,90) = 8,64, p < 0,01$ ;  $MCE = 13467$ ;  $LSD = 61$  msec.]. Conforme se incrementa el tiempo de práctica, los sujetos responden más rápidamente a las señales visuales. De igual manera, el tiempo de reacción es mayor en las condiciones de alta velocidad que en las de baja velocidad [ $F(1,90) = 8,56, p < 0,005$ ;  $MCE = 13223$ ;  $LSD = 61$  msec.]. Resulta evidente que cuando la velocidad de ejecución de las tareas es mayor los sujetos reaccionan más lentamente a los elementos que aparecen de modo inesperado.

Como conclusión más relevante, hay que destacar la significatividad de la triple interacción entre la práctica, la velocidad y el nivel de ruido [ $F(8,90) = 2,82, p < 0,01$ ;  $MCE = 4770$ ;  $LSD = 61$  msec.]. La figura 2 muestra esta interacción. Es decir, muestra el tiempo de reacción en función de las variables intensidad de ruido, velocidad y práctica. Para facilitar la lectura de la gráfica y porque la interacción proviene principalmente de estas dos condiciones se han incluido en la gráfica sólo las condiciones de práctica inicial y final y se ha dejado fuera la intermedia. Como se muestra, la interacción indica claramente que no sólo se reacciona más lentamente a las señales periféricas

FIGURA 2. Tiempo de reacción a las señales periféricas.



*Queda justificado el afán actual de las empresas del automóvil por reducir el nivel de ruido generado por sus vehículos.*

cuando se está sometido a intensidades de ruido elevadas, sino que este efecto se ve acentuado cuando la velocidad es mayor. En estas condiciones, los sujetos no consiguen mejorar su ejecución como fruto de su práctica con la tarea. De hecho, sólo cuando las demandas de la tarea de *tracking* eran más bajas lograron reducir el tiempo de respuesta con la práctica. Este efecto se puede ver más claramente en el caso de los 80 dB. En este caso, el efecto del ruido en condiciones de alta velocidad es tan disruptivo que ni siquiera con la práctica se llega a mejorar la ejecución en la tarea. Sin embargo, en condiciones de *tracking* lento los sujetos mejoran su ejecución en la práctica, independientemente del nivel de intensidad a que estén siendo sometidos. Otro aspecto que es interesante subrayar a velocidades altas es la diferencia obtenida entre los diferentes niveles de intensidad después de dieciocho minutos de práctica. Podemos observar claramente cómo es el grupo de silencio el que logra alcanzar una mayor rapidez al detectar señales. A 50, 60 y 70 dB la ejecución se sitúa a niveles intermedios, y es el grupo sometido a 80 dB de ruido el que ejecuta la tarea más lentamente.

## Experimento 2. Efectos de la cualidad o contenido del sonido

### Tarea de tracking

El diseño experimental fue un  $5 \times 2 \times 2$  factorial. La cualidad o contenido del ruido fue manipulada entre grupos. Recordemos que esta variable tenía cinco niveles (Ford, 70 dB; Ford, 70 dB + música clásica; Ford, 70 dB + música rap; Ford, 70 dB + radio y silencio). La variable velocidad tenía dos niveles (alta y baja velocidad) y estaba manipulada intrasujetos. La variable práctica se manipuló intrasujetos con tres niveles (momento inicial, intermedio y final). También en este experimento realizamos un análisis de varianza tipo ANOVA del número de errores sobre cada una de las variables consideradas.

También en este caso hay una reducción del número de errores con la práctica de modo que, al principio se cometían más errores que los ejecutados tras un tiempo de entrenamiento [ $F(2,90) = 9,66$ ,  $p < 0,001$ ;  $MCE = 1,70$ ]. La tarea resultó más difícil de ejecutar a altas velocidades [ $F(1,90) = 3,63$ ,  $p < 0,001$ ;  $MCE = 4,24$ ]. Como dato más relevante hemos de destacar el efecto significativo del conteni-

