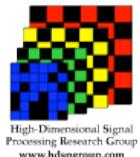


Manual de Usuario

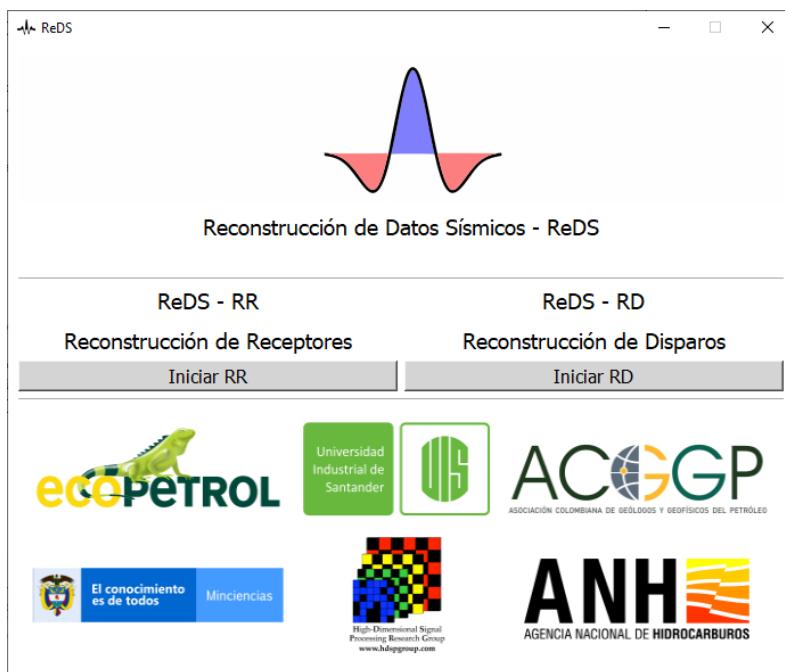
Reconstrucción de Datos Sísmicos ReDs

Version 2022.10



Emmanuel Martínez
Crisóstomo A. Barajas-Solano

13 de diciembre de 2022



Resumen

La herramienta software Reconstrucción de Datos Sísmicos – ReDs hace parte del proyecto 9836 – “Nuevas tecnologías computacionales para el diseño de sistemas de adquisición sísmica 3D terrestre con muestreo compresivo para la reducción de costos económicos e impactos ambientales en la exploración de hidrocarburos en cuencas terrestres colombianas”.

El proyecto 9836 está adscrito a la Convocatoria para la financiación de proyectos de investigación en geociencias para el sector de hidrocarburos, desarrollado por la alianza Universidad Industrial de Santander (UIS), ECOPETROL y la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (ACGGP).

Este proyecto es financiado por MINCIENCIAS y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Los derechos y licencias de uso sobre esta aplicación software están reservados a las entidades aportantes.

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Visión General de la Aplicación ReDs | 7 |
| 2. Módulo ReDs – Reconstrucción de Receptores (RR) | 9 |
| 2.1. Modo Sencillo | 9 |
| 2.1.1. Lectura de Datos | 10 |
| 2.1.2. Algoritmos | 11 |
| 2.1.3. Submuestreo | 11 |
| 2.1.4. Experimentos | 13 |
| 2.1.5. Visualización de Resultados de Datos Completos | 14 |
| 2.1.6. Visualización de Resultados de Datos Incompletos | 17 |
| 2.2. Modo Ajuste de parámetros | 19 |
| 2.2.1. Configuraciones | 20 |
| 2.2.2. Ajuste de Parámetros de Datos Incompletos | 22 |
| 2.3. Modo Comparación de Algoritmos | 22 |
| 2.3.1. Configuraciones | 24 |
| 2.3.2. Comparación de Algoritmos de Datos Incompletos | 26 |
| 2.4. Visualización general de Resultados | 27 |
| 2.4.1. Menú principal | 27 |
| 2.4.2. Menú de ajuste de parámetros | 28 |
| 2.4.3. Menú de comparación de algoritmos | 30 |
| 3. Módulo ReDs – Reconstrucción de Disparos (RD) | 33 |
| 3.1. Lectura de Datos | 33 |
| 3.2. Algoritmos | 34 |
| 3.3. Submuestreo | 34 |
| 3.4. Experimentos | 36 |
| 3.5. Visualización de Resultados de Datos Completos | 37 |
| 3.6. Visualización de Resultados de Datos Incompletos | 40 |
| 4. Acerca de | 43 |
| 5. Recomendaciones de uso | 45 |

1. Visión General de la Aplicación ReDs

Esta aplicación Reconstrucción de Datos Sísmicos (ReDs) permite la reconstrucción de receptores y disparos sísmicos. Para esto, la aplicación ReDs dispone de dos modos de operación:

- ① Reconstrucción de Receptores (ReDs - RR)
- ② Reconstrucción de Disparos (ReDs - RD)

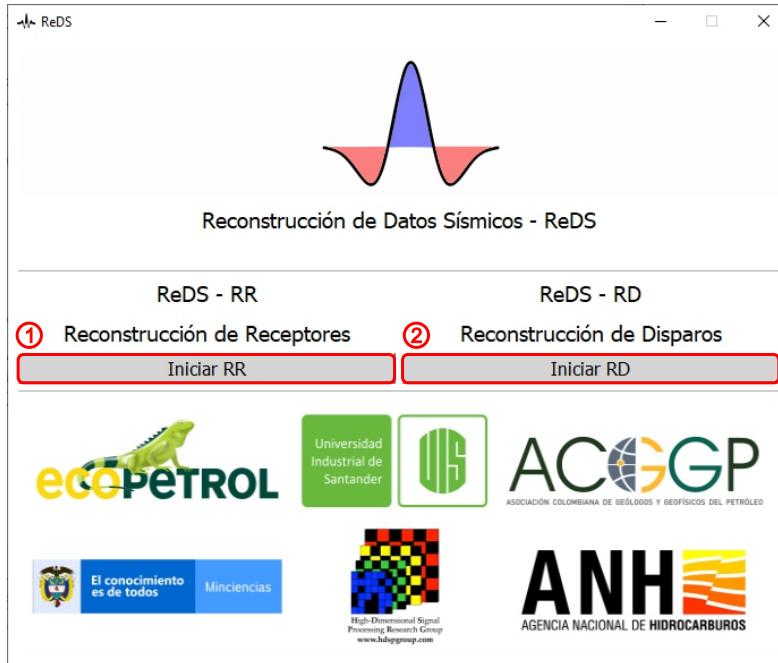


Figura 1: Secciones de la pantalla de inicio de ReDs.

