

Práctica 3 – Procesado de potenciales evocados auditivos sintetizados

Procesamiento de Señales Biomédicas

Universidad de Granada

Joaquín T. Valderrama*

Curso 2024–2025

Resumen de la práctica y consideraciones

Esta práctica consiste en la implementación de técnicas básicas de procesado de electroencefalograma (EEG) para estimar un potencial evocado auditivo del tronco cerebral (ABR, por sus siglas en inglés *auditory brainstem response*) en un entorno simulado.

A partir de un ABR de referencia, deberás (1) sintetizar un EEG artificial, (2) añadir ruido a una determinada relación señal-ruido (SNR, por sus siglas en inglés *signal-to-noise ratio*), (3) aplicar un filtrado digital apropiado para la señal de interés, (4) promediar los segmentos del EEG que contienen la respuesta, (5) evaluar la calidad del ABR estimado, y (6) caracterizar la calidad del ABR en función del número de respuestas promediadas.

Aprender el procesamiento básico de potenciales evocados auditivos en un entorno simulado (donde todos los parámetros son conocidos) proporcionará el conocimiento, la destreza y el control necesarios para procesar adecuadamente potenciales evocados auditivos reales en la siguiente práctica.

Objetivos de aprendizaje

- Caracterizar una señal en los dominios del tiempo y la frecuencia.
- Sintetizar un EEG a partir de un modelo de potencial evocado.
- Evaluar la calidad de una señal (sea un EEG o un potencial evocado) en términos de su SNR.
- Diseñar y aplicar un filtro digital.
- Aprender y afianzar técnicas avanzadas de representación de figuras, como por ejemplo:
 - Presentar un texto predefinido en una posición de la figura.
 - Aprovechar espacios como el título o la leyenda para presentar información relevante.
 - Fijar el tamaño del paso en cada eje, así como el tamaño de letra.
 - Definir el rango de los ejes de representación.

*Email: jvalderrama@ugr.es — [Página web](#)

Criterios de corrección

La Tabla 1 presenta la puntuación de cada sección. En términos generales, una sección correctamente resuelta y descrita en la memoria de forma clara puntuará el 100 % de la calificación máxima; una sección con algún error menor pero con una descripción clara puntuará con el 75 %; errores menores con descripciones insuficientes puntuarán con el 50 %; y errores significativos o descripciones confusas ponderarán por debajo del 50 %.

Sección	Puntuación máxima
1. Representación de un ABR de referencia	1 punto
2. Sintetización de un EEG sin ruido	2 puntos
3. Añadir ruido a una determinada SNR	2 puntos
4. Filtrado digital del EEG	1 punto
5. Estimación del ABR y evaluación de la calidad	2 puntos
6. Evolución de la calidad respecto al número de promedios	2 puntos

Tabla 1: Puntuación de cada sección.

Estructurad cada sección (1) haciendo un repaso de lo que se pide en la actividad, (2) describiendo lo que habéis hecho, y (3) describiendo en detalle figuras y tablas. Finalmente, como apéndice al final de todas las secciones, incluid el código de MATLAB utilizado.

Formato de figuras

El presente guión de la práctica proporciona una serie de figuras con la doble intención de (1) describir las actividades con claridad y (2) proporcionar una referencia del formato y contenido de las figuras que deben generarse en cada sección. Seguid estas recomendaciones generales para la generación de figuras.

- **box on** añade un recuadro exterior a la gráfica y **grid on** inserta una rejilla de referencia en los ejes.
- Utiliza el comando **axis** para definir los límites de los dos ejes, **xlim** para el eje x , y **ylim** para el eje y .
- Utiliza un tamaño de fuente de 14 para el título y las etiquetas de los ejes; y un tamaño de letra de 12 para los valores de los ejes.
- Los valores de los ejes pueden definirse mediante la propiedad **xtick** en '**current-axis (gca)**' de este modo: '**set(gca,'xtick',0:2:15,'FontSize',12)**'. Este comando indica que el eje x vaya desde 0 hasta 15 en pasos de 2, utilizando un tamaño de letra de 12 puntos.
- Utiliza el comando **gtext** para insertar texto en una posición de la figura definida mediante un clic de ratón.
- Utiliza tipografía **L^AT_EX** en las descripciones de los ejes para insertar letras griegas, como por ejemplo '**xlabel('Amplitud (\mu V)')**'.
- Utiliza el comando **sprintf** para generar cadenas de texto apropiadas para insertar en el título de una figura que incluyan información relevante, por ejemplo '**title(sprintf('El valor es %1.2f dB',valor))**'.
- Presenta el módulo de las Transformadas de Fourier en escala logarítmica mediante '**20*log10(abs(fft(señal)))**'.
- Para presentar el eje de tiempos en milisegundos, genera un vector de tiempos en segundos y multiplícalo por 1000.
- Genera un archivo PNG en cada figura utilizando una resolución de 300 puntos por pulgada.
- Inserta en la memoria las figuras de alta resolución generadas en MATLAB.

