

enmascaramiento auditivo – auditory masking

Authored by
memjavad

November 2, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *enmascaramiento auditivo – auditory masking*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=2466>

Enmascaramiento Auditivo

Primary Disciplinary Field(s): Psicoacústica, Audiología, Ingeniería de Audio, Neurociencia

1. Definición Central

El enmascaramiento auditivo es un fenómeno fundamental dentro del campo de la [psicoacústica](#), describiendo la incapacidad o dificultad del sistema auditivo para percibir un sonido específico, conocido como la **señal** o tono enmascarado, debido a la presencia simultánea o inmediatamente adyacente de otro sonido más intenso o prominente, denominado el **enmascarador** o ruido. Este proceso no implica una simple superposición física de ondas sonoras, sino que es un efecto perceptual y neurofisiológico que ocurre dentro del cerebro y el oído interno, donde la actividad neuronal generada por el sonido enmascarador domina o inhibe la codificación de la señal más débil. La medición de este efecto es crucial, y típicamente se define como el aumento en el umbral de audición de la señal que resulta de la introducción del enmascarador, siendo la magnitud del enmascaramiento altamente dependiente de la relación de frecuencia y el nivel de intensidad entre los dos sonidos involucrados.

Históricamente, el estudio del enmascaramiento ha servido como una ventana crítica para comprender la función de análisis de frecuencia del oído, especialmente la forma en que la [membrana basilar](#) descompone el espectro sonoro en componentes discretos. La eficiencia del enmascarador es máxima cuando su frecuencia se encuentra muy cercana a la frecuencia de la señal, una observación que dio lugar al concepto esencial de las **bandas críticas**. Si un sonido enmascarador cae dentro de la banda crítica de la señal, su energía compite directamente por los mismos receptores nerviosos, elevando significativamente el umbral de detección. Este principio subyace a gran parte de la modelización moderna de la percepción auditiva y es vital para tecnologías que buscan optimizar la calidad del sonido o la eficiencia de la transmisión de datos.

Es importante distinguir entre el enmascaramiento periférico y el enmascaramiento central. El **enmascaramiento periférico**, que es el más común y potente, ocurre principalmente en el oído interno y la cóclea, donde la vibración intensa del enmascarador en la membrana basilar oculta físicamente la vibración más débil de la señal. Por otro lado, el **enmascaramiento central** ocurre a nivel del sistema nervioso central, involucrando mecanismos de procesamiento neural que suprimen la información de la señal incluso después de que ha sido codificada en el oído interno. Aunque el enmascaramiento central es generalmente menos severo, su existencia subraya la complejidad del procesamiento auditivo, que no es puramente mecánico sino también cognitivo y neural.

2. Tipos Fundamentales de Enmascaramiento

El enmascaramiento auditivo se clasifica principalmente en función de la relación temporal entre la señal y el enmascarador, dando lugar a dos categorías mayores: el enmascaramiento simultáneo y el enmascaramiento temporal. El **enmascaramiento simultáneo**, también conocido como enmascaramiento de estado estable o tonal, ocurre cuando la señal y el enmascarador están presentes al mismo tiempo. Este tipo de enmascaramiento es el más estudiado y el que mejor se explica por la mecánica de la membrana basilar y la superposición de patrones de excitación. La forma en que la energía del enmascarador se propaga a lo largo de la cóclea determina qué frecuencias adyacentes serán elevadas en su umbral de detección.

Dentro del enmascaramiento simultáneo, existe una asimetría crucial conocida como el **efecto de propagación ascendente** (upward spread of masking). Este fenómeno describe que los sonidos de baja frecuencia son significativamente más efectivos para enmascarar sonidos de alta frecuencia que viceversa. Esto se debe a la naturaleza física del movimiento de la membrana basilar: un sonido de baja frecuencia excita una gran región de la membrana, incluyendo las áreas responsables de las frecuencias más altas, mientras que un sonido de alta frecuencia solo excita una región muy localizada y limitada. Esta asimetría tiene profundas implicaciones en la ingeniería de audio, ya que explica por qué los ruidos de fondo de baja frecuencia (como el tráfico o el zumbido) son tan perjudiciales para la inteligibilidad del habla.