Ambos modos de operación, RR y RD, realizan la reconstrucción de datos sísmicos usando 4 algoritmos numéricos diferentes:

- FISTA (Fast Iterative Shrinkage-Thresholding Algorithm): permite resolver problemas inversos lineales mediante un algoritmo iterativo rápido
- GAP (Generalized Alternating Projection): resuelve el problema de seguimiento de base grupal, que extiende el seguimiento de base reemplazando la norma ℓ_1 por una norma ponderada $\ell_{2,1}$.
- TwIST (Two-step Iterative Shrinkage/Thresholding): basado en el algoritmo ISTA, permite la resolución de problemas inversos
- ADMM (Alternating Direction Method of Multipliers): resuelve problemas de optimización convexos dividiéndolos en partes más pequeñas.

El usuario puede configurar cada uno de los algoritmos de reconstrucción de tal manera que pueda realizar diferentes tipos de submuestreo y ajuste de parámetros, todo desde una interfaz gráfica de usuario simple y clara. Aunque los modos de reconstrucción RR y RD presentan diferencias en su operación, están diseñados bajo las mismas directivas. Por esta razón, ambas interfaces gráficas cuentan con varias secciones en común.

2. Módulo ReDs - Reconstrucción de Receptores (RR)

El módulo ReDS-RR (reconstrucción de receptores) realiza la estimación de trazas faltantes en un disparo sísmico, usando algoritmos de gradiente descendiente y aprovechando representaciones escasas de los datos en dominios transformados como Curvelet, DCT y Wavelets.

A continuación se mostrará de forma específica los modos de uso del módulo ReDs - RR, las diferentes configuraciones y opciones que pueden ser aplicadas a los datos sísmicos para la realización de diferentes tipos de experimentos. Cabe resaltar que de acuerdo al tipo de prueba que se quiera realizar, el comportamiento de los paneles cambiará para adecuarse a dicha tarea.

2.1. Modo Sencillo

La aplicación ReDs - RR cuenta con una barra de tareas en la parte superior de la ventana. Aquí se observan 3 botones distintos que permitirán realizar distintos tipos de pruebas sobre los datos sísmicos.

Como se observa en la figura 2, el primer botón habilitará el Modo Sencillo para realizar pruebas generales sobre los datos sísmicos.

La figura 3 presenta las 7 secciones de la interfaz general del Modo Sencillo de ReDs - RR, a mencionar:

- ① Barra del menú
- ② Lector de datos
- ③ Panel de algoritmos
- ④ Panel de submuestreo
- ⑤ Menú de experimentos
- ⑥ Menú de cambio de vista
- ⑦ Menú de visualización



Figura 2: Botón del menú principal.

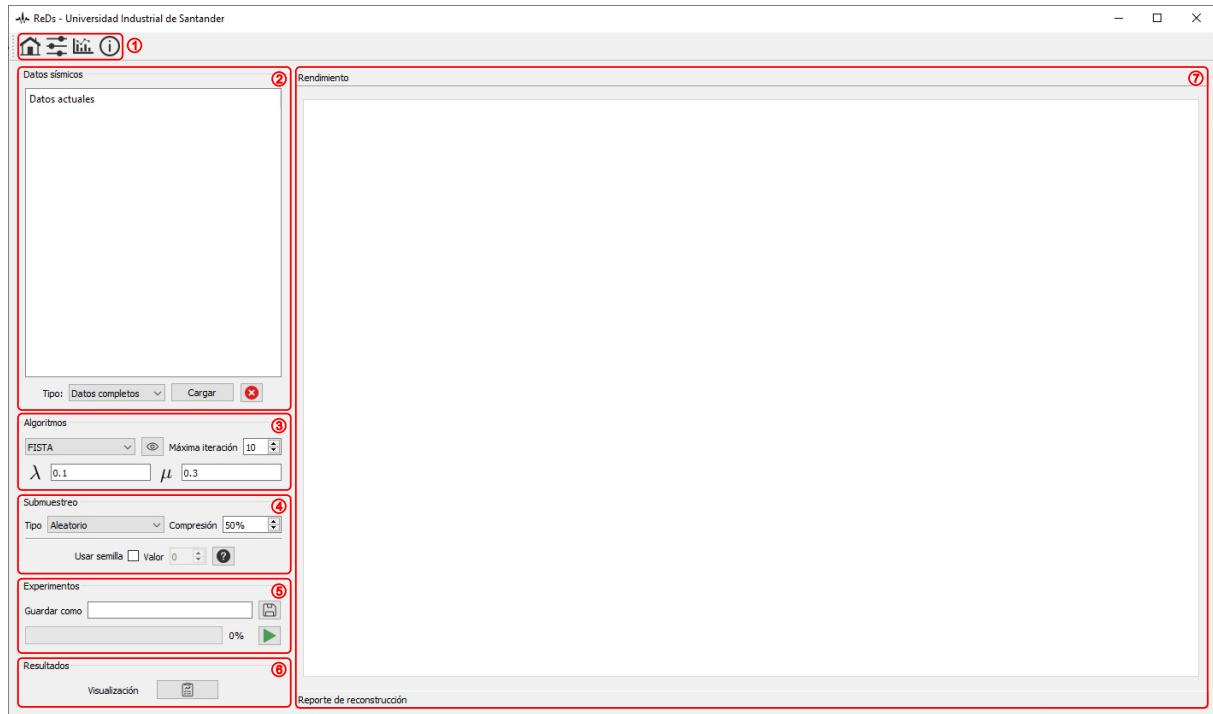


Figura 3: Secciones de la interfaz general del modo Reds - RR.

El menú principal permite realizar experimentos con los datos sísmicos siguiendo el orden que se observa en la figura 3. A continuación se muestra paso a paso el funcionamiento de cada uno los paneles, desde la lectura de datos sísmicos hasta la visualización y guardado de resultados.

2.1.1. Lectura de Datos

El panel de lectura de datos (2), situado al extremo izquierdo superior en la figura 3, muestra los nombres de los datos sísmicos que el usuario haya cargado en la aplicación para realizar diversas pruebas.

Leyendo un dato sísmico

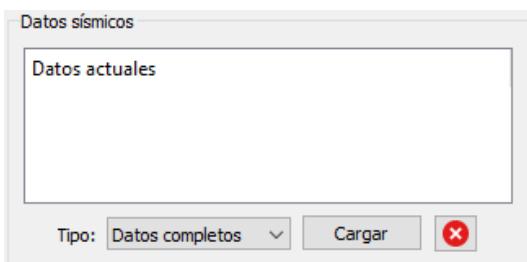


Figura 4: Cargando un dato sísmico.