1. Representación de un ABR de referencia

El primer paso en este ejercicio de simulación será caracterizar en los dominios del tiempo y la frecuencia la señal ABR que utilizaremos como modelo de potencial evocado. Para esto, sigue los siguientes pasos.

- Carga el archivo ‘ABR_Template.mat’ en la variable ‘ABR_Template’, y a partir de esta variable (que es de tipo *struct*), almacena el ABR de referencia y la frecuencia de muestreo en las variables ‘ABR’ y ‘ f_s ’.
- Define un eje de tiempo con escala de milisegundos, apropiado para representar el ABR de referencia.
- Define un eje de frecuencia para representar adecuadamente la Transformada de Fourier del ABR de referencia.
- Representa el ABR en los dominios del tiempo y la frecuencia conforme al formato de la figura 1. Nótese que el eje de ordenadas en la representación en frecuencia está en escala logarítmica.
- Utiliza el comando `axis` para definir los límites de los dos ejes conforme a las figuras de referencia.
- Puedes incorporar texto en una posición determinada de la figura mediante el comando `gtext` y haciendo clic con el botón izquierdo del ratón en la posición de la figura donde desees insertar el texto. En caso de que el texto no quede exactamente en la posición que desees, puedes (1) pulsar en el icono ‘flecha’ (editar figura), (2) seleccionar el cuadro de texto que desees mover, y (3) mover el cuadro de texto a la posición deseada.
- Describe en la memoria las características de esta señal en términos del tiempo y la frecuencia.

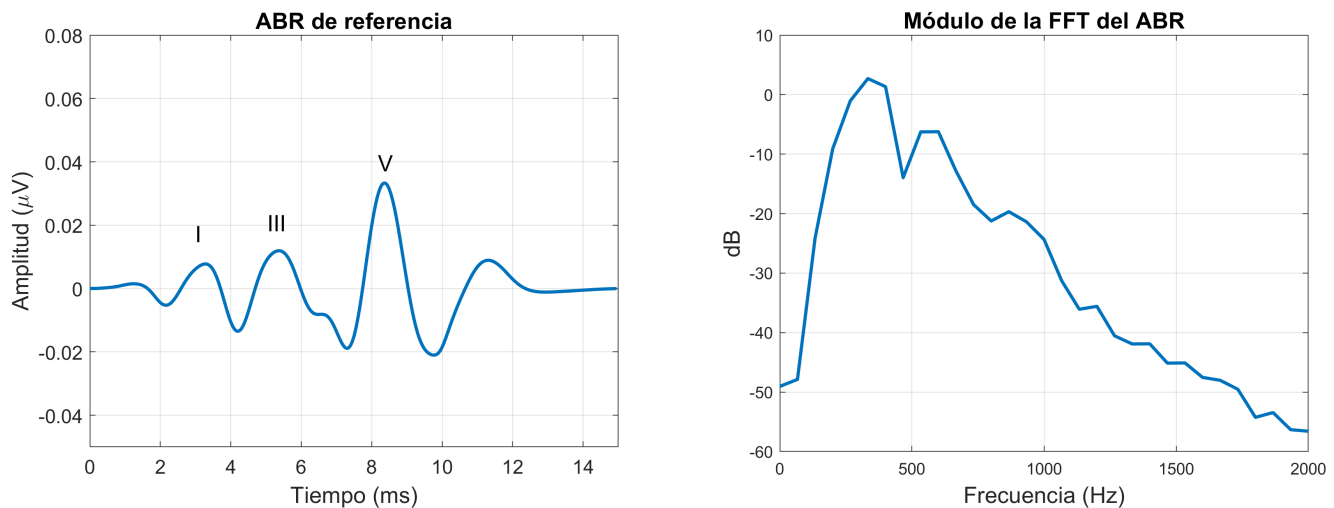


Figura 1: Representación del ABR de referencia en los dominios del tiempo (izquierda) y frecuencia (derecha).