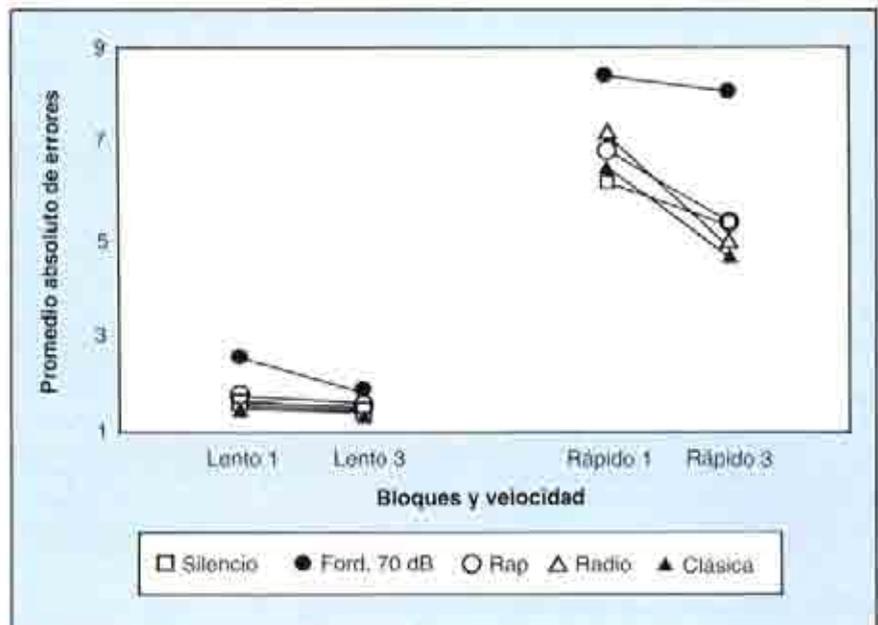
do o cualidad del ruido al que estaban expuestos los sujetos [ $F(4,45) = 2,93$ ,  $p < 0,04$ ;  $MCE = 7,87$ ].

En la figura 3 se muestra el promedio de errores cometidos en cada una de las diferentes condiciones de contenido de ruido (música clásica, rap, conversación de radio, ruido de 70 dB y silencio), velocidad y práctica. De nuevo, para facilitar la lectura de la figura se incluyen sólo las condiciones de práctica inicial y final. Observamos claramente cómo en la condición de baja velocidad el número de errores es mínimo, sea cual sea el tipo y nivel de ruido. Más importantes son los resultados que observamos en la condi-

ción de alta velocidad. En este caso se observa con mayor claridad la peor ejecución de los sujetos sometidos exclusivamente al ruido provocado por el coche en funcionamiento frente a la producida en presencia de ruidos con contenido o silencio. Es decir, los sujetos sometidos a ruidos con contenido analizados —música clásica, música rap y conversaciones radiofónicas— ejecutaron la tarea de tracking tan eficazmente como los que la realizaron en la condición de silencio.

Por tanto, en lo que se refiere a la tarea de desplazamiento del automóvil sobre la calzada, la superposición

FIGURA 3. Errores en la tarea de tracking.



Nadie ha podido hasta ahora indicar que nivel de ruido puede ser considerado como adecuado para conducir un coche.

o no de ruidos con significado producen niveles de ejecución distintos. Parece que cuando al ruido del coche se superpone algún tipo de contenido que tenga significado para los conductores se producen efectos menos perjudiciales sobre la tarea. Por tanto, es mucho peor seguir el desplazamiento del punto sometidos sólo al ruido del automóvil. Sin embargo, como vamos a ver a continuación, este beneficio no repercute en otras tareas, también importantes a la hora de conducir.

### Tarea de detección de señales

De nuevo, el número de errores al detectar las señales fue muy bajo, situándose la media de errores en torno al 5 por 100.

El diseño experimental fue un  $5 \times 2 \times 2$  factorial. La cualidad o contenido del ruido fue manipulada entre grupos y tenía cinco niveles. La variable velocidad estaba manipulada intrasujetos con los niveles de alta y baja velocidad, y la variable práctica con los niveles momento inicial, intermedio y final de la detección de señales. Sobre este diseño experimental se realizó el análisis de varianza de los tiempos de reacción.

La variación en contenido no produjo diferencias en el número de errores. Es decir, independientemente de la condición de ruido a que fueran sometidos los sujetos, todos eran

igualmente capaces de dar respuesta adecuada a cada una de las señales que se les presentaron.