El **enmascaramiento temporal**, en contraste, ocurre cuando la señal y el enmascarador no están presentes simultáneamente, sino que se encuentran separados por un breve intervalo de tiempo. Este se subdivide en dos fenómenos: el **enmascaramiento hacia adelante** (forward masking) y el **enmascaramiento hacia atrás** (backward masking). El enmascaramiento hacia adelante ocurre cuando la señal sigue al enmascarador, y el efecto persiste por un corto periodo (generalmente menos de 200 milisegundos) debido a la lenta recuperación o adaptación de las neuronas auditivas. El enmascaramiento hacia atrás, que es un fenómeno más contraintuitivo, ocurre cuando la señal precede al enmascarador. Aunque la señal llega primero, el procesamiento posterior por el sistema nervioso central puede ser interrumpido o "borrado" por la llegada del enmascarador intenso, con duraciones de efecto mucho más cortas, típicamente de 20 a 50 milisegundos.

3. Mecanismos Fisiológicos y Psicoacústicos

La comprensión del enmascaramiento requiere una inmersión en la fisiología del oído interno. El proceso comienza con la [mecánica coclear](#), donde la cóclea actúa como un analizador de espectro de alta resolución. Cada punto a lo largo de la membrana basilar está sintonizado a una frecuencia característica específica (CF), creando un mapa tonotópico. Cuando un sonido enmascarador de alta intensidad entra, genera una amplia excitación a lo largo de la membrana basilar. Si la señal débil intenta estimular una región que ya está siendo fuertemente excitada por el enmascarador, la respuesta neural generada por la señal simplemente no alcanza el umbral de

detección requerido para ser transmitida al cerebro.

El concepto de **banda crítica**, desarrollado por Harvey Fletcher en la década de 1940, es la piedra angular del modelado del enmascaramiento. Una banda crítica se define como el rango de frecuencias alrededor de una señal dentro del cual el ruido tiene el máximo efecto enmascarador. La teoría postula que el oído integra la potencia total del ruido que cae dentro de esta banda crítica, y solo cuando la potencia de la señal excede la potencia del ruido integrado dentro de esa misma banda, la señal se vuelve perceptible. Esta relación de potencia (relación señal-a-ruido) dentro de la banda crítica es lo que realmente determina el umbral enmascarado, independientemente de la potencia total del ruido fuera de ella.

A nivel neural, el enmascaramiento también implica fenómenos de **supresión lateral** y adaptación. La supresión lateral es un mecanismo que agudiza la sintonización de frecuencia al inhibir las neuronas adyacentes menos excitadas. Un enmascarador fuerte puede activar mecanismos inhibitorios que suprimen la respuesta de las neuronas que deberían estar respondiendo a la señal débil. Además, el enmascaramiento temporal se explica por la adaptación neural: la exposición prolongada o intensa al enmascarador provoca una fatiga o adaptación temporal de las sinapsis y las fibras nerviosas auditivas, lo que reduce su sensibilidad a la señal que llega inmediatamente después. Este complejo interplay entre la mecánica coclear y la neurofisiología central explica la alta variabilidad del enmascaramiento en diferentes contextos de frecuencia y tiempo.

4. Desarrollo Histórico y Modelos Psicoacústicos

El estudio formal del enmascaramiento se remonta a los primeros experimentos de acústica y percepción a finales del siglo XIX. Sin embargo, fue el trabajo pionero de Harvey Fletcher en los Laboratorios Bell durante las décadas de 1920 y 1940 lo que sentó las bases para el entendimiento moderno. Fletcher y sus colegas introdujeron la noción de la banda crítica y desarrollaron los primeros modelos cuantitativos que relacionaban la intensidad del enmascarador con el umbral de la señal. Sus hallazgos proporcionaron la primera evidencia sólida de que la cóclea no funciona como un solo receptor, sino como un banco de filtros paralelos.