2. Sintetización de un EEG sin ruido

El siguiente paso será la sintetización de un EEG que contendrá exclusivamente las respuestas evocadas sin ningún tipo de ruido. Recrearemos el escenario en el que se presentan a un sujeto de exploración un número determinado de estímulos auditivos con un intervalo entre-estímulos (ISI, por sus siglas en inglés *inter-stimulus interval*) que varíe de manera uniforme entre 18 y 26 ms. El EEG sintetizado contendrá exclusivamente las respuestas evocados por dichos estímulos, asumiendo que cada estímulo evoca respuestas con la misma morfología.

- Define el número de estímulos (o de manera equivalente, el número de respuestas evocadas) de la simulación en la variable 'N'. Puedes realizar una primera simulación con 'N=5000' estímulos, y posteriormente cambiar el valor de esta variable para comprender y visualizar el efecto que tiene el número de estímulos promediados en la calidad de la respuesta estimada.
- Determina el número de muestras que corresponden con los límites de la distribución de ISIs, es decir, con 18 y 26 ms.
- Utiliza el comando `randi` para definir el ISI de cada estímulo (en muestras). El resultado de este paso será una distribución uniforme de probabilidad del número de estímulos definido en el primer paso de esta sección, cuyos límites sean el número de muestras correspondientes a 18 y 26 ms (definidos en el paso anterior).
- Representa el histograma de la distribución generada para verificar que es correcta, conforme a la figura 2 (izquierda).
- A partir de la distribución de ISIs, obtén las posiciones (en muestras) en las que se presentan los estímulos, correspondientes con el inicio de cada respuesta evocada. Para esto, puedes utilizar el comando `cumsum`.
- Una vez dispongas de estas posiciones, genera un vector de ceros de longitud igual al último elemento del vector de posiciones, y atribuye el valor de 1 (una delta de dirac) en las posiciones donde se presentan los estímulos.
- Con el vector de deltas de dirac situadas en las posiciones donde ocurren estímulos, puedes sintetizar un EEG sin ruido directamente convolucionando el vector de deltas con la señal ABR de referencia. Para esto, utiliza el comando `conv`.
- Representa los primeros 200 ms del EEG sintetizado, conforme a la figura 2 (derecha).
- Describe en la memoria los pasos seguidos para sintetizar un EEG, así como las figuras generadas.

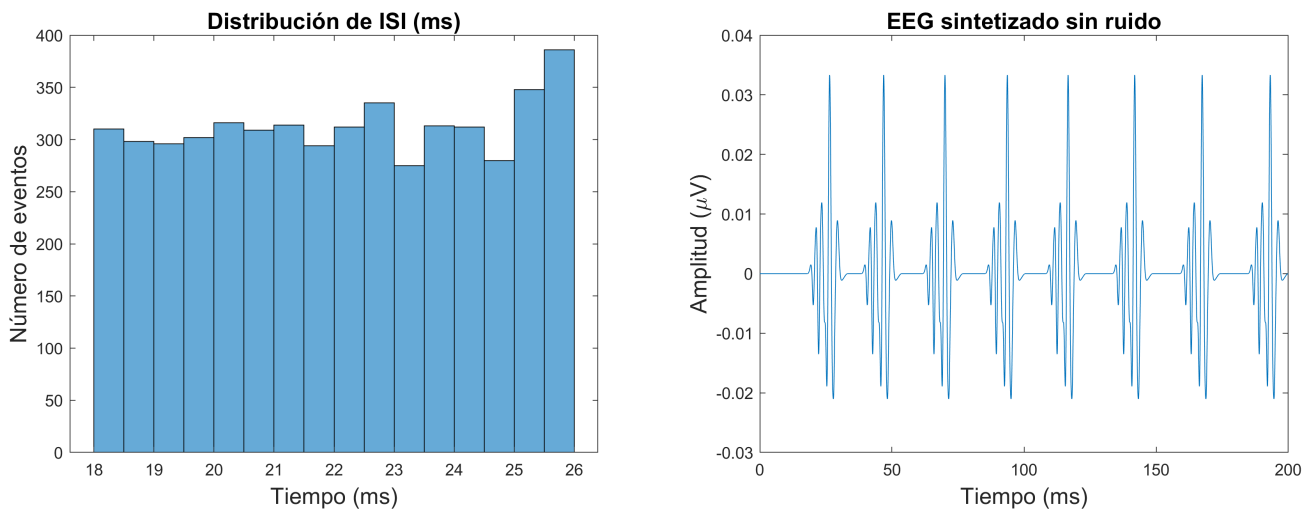


Figura 2: (Izquierda) Distribución de ISIs (ms). (Derecha) Segmento del EEG sintetizado sin ruido.