De nuevo encontramos que los sujetos realizan progresivamente mejor la detección de señales [ $F(2,90) = 4,06$ ,  $p < 0,03$ ;  $MCE = 14348$ ;  $LSD = 61$  msec.]. Y, como era de esperar, fue también significativa la velocidad [ $F(1,90) = 7,42$ ,  $p < 0,01$ ;  $MCE = 12532$ ;  $LSD = 61$  msec.].

Los efectos que produce el tipo de ruido son resultado de la interacción con las variables de práctica y de velocidad [ $F(88,90) = 2,05$ ,  $p < 0,05$ ;  $MCE = 6371$ ;  $LSD = 61$  msec.]. La figura 4 muestra el tiempo de reacción a las señales en función del contenido del ruido, la velocidad y la práctica. Como se puede apreciar, de todos los contenidos sonoros analizados la música clásica es, desde el primer momento, la que menores tiempos de reacción produjo. Pero no llega a alcanzar niveles tan buenos de ejecución como los que presentaron los sujetos sometidos a la condición de silencio.

Sólo con cierto grado de práctica en la tarea, los sujetos sometidos a la conversación de radio alcanzaron el mismo nivel de ejecución que el presentado en condiciones de música clásica. Aunque en principio la conversación de la radio es disruptiva para responder eficazmente a señales periféricas, con la práctica sus efectos perniciosos llegan a desaparecer.

Por el contrario, la música rap es la que peores resultados presenta en

detección de señales. El efecto más disruptivo del rap se produce cuando los sujetos están realizando la tarea de *tracking* a alta velocidad. De hecho, la mejora que se logra con la práctica tan sólo alcanza niveles similares al que alcanza el rap a baja velocidad. Recordemos que comparados con el resto de los grupos, esta condición de ruido es la que presenta tiempos mayores de reacción.

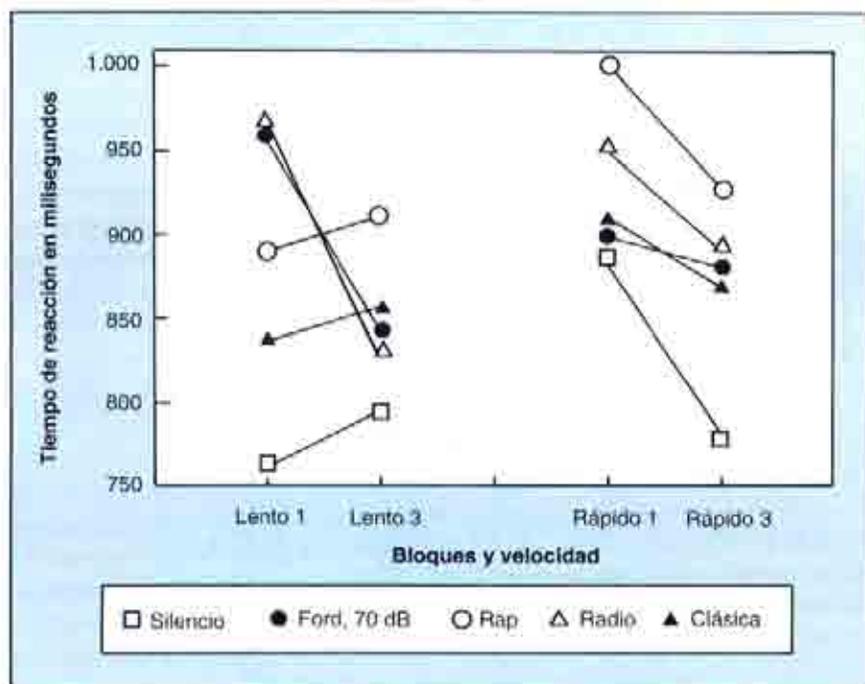
### CONCLUSIONES

A continuación vamos a resumir los efectos más importantes de esta investigación. Con las tareas utilizadas para la simulación de la conducción, se muestra un deterioro en la ejecución cuando el ruido supera los 70 dB. Cuando los sujetos están sometidos a niveles de ruidos de 70 u 80 dB ejecutan peor la tarea de *tracking* que cuando la realizan en presencia de ruidos de menor intensidad. Los efectos de ruido sobre la tarea de detección de señales están modulados por la velocidad y la práctica. El efecto perjudicial del ruido se manifiesta en todas las condiciones analizadas. Intensidades iguales o superiores a 70 dB deterioran la ejecución incluso a baja velocidad. Estos efectos son más dramáticos cuando se realiza la tarea a alta velocidad, hasta el punto que la mejora que se consigue con la práctica es mínima.