Posteriormente, figuras como Eberhard Zwicker refinaron y expandieron el modelo de Fletcher en la década de 1960. Zwicker formalizó la medición de las bandas críticas y desarrolló el concepto de **tonalidad** (loudness), estableciendo curvas de enmascaramiento detalladas (o patrones de excitación) que mostraban cómo la energía de un enmascarador se distribuye a través del espectro de frecuencia perceptual. Estos modelos de Zwicker son la base de gran parte de la ingeniería de audio moderna y permitieron a los ingenieros predecir con precisión qué componentes de una señal de audio serían inaudibles en presencia de ruido.

El desarrollo más reciente se centra en los modelos de **codificación perceptual**. Estos modelos,

como el Modelo de Enmascaramiento MPEG, utilizan los principios psicoacústicos del enmascaramiento para determinar qué información espectral es redundante para la audición humana. El modelo calcula el umbral de enmascaramiento en cada banda crítica basándose en la energía del sonido más fuerte presente, y luego omite o codifica con menor precisión cualquier información de señal que caiga por debajo de ese umbral. Este enfoque ha sido fundamental para la creación de formatos de compresión de audio con pérdida, como el [MP3](#) y el AAC, logrando altas tasas de compresión sin una pérdida perceptible de calidad para el oyente promedio.

5. Características Psicoacústicas Clave

Dependencia de la Frecuencia: El efecto de enmascaramiento es máximo cuando el enmascarador y la señal tienen frecuencias muy cercanas, cayendo dentro de la misma banda crítica. A medida que la diferencia de frecuencia aumenta, la efectividad del enmascaramiento disminuye drásticamente.

Relación Nivel-a-Ruido: El umbral de la señal enmascarada se eleva en proporción directa al nivel de intensidad del enmascarador. Para que una señal sea audible, su intensidad debe superar el umbral de enmascaramiento por un margen mínimo, a menudo denominado **margen de audibilidad**.

Asimetría del Enmascaramiento: Existe una propagación más efectiva del enmascaramiento de frecuencias bajas a frecuencias altas (efecto de propagación ascendente) que de altas a bajas. Esto es un reflejo directo de la organización de la resonancia en la membrana basilar.

Efectos Temporales No Simultáneos: El enmascaramiento no requiere concurrencia total. Los efectos de enmascaramiento hacia adelante y hacia atrás demuestran que el sistema auditivo requiere un tiempo finito para recuperarse de la exposición a un sonido intenso o para procesar completamente una señal débil.

6. Importancia Teórica e Investigación

El estudio del enmascaramiento auditivo es crucial para la neurociencia y la audiolología, ya que proporciona una herramienta no invasiva para mapear las funciones de filtrado y resolución temporal del sistema auditivo. Las mediciones de las curvas de enmascaramiento permiten a los investigadores inferir la anchura y la forma de los "filtros auditivos" internos, que son indicadores clave de la salud coclear. Por ejemplo, en individuos con pérdida auditiva neurosensorial, las bandas críticas a menudo se ensanchan, lo que resulta en una mayor susceptibilidad al enmascaramiento y una reducción significativa en la capacidad de discriminar sonidos complejos, como el habla en entornos ruidosos.

Teóricamente, el enmascaramiento es el pilar sobre el cual se construyen los modelos de

percepción de la sonoridad y la inteligibilidad del habla. Al entender cómo y cuándo un sonido se vuelve inaudible, los científicos pueden desarrollar modelos predictivos que evalúan la calidad de la experiencia auditiva humana en diversas condiciones acústicas. Esto ha llevado al desarrollo del **Índice de Articulación** (AI) y el **Índice de Inteligibilidad del Habla** (SII), métricas que utilizan los principios de enmascaramiento para cuantificar la proporción del habla que es audible y comprensible para un oyente.

Además, la investigación en enmascaramiento temporal ha arrojado luz sobre los mecanismos de integración neural y la cronometría del procesamiento auditivo. El estudio del enmascaramiento hacia atrás, en particular, desafía la noción de un procesamiento estrictamente lineal y sugiere que el cerebro puede revisar o reinterpretar información sensorial que llegó momentos antes, un proceso que involucra estructuras centrales superiores y que tiene implicaciones para la comprensión de la conciencia y la atención auditiva.