3. Añadir ruido a una determinada SNR

En esta sección, añadiremos ruido blanco gaussiano (con espectro plano) al EEG sintetizado a una determinada SNR.

- Inicializa la variable ‘SNR’ a -40 dB, un valor típico en el registro de señales ABR en unas condiciones relativamente ruidosas.
- Genera un vector de ruido blanco gaussiano de la misma longitud que el EEG sintetizado. Para esto, utiliza el comando `randn`.
- Normaliza la energía del del vector de ruido, dividiendo el vector por su desviación estándar. De esta manera, la desviación estándar del vector de ruido será 1 (compruébalo).
- Calibra la amplitud del vector de ruido normalizado para que esté a la SNR definida en el primer paso de esta sección con respecto al EEG sintetizado.
- Verifica la calibración realizada confirmando que el cálculo $20 * \log_{10}(\frac{\text{std}(EEG)}{\text{std}(Noise)})$ coincide con la SNR definida inicialmente.
- Genera un EEG con ruido sumando el EEG sin ruido con el segmento de ruido calibrado.
- Representa el primer segmento de 200 ms del EEG sintetizado con ruido, incluyendo en el título de la figura el cálculo de la SNR que has utilizado en la verificación.

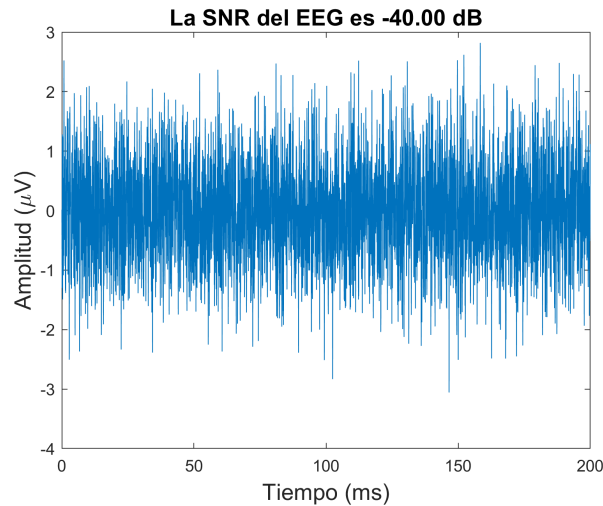


Figura 3: Segmento del EEG sintetizado con ruido.

4. Filtrado digital del EEG

En esta sección diseñaremos y aplicaremos un filtro Butterworth digital al EEG sintetizado con ruido.

- Considerando las características espectrales del ABR de referencia estimadas en la sección 1, define el ancho de banda en el que la señal de interés contiene la mayor parte de su energía. Para esto, puedes considerar un rango dinámico de unos 30 dB.
- Utiliza el comando `butter` para obtener los coeficientes de un filtro Butterworth paso banda de segundo orden con frecuencias de corte superior e inferior correspondientes con el ancho de banda definido en el paso anterior.
- Filtra el EEG sintetizado con ruido con el filtro digital diseñado utilizando el comando `filtfilt` para compensar el retardo introducido por el filtro.

- Representa el módulo del espectro en escala logarítmica del EEG sintetizado con ruido y el EEG filtrado, conforme a la figura 4.

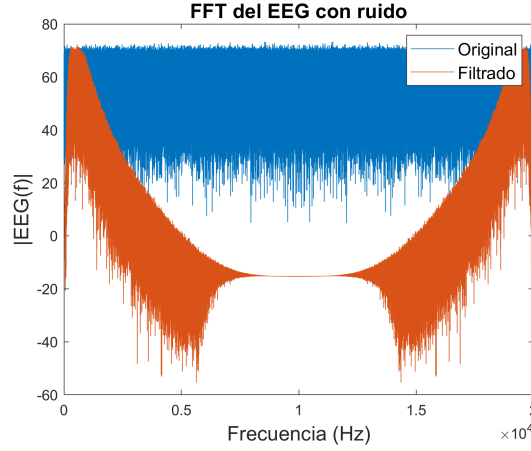


Figura 4: Espectro del EEG sintetizado antes y después de filtrar.

5. Estimación del ABR y evaluación de la calidad

Aquí realizaremos el promediado de los segmentos del EEG filtrado que contentan nuestra señal de interés para obtener una estimación del potencial evocado. Además, puesto que en este ejercicio de simulación tenemos acceso a la señal original sin ruido (el ABR de referencia), podemos calcular la calidad de la respuesta evocada estimada en términos de la SNR.

- Obtén una estimación del potencial evocado ABR promediando los segmentos del EEG filtrado que contienen la señal de interés.
- Estima la calidad del ABR estimado en términos de SNR, considerando el ABR de referencia como la señal sin ruido. Para el cálculo de la SNR, reflexiona sobre qué señales corresponden a tus modelos *signal* y *noise* en la ecuación $SNR = 20 * \log_{10}(\frac{signal}{noise})$.

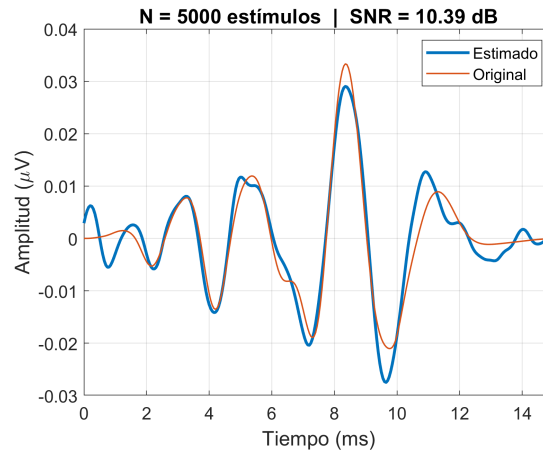


Figura 5: Comparación del ABR original y estimado.

6. Evolución de la calidad con respecto al número de promedios

El objetivo de esta sección es visualizar y cuantificar el efecto del número de respuestas promediadas en la calidad del potencial estimado. Para esto, modificaremos el número de estímulos utilizados en la simulación inicializando la variable N con diferentes valores, y mediremos la calidad del potencial evocado estimado.

- Realiza la simulación completa para el siguiente número de promedios: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12.800, y 25.600. Representa las señales ABR obtenidas en cada escenario.
- Representa la calidad del potencial estimado en términos de SNR en función del número de promedios. Utiliza el comando `set(gca,'xscale','log')` para representar el eje de abscisa en escala logarítmica.
- Realiza varias medidas en cada escenario (por ejemplo, 5 medidas por escenario) para obtener una estimación más robusta de la calidad. Refleja las medidas individuales y la media en una tabla.
- Discute en la memoria el efecto del número de promedios en la calidad de la respuesta y en términos del tiempo necesario de registro.

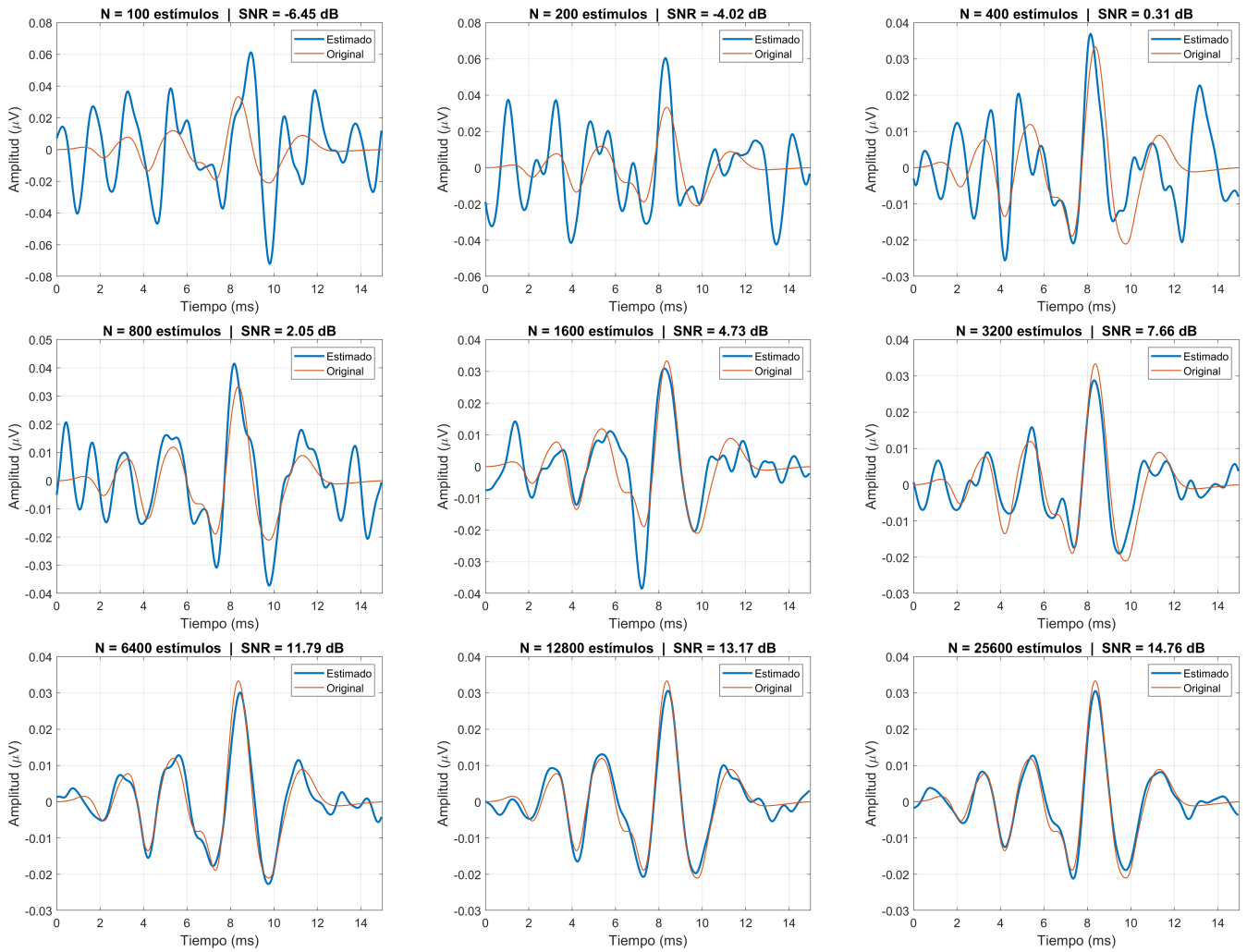


Figura 6: Señales ABR estimadas en un número diferente de promedios.

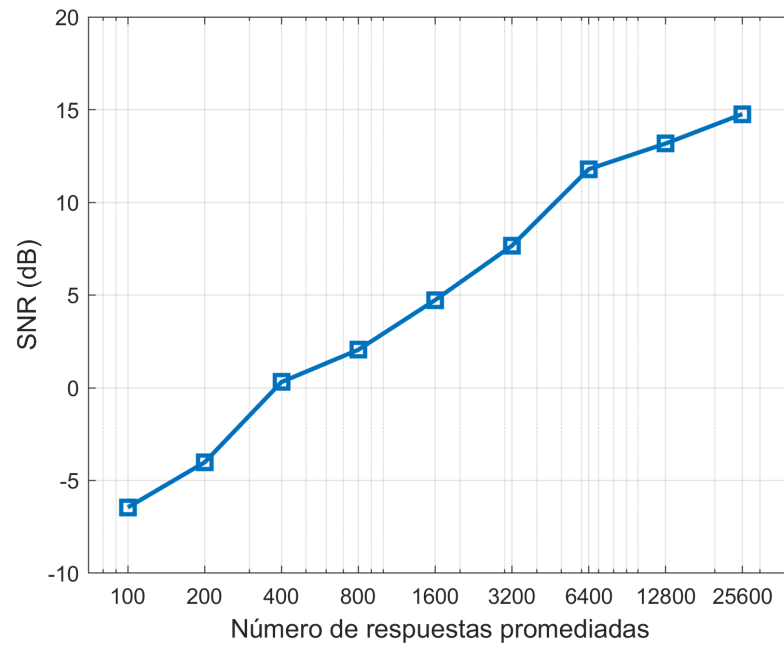


Figura 7: Evolución de la calidad del ABR estimado en función del número de promedios. Esta figura presenta las estimaciones de SNR individuales obtenidas en la figura 6. En la memoria, realizad varias medidas por escenario y representad el valor promedio. Esto dará como resultado una tendencia con menor fluctuación.