Estos datos demuestran que la intensidad es una variable de gran importancia. El efecto perjudicial de ruidos de intensidad elevada puede ser paliado cuando en el ruido predominan elementos dotados de significado. En nuestro segundo experimento incluimos ruidos de estas características y a intensidades similares a las que resultaron disruptivas en el primero de ellos. A pesar de que las grabaciones que incluían ruido con contenido alcanzaron los 80 dB (ver procedimiento), bajo estas condiciones los sujetos ejecutaron tan bien la tarea de *tracking* como el grupo en silencio. Este resultado es de gran interés, ya que el grupo que llevó a cabo la tarea sólo con ruido de coche a 70 dB, y por tanto carente de contenido, ejecutó significativamente peor dicha tarea.

Los patrones de resultados de los tres grupos expuestos a sonidos dotados de significado, en la tarea de detección de señales, son heterogéneos entre sí. El sonido que resultó más perjudicial para detectar señales fue la música rap. En el polo opuesto se sitúa la música clásica. En esta condición se alcanzan los mejores ni-

FIGURA 4. Tiempo de reacción a las señales periféricas.



veles de ejecución, pero sin llegar nunca a igualar los obtenidos en situación de silencio. Los niveles mostrados por el grupo con música clásica son igualados por el grupo de conversación radiofónica tras practicar la tarea y sea cual sea la velocidad a la que se ejecute. Sin embargo, el grupo de música rap no llega alcanzar dichos niveles de ninguno de los casos, aunque en algunos de ellos muestra cierta mejora con la práctica.

Nuestros datos confirman que intensidades de 70 y 80 dB afectan negativamente a tareas similares a las implicadas en la conducción. Si a esto unimos que nuestras grabaciones demuestran que muchos automóviles alcanzan estos niveles, la importancia de nuestros datos se hace evidente. Por ello queda justificado el afán actual de las empresas del automóvil por reducir el nivel de ruido generado por los vehículos. Aunque no podemos establecer el punto exacto de intensidad a partir del cual la conducción se ve deteriorada, sí podemos concluir que, al menos, las habilidades implicadas en la conducción se ven afectadas por intensidades situadas por encima de los 70 dB. Junto a la intensidad hay que considerar el contenido del ruido. Tomados conjuntamente, el ruido ni afecta a todas las tareas por igual ni todas se ven influenciadas por los diferentes tipos de ruido en la misma magnitud. Así, los ruidos dotados de significado afectan menos a una tarea que a otra. Parece que, a la hora de conducir el coche, el efecto de la intensidad de ruido es menos perjudicial si presenta contenido. Sin embargo, la intensidad que presenta el ruido resultará de todos modos nociva cuando el conductor debe responder rápidamente a una señal visual inesperada. Es por todo esto por lo que pensamos que es preferible trabajar en la búsqueda de soluciones que permitan reducir el nivel de ruido en los automóviles.

Probablemente este deterioro se debe a que eleva los niveles de activación de los sujetos por encima de los adecuados. Recordemos que este aumento de activación se traduce en sesgos atencionales en los sujetos que ejecutan tareas simultáneamente. En el caso de detectar señales, los sujetos rebasan los niveles idóneos, sea cual sea el contenido del ruido. En el caso de guiar el coche, esta activación excesiva se consigue con ruidos intensos y sin significado, pero no cuando posee contenido, aunque sean de alta intensidad. Por lo que podemos concluir que la intensidad no es la única variable que ejerce efectos negativos sobre cada una de

las sub tareas implicadas en la conducción. La intensidad es modulada por la variabilidad y significatividad del sonido en alguna de estas sub tareas.

Estos resultados, sin embargo, deben tomarse con precaución, ya que para poder generalizar nuestros resultados a otro tipo de situaciones o personas más allá de las estudiadas sería necesario extender el estudio a las mismas. Por ejemplo, sería conveniente estudiar la interacción entre la intensidad y el tipo de ruido. Aunque estas dos características de los sonidos fueron incluidas en nuestro estudio, se hizo de forma independiente. De esta manera, los sonidos con significado siempre se superpusieron a un ruido de fondo de 70 dB. Es posible que la conducción en coches que generan intensidades mínimas de ruido se vea beneficiada por la inclusión de otros sonidos que eleven el grado de activación de los conductores a niveles más adecuados. También es posible que coches que generen niveles más altos de ruido se vean más perjudicados por la inclusión de sonidos con significado. Por ello sería conveniente manipular las dos variables de forma conjunta. Por otra parte, existen estudios que relacionan los efectos del ruido con la sensibilidad de los individuos al mismo. La sensibilidad parece estar modulada por variables de tipo demográfico, especialmente el sexo y la edad. Sin embargo, nosotros no hemos manipulado este tipo de variable.