7. Aplicaciones Prácticas

La aplicación más difundida y económicamente significativa del enmascaramiento auditivo se encuentra en la **compresión de audio perceptual**. Algoritmos como MP3, AAC y Ogg Vorbis dependen enteramente de modelos de enmascaramiento para lograr una reducción de datos de hasta diez veces sin una pérdida perceptible de calidad. Estos codificadores identifican activamente los componentes espectrales de una señal que caerían por debajo del umbral de enmascaramiento y los descartan o codifican con una precisión de bits muy baja, eliminando la redundancia psicoacústica. Esto ha revolucionado la distribución de música y contenido multimedia en la era digital.

En el campo de la audiología, el enmascaramiento es una técnica diagnóstica esencial. Durante la **audiometría**, es a menudo necesario enmascarar el oído no examinado (oído no-prueba) para evitar que detecte el sonido destinado al oído bajo prueba, especialmente cuando hay una gran diferencia en el umbral de audición entre los oídos. El enmascaramiento adecuado asegura que los resultados obtenidos reflejen la verdadera capacidad auditiva del oído específico que se está evaluando, previniendo diagnósticos erróneos y garantizando la calibración correcta de los audífonos.

Otras aplicaciones incluyen la **reducción de ruido y el diseño de entornos acústicos**. En el diseño de sistemas de comunicación y cabinas de aeronaves, por ejemplo, el conocimiento de las curvas de enmascaramiento permite a los ingenieros elegir ruidos de fondo (ruido blanco o rosa) que enmascaren de manera efectiva los ruidos molestos de banda estrecha, mejorando así la comodidad y la inteligibilidad del habla. Además, en el diseño de audífonos y dispositivos de implante coclear, los algoritmos se ajustan para minimizar el enmascaramiento interno y maximizar la separación de frecuencia, especialmente en situaciones de ruido competitivo.

8. Limitaciones y Desafíos

A pesar de su utilidad, los modelos de enmascaramiento presentan limitaciones, especialmente en escenarios acústicos complejos. La mayoría de los modelos clásicos (como el modelo de Zwicker) se basan en la medición de tonos puros o ruido de banda estrecha, y su precisión disminuye al predecir el enmascaramiento de sonidos complejos y dinámicos, como la música o el habla. El **enmascaramiento del habla** es particularmente desafiante, ya que involucra no solo la energía espectral sino también la información temporal y contextual, un fenómeno a menudo denominado "enmascaramiento informativo" que va más allá de la simple superposición energética.

Otro desafío importante reside en la variabilidad interindividual y las patologías auditivas. Los modelos psicoacústicos están calibrados para el oído normoyente promedio. Sin embargo, en personas con [pérdida auditiva neurosensorial](#), la reducción de la compresión coclear y el ensanchamiento de las bandas críticas alteran fundamentalmente las curvas de enmascaramiento. Los modelos estándar subestiman el umbral de enmascaramiento en estos pacientes, lo que conduce a problemas en el diseño de audífonos que intentan aplicar técnicas de reducción de ruido basadas en enmascaramiento.

Finalmente, el fenómeno del **enmascaramiento central** sigue siendo un área activa de investigación y debate. Aunque se reconoce que el cerebro puede contribuir al enmascaramiento, los mecanismos exactos a nivel de los núcleos cocleares, el colículo inferior y la corteza auditiva no están completamente dilucidados. El desarrollo de modelos que integren de manera efectiva los procesos periféricos (cocleares) y centrales (neurales) es el principal objetivo de la investigación contemporánea en psicoacústica.

Lecturas Adicionales

[Enmascaramiento auditivo \(Wikipedia\)](#)

[Psicoacústica \(Wikipedia\)](#)

[Membrana basilar \(Wikipedia\)](#)

[Banda crítica \(Wikipedia\)](#)

[MPEG-1 Audio Layer III \(MP3\) \(Wikipedia\)](#)