Para leer un dato sísmico, se pulsa la opción *Cargar* en el panel (2), como se observa en la figura 4. Inmediatamente se abrirá la ventana *Abrir dato sísmico*, como se observa en la figura 5, donde el usuario podrá seleccionar un dato sísmico. Para este ejemplo cargaremos *data.npy*. La aplicación ReDs reconoce las extensiones *.npy* y *.mat* para cargar datos sísmicos.

Existen dos tipos de datos sísmicos que pueden ser cargados desde ReDs - RR: *Datos Completos* y *Datos Incompletos*. El tipo de dato a ser cargado puede ser seleccionado desde la lista desplegable en la Figura 4.

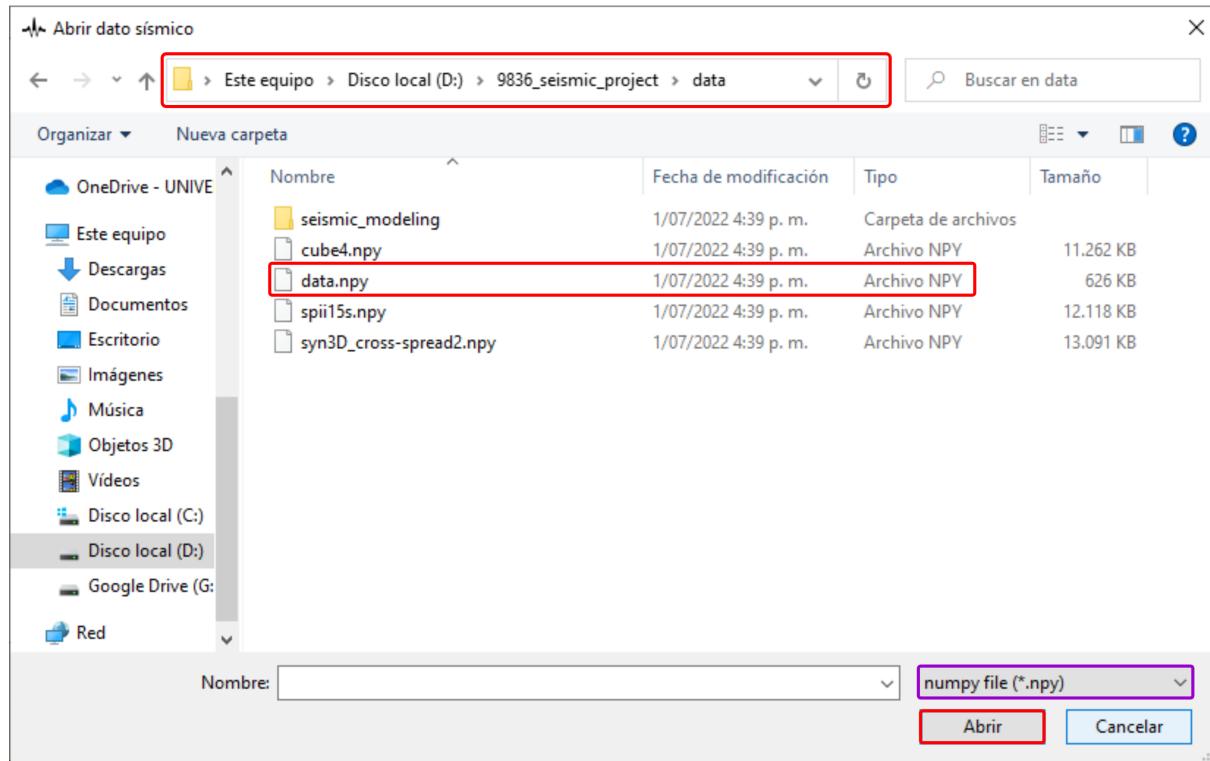


Figura 5: Ventana de selección de dato sísmico.

Una vez seleccionado el dato sísmico, se debe pulsar en la opción *Abrir*. Se podrá observar entonces en ② el dato sísmico cargado, como se muestra en la figura 6. Aquí los datos se observan siguiendo la siguiente estructura:

① representa al directorio padre y ② es el dato sísmico cargado hijo del directorio padre.

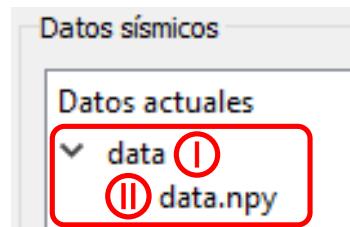


Figura 6: Panel con un dato sísmico cargado.

2.1.2. Algoritmos

Los algoritmos disponibles en la aplicación son *FISTA*, *GAP*, *TwIST* y *ADMM*, tal como se observa en el panel ③, en el extremo izquierdo de la figura 3. En este panel se pueden observar las opciones de configuración de parámetros según el algoritmo seleccionado, incluyendo la cantidad máxima de iteraciones a realizar.

Adicionalmente, el botón ④ permite visualizar los diferentes algoritmos con sus correspondientes parámetros, como se observa en la figura 7. Cada uno de los algoritmos disponibles cuenta con una colección propia de parámetros, los cuales el pueden ser configurados por el usuario según lo deseé.

2.1.3. Submuestreo

Debido a que hay varias formas de recuperar una traza a partir de las medidas recolectadas previamente, el panel de submuestreo ④ permite configurar cuál tipo de submuestreo se desea realizar al dato sísmico, a manera de simulación. Todos los tipos de submuestreo, ex-

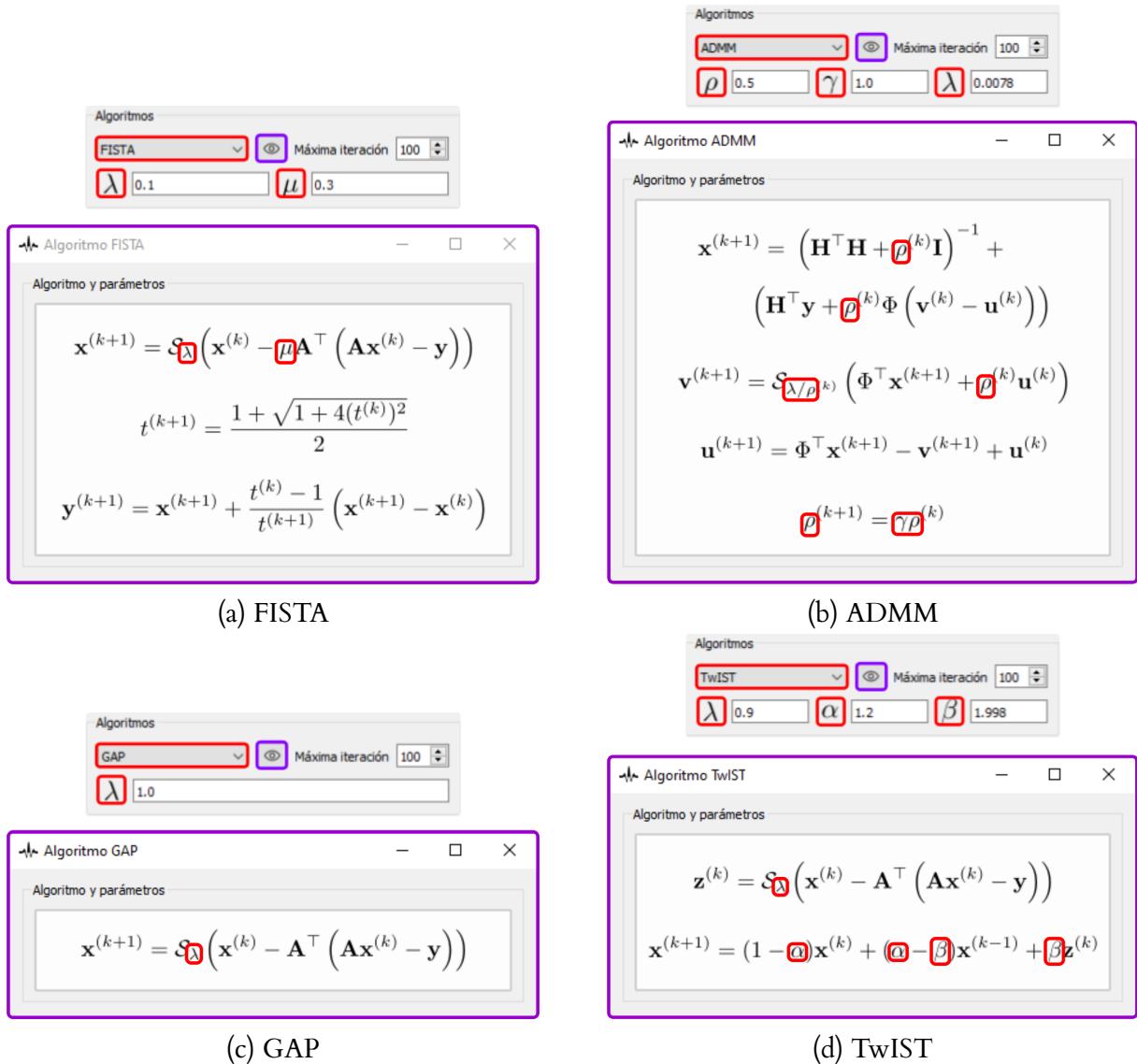


Figura 7: Algoritmos disponibles y sus respectivos parámetros.

cepto el de tipo lista, comparten el mismo nivel de compresión que el usuario desee asignar. Por otra parte, al cargar datos incompletos el panel de submuestreo se deshabilita.

A continuación se presentan los tipos de submuestreo a aplicar en ReDs:

Submuestreo Aleatorio

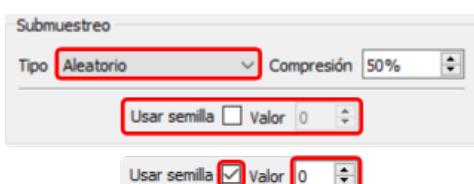


Figura 8: Submuestreo aleatorio.

Submuestreo Uniforme

Aplica un submuestreo aleatorio a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión. Al habilitar la semilla, se puede establecer el mismo submuestreo para todas las veces que se ejecute un experimento, como se observa en la figura 8.

Aplica un submuestreo uniforme a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión, como se observa en la figura 9.

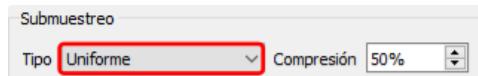


Figura 9: Submuestreo uniforme.

Submuestreo Jitter



Figura 10: Submuestreo jitter.

Aplica un submuestreo aleatorio o uniforme de acuerdo a la cantidad de bloques ingresados por el usuario a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión, como se observa en la figura 10.

Submuestreo Lista

Aplica un submuestreo de tipo lista donde las trazas a remover son ingresados por el usuario, como se observa en la figura 11. Para este tipo de submuestreo es necesario validar que el usuario ingrese los datos con un formato lógico y específico.

Las condiciones son las siguientes:

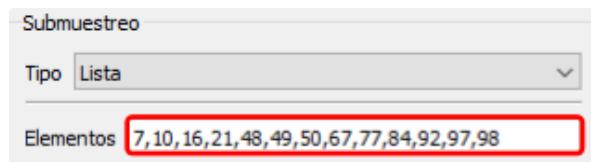


Figura 12: Ejemplo de submuestreo de tipo lista.

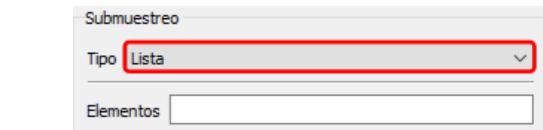


Figura 11: Submuestreo de tipo lista.

- La secuencia debe ser x_1, x_2, x_n , tal que $x_i \in \mathbb{Z}^+$ representa los índices de las trazas a resolver, donde entre cada x_i no deben haber espacios y estar separados por números, como se observa en la figura 12.
- Cada x_i debe cumplir $0 \leq x_i \leq N$, donde N es la cantidad máxima líneas de receptores que contiene un *shot*.
- Deben haber mínimo siete x_i distintos.

2.1.4. Experimentos

Una vez ya se ha cargado un dato sísmico, seleccionado el algoritmo, ajustado sus parámetros y configurado el tipo de submuestreo, entonces se podrá realizar un experimento. El panel ⑤, en el extremo izquierdo de la figura 3, permite controlar el progreso de la ejecución del experimento a realizar.

Realizando un experimento

Para iniciar un nuevo experimento se debe pulsar el botón  que se observa en la figura 13. Aquí el usuario seleccionará el directorio donde desee que los resultados de su experimento sean guardados, como se observa en la figura 14.

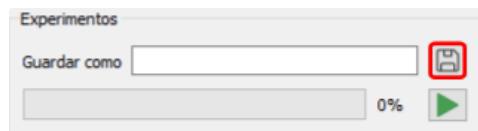


Figura 13: Panel de experimentos.

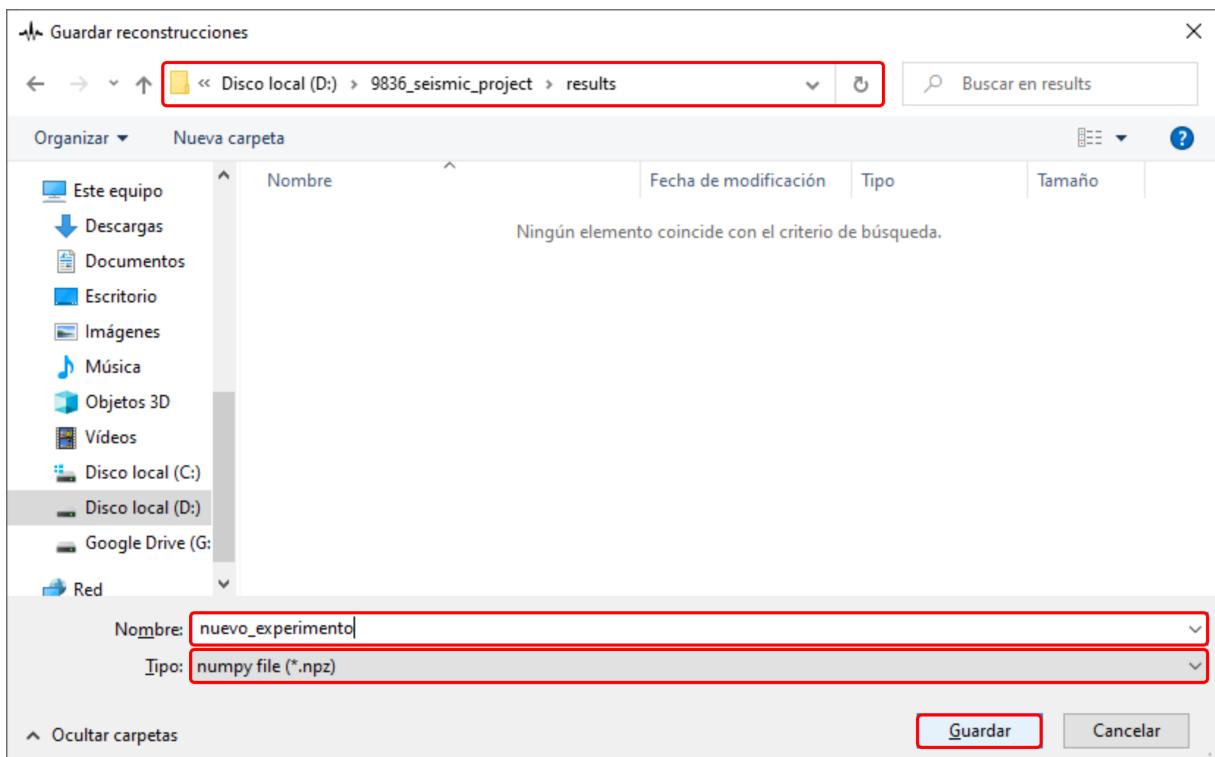


Figura 14: Ventana de guardado de resultados.

Es necesario asignar un nombre al experimento para poder guardarlo. En este ejemplo usaremos *nuevo_experimento* como nombre del archivo de salida, con la extensión *.npz*. Finalmente, presionamos el botón *Guardar*.

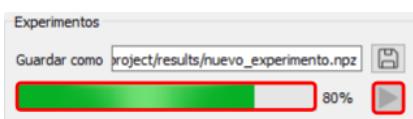


Figura 15: Ejecución de un experimento en tiempo real.

Para correr el experimento se debe pulsar en el botón . En la barra de progreso, a la izquierda de dicho botón, se podrá el progreso del actual experimento, como se observa en la figura 15.

2.1.5. Visualización de Resultados de Datos Completos

Los resultados de todos los experimentos se pueden observar en el panel (7), en el extremo derecho de la figura 3. En este panel se encuentran dos tipos de visualización: la visualización del rendimiento (iteraciones vs. error/psnr) y visualización de la reconstrucción, como se observa en la figura 16.

Como se mencionó en la sección 2.1.4, para los experimentos que sean ejecutados se podrá ver tanto el rendimiento como la reconstrucción de las trazas en tiempo real. A continuación se detallará que es lo que se observa exactamente en cada una de estos subpaneles.



Figura 16: Panel de resultados.

Rendimiento

En esta subventana se observa el rendimiento actual del experimento que esté corriendo, como se muestra en la figura 17. Esta figura presenta una gráfica con dos ejes: el **eje izquierdo** representa el índice de similaridad estructural (SSIM); y el **eje derecho** representa la proporción máxima de señal a ruido (PSNR) de las trazas重建adas con respecto a las verdaderas. En general, ambas métricas cuantifican la degradación de la calidad de la imagen.

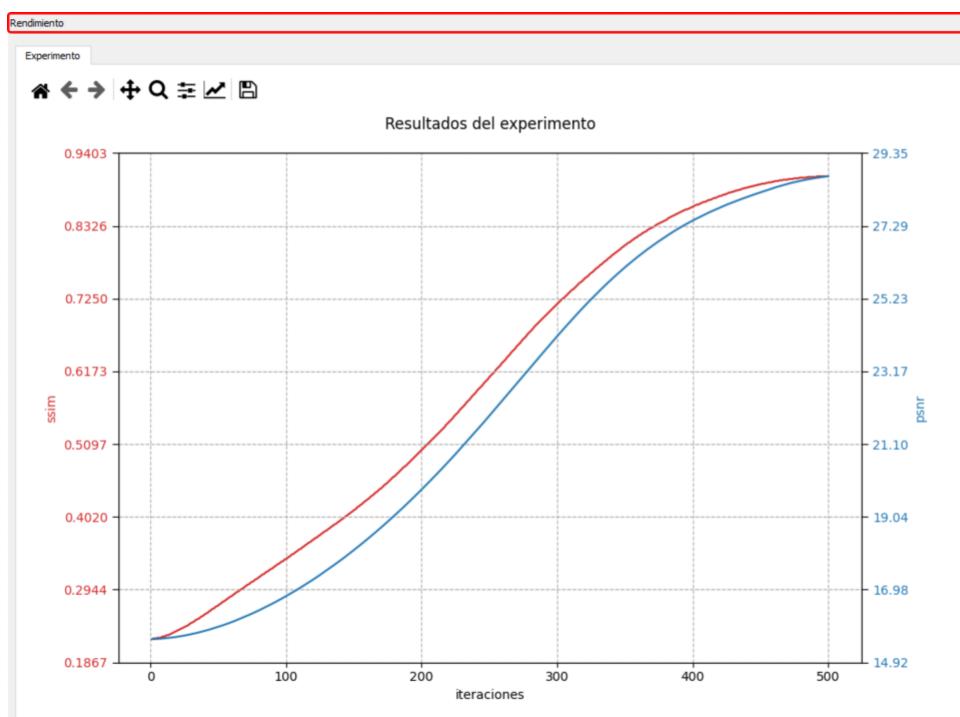


Figura 17: Rendimiento de un experimento realizado.

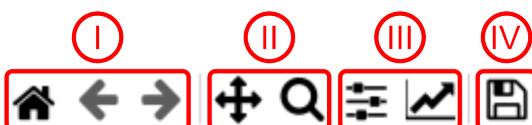


Figura 18: Opciones de la gráfica.

En la parte superior de la gráfica *Resultados del experimento* se observa una barra de herramientas, tal como se muestra en la figura 18. Estas modifican alguna característica de la gráfica de resultados, tal como se indica a continuación:

- I. El botón permite volver a la gráfica a su estado original. Los otros dos botones, y , permiten ir hacia adelante o atrás en las modificaciones realizadas a la gráfica.
- II. El botón permite desplazar la gráfi-

ca en cualquier dirección, mientras que el botón **Q** permite realizar un acercamiento o alejamiento de la gráfica.

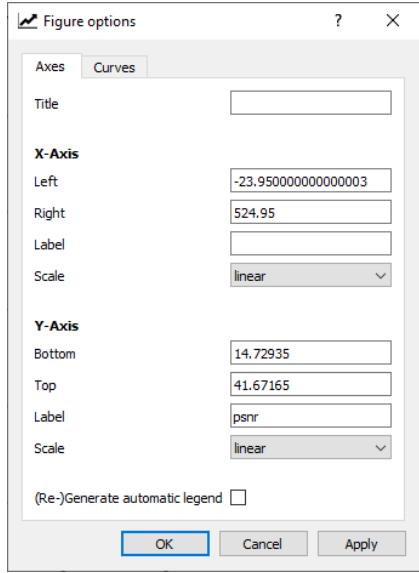


Figura 20: Editor de ejes, curvas y parámetros de la gráfica.

Reconstrucción de Trazas

Por otra parte, los resultados cuantitativos del experimento se observan en el subpanel de *Reporte*, como se muestra en la figura 21. Esta gráfica se divide en 4 secciones:

- I. *Referencia*. Esta gráfica es el disparo sísmico completo, el cual se usa como referencia para comparar contra la reconstruida, tanto cuantitativa como cualitativamente.
- II. *Medidas*. Esta gráfica es el disparo sísmico submuestreado, y es la que pasa a través de los algoritmos para reconstruir las líneas de receptores faltantes.
- III. *Reconstruido*. Esta gráfica contiene el disparo sísmico reconstruida.
- IV. *Traza*. Esta gráfica contiene una de las trazas reconstruidas comparada contra la de referencia.

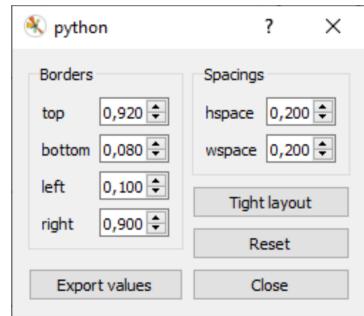


Figura 19: Configuración de subplots.

- III. Los siguientes botones tienen un comportamiento más complejo. El botón **≡** abre la subventana que se observa en la figura 19. Esto permitirá ajustar la visualización de los bordes de la gráfica y el espacioado con respecto a su contenedor padre. Por otra parte, el botón **↖** permitirá configurar la visualización de los ejes (cantidad de valores) y el tipo de escala para cada eje, como se observa en la figura 20.
- IV. Finalmente, el botón **💾** permitirá guardar una imagen de la gráfica exactamente como se observe en ese instante. Los formatos soportados para exportar una gráfica son: *.eps*, *.jpg*, *.pgf*, *.pdf*, *.png*, *.ps*, *.raw*, *.svg*, *.tiff*.

16

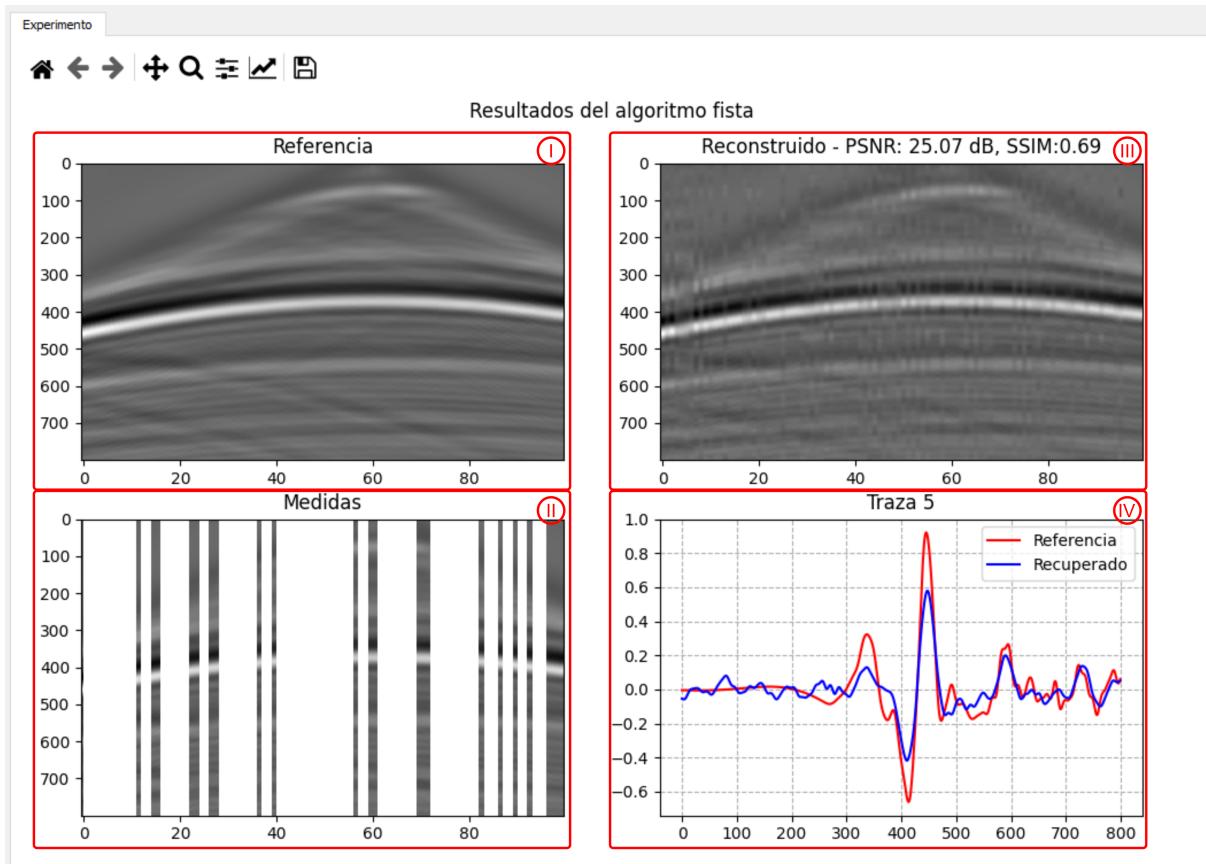


Figura 21: Reporte cuantitativo de un experimento realizado.

2.1.6. Visualización de Resultados de Datos Incompletos

Los resultados de los experimentos usando datos incompletos difieren de los resultados usando datos completos dado que no existe una medida real de comparación. Por esta razón no es posible calcular métricas de error como el psnr. Para el caso de datos incompletos se usa la medida *Total Variation* (TV) como una medida de la suavidad de la reconstrucción. La figura 22 muestra un ejemplo de la evolución del TV para un ejemplo práctico.

Por otra parte, el panel de experimento para datos incompletos es similar al caso cuando se usan datos completos, tal y cual se muestra en la figura 23.

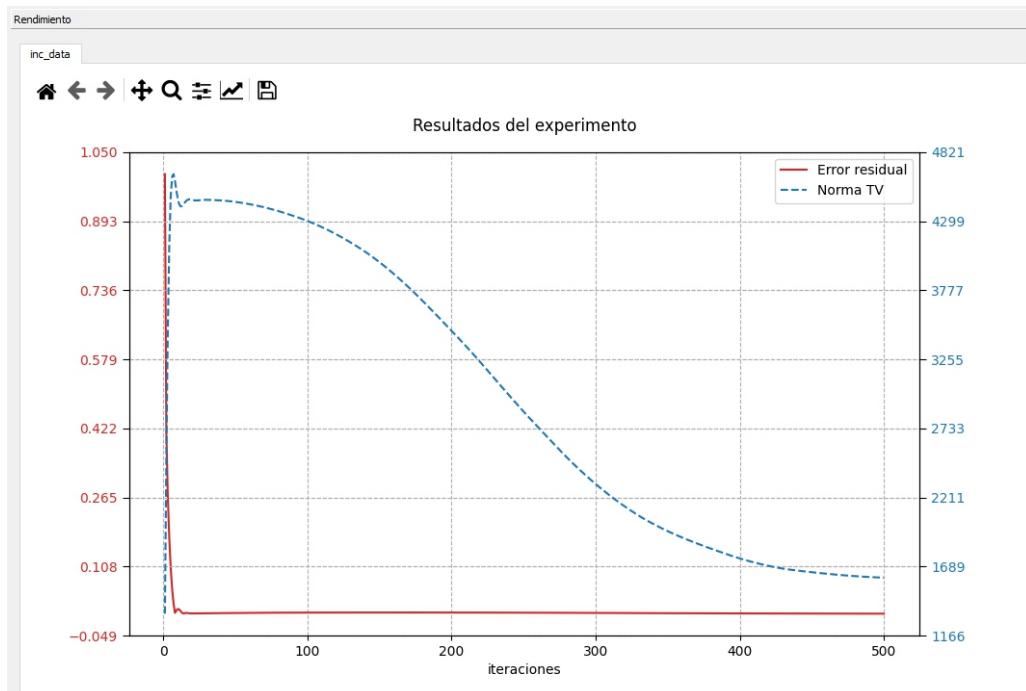


Figura 22: Rendimiento de un experimento realizado usando datos incompletos.

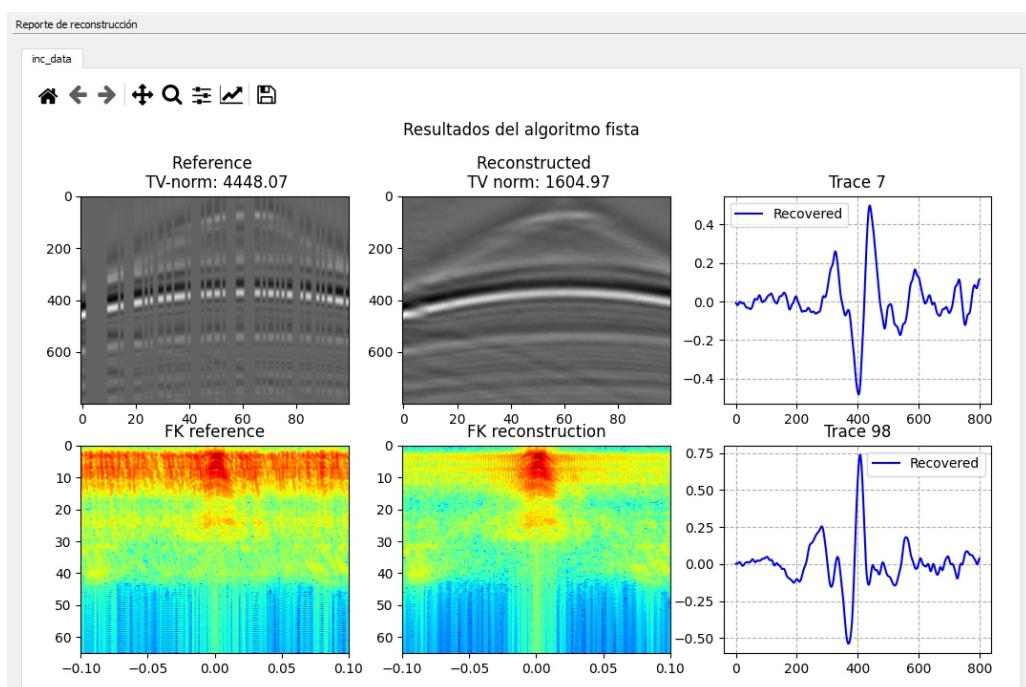


Figura 23: Reporte cuantitativo de un experimento realizado usando datos incompletos.

2.2. Modo Ajuste de parámetros

El segundo modo de ejecución de ReDs es el ajuste de parámetros sobre las muestras sísmicas. Este modo se activa usando el segundo botón del menú principal, tal como se muestra en la figura 24.

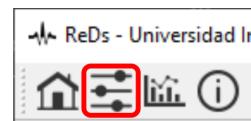


Figura 24: Botón del menú de ajuste de parámetros.

El ajuste de parámetros permite probar diferentes rangos de parámetros para cada uno de los algoritmos de una forma sencilla y visualizar la curva de rendimiento en dichos ajustes.

La aplicación ReDs se adapta a los tipos de pruebas que se quieran realizar, por lo que la aplicación deshabilita los paneles u opciones que no son necesarias para el ajuste de parámetros, en este caso, y se habilita un nuevo panel llamado *Ajuste de parámetros*, como se observa en la figura 25.

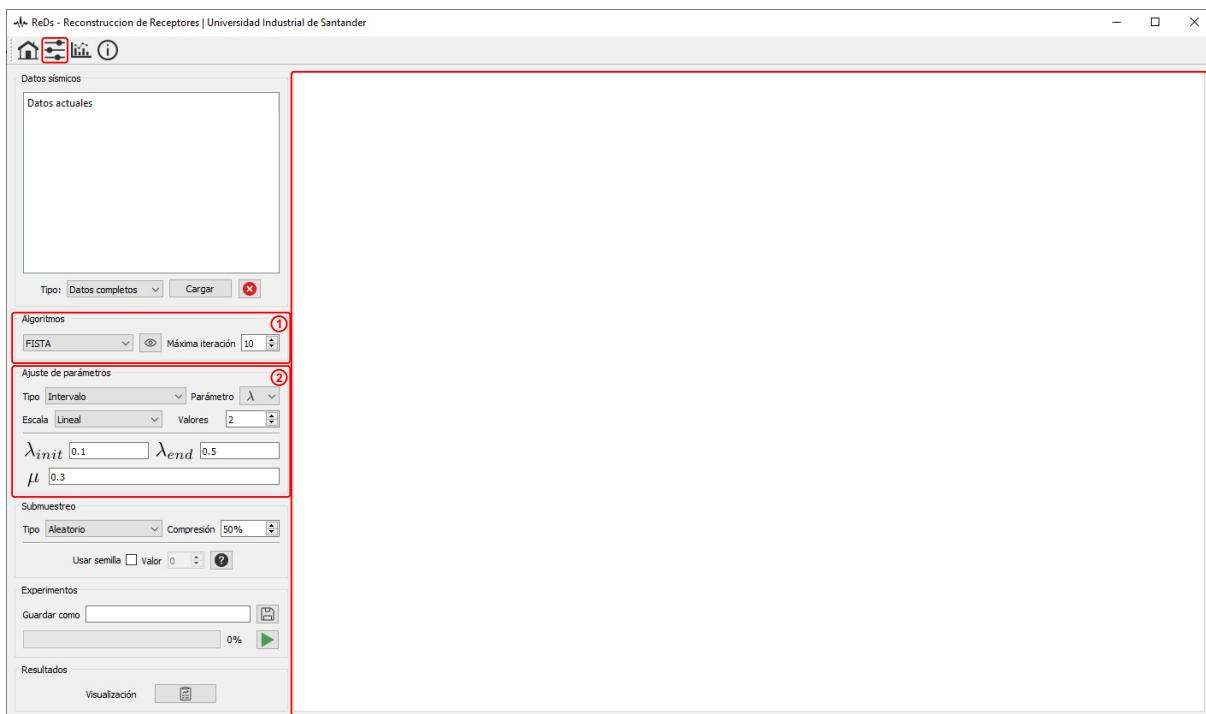


Figura 25: Partes del ajuste de parámetros en la aplicación.

A continuación se listan los cambios que realiza la aplicación cuando se activa el modo de ajuste de parámetros:

- ① Se deshabilita del panel de algoritmos los campos de asignación de parámetros para usar el nuevo de panel de ajuste de parámetros
- ② Se habilita el panel con los rangos y modos de ajuste de parámetros
- ③ La visualización de resultados se simplifica a una sola gráfica

A continuación, se analiza el panel de ajuste de parámetros y la visualización de resultados.

2.2.1. Configuraciones

El panel de ajuste de parámetros, como se muestra en la figura 26, permite al usuario configurar el tipo de prueba que desea realizar. Se encuentra dividido en las siguientes secciones:

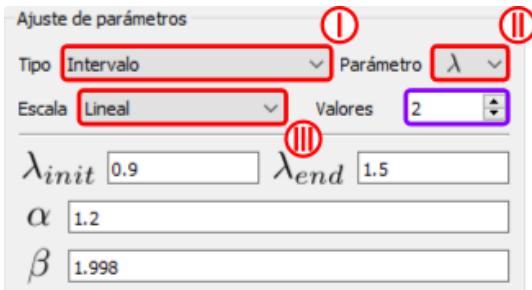


Figura 26: Panel de ajuste de parámetros.

I. **Tipo de ajuste:** Permite configurar la cantidad de valores de un mismo parámetro para algún algoritmo con los que se desean realizar pruebas. Este puede ser en intervalo, como se observa en la figura 26, donde el usuario debe ingresar la cantidad de *valores* que desea ingresar. El otro tipo de ajuste es de lista, donde el usuario debe ingresar cada uno de los valores con los que desea realizar pruebas.

II. **Parámetro:** Este listado de parámetros se adaptará al algoritmo escogido. Su función es permitir al usuario seleccionar el parámetro que se quiere evaluar de acuerdo al tipo de ajuste.

III. **Escala:** Permite al usuario modificar el comportamiento de los valores de los parámetros. Esta escala puede ser lineal, cuyo comportamiento no afectará a los valores de los parámetros, de tal manera que $y = x$, donde x es cualquier valor de los parámetros. El otro tipo de escala es la escala logarítmica, la cual tomará cada uno de los valores establecidos por el usuario, de tal manera que $y = 10^x$.

Realizando un ajuste de parámetros óptimo

Para realizar un ajuste de parámetros óptimo, primero se deberá cargar el dato sísmico, tal como se indica en la sección 2.1.1.

Ahora, se debe seleccionar el algoritmo al cual se le desea hallar los parámetros óptimos dado el dato sísmico cargado. Para este ejemplo se selecciona