Finalmente, el tipo de trazado de la carretera puede ser importante a la hora de producir efectos beneficiosos o perjudiciales del sonido.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMANDO, G. (1988): *La contaminación acústica*, Valencia, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- BROADBENT, D. E. (1953): «Noise, paced performance and vigilance tasks», *British Journal of Psychology*, Vol. 44, pp. 295-303.
- (1954): «Some effects of noise on visual performance», *Quarterly Journal Experimental Psychology*, Vol. 6, pp. 1-5.
- (1977): «Los efectos del ruido sobre el comportamiento». En C. M. Harris (Ed.): *Manual para el Control del Ruido*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.
- (1978): «The current state of noise research», *Psychological Bulletin*, 85, pp. 1.052-1.057.
- (1980): «Noise in relation to annoyance, performance and mental health», *Journal of Acoustical Society of America*, 68, pp. 15-17.

- GLASS, D. C., y SINGER, J. E. (1972): *Urban stress: Experiments on Noise and Social Stressors*, New York, Academic Press.
- GLOAG, D. (1980): «Noise: Hearing loss and psychological effects», *British Medical Journal*, 281, pp. 1.325-1.327.
- FINKELMAN, J. A.; ZEITLIN, L. A., y FRIEND, M. A. (1977): «Noise and driver performance», *Journal of Applied Psychology*, 62, pp. 713-718.
- HARTLEY, L. R. (1974): «Performance during Continuous and Intermittent Noise and Wearing Ear Protection», *Journal of Experimental Psychology*, 102 (3), pp. 512-516.
- HOCKEY, G. J. R. (1970a): «Effect of loud noise on attentional selectivity», *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, pp. 38-36.
- (1970b): «Signal probability and spatial location as possible bases for increased selectivity in noise», *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, pp. 37-42.
- KJELLBERG, A. (1990): «Subjective, behavioral and psychophysiological effects of noise», *Scandinavian Journal Environmental Health*, Vol. 16 (suppl. 1), pp. 29-38.
- KRYTER, K. D. (1970): *The effects of Noise on Man*, New York, Academic Press.
- LOEB, M. (1986): *Noise and Human Efficiency*, Studies in human Performance, Ed. John Wiley and Sons.
- MOREIRA, N. M., y LORR, M. (1972): «Noise annoyance susceptibility», *Journal of Sound and Vibration*, 21, pp. 449-462.
- PAPALIA, D. E., y WENDKOS, S. (1985): *Psicología*, Ed. McGraw-Hill.
- PONSADA, V. (1983): «Explicaciones de los efectos del ruido en el rendimiento», *Revista de Psicología General y Aplicada*, Vol. 38 (6), pp. 1.083-1.115.
- POULTON, E. C. (1978): «A new look at the effects of noise upon performance», *British Journal of Psychology*, Vol. 69, pp. 435-437.
- SANTIESTEBAN, C., y SANTALLA, Z. (1990): «Efectos del ruido sobre memoria y atención: una revisión», *Psicothema*, Vol. 2, pp. 49-91.
- SMITH, A.; MILES, C. (1985): «The combined effects of noise and nightwork on human function», en Osborne D. J., ed., *Contemporary ergonomics 1985: proceedings of the Ergonomics Society's annual conference*, 1985, Nottingham.
- STANDING, L., y STACE, G. (1980): «The effects of environmental noise on anxiety level», *The Journal of General Psychology*, 103, pp. 263-272.
- VERA, M. N. (1990): *Efectos psicológicos del ruido ambiental*, tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- VERA, M. N.; VILA, J., y GODOY, J. F. (1991): «Efectos subjetivos del ruido ambiental: una revisión», *Revista de Psicología de la Salud*, Vol. 3, núm. 2, pp. 99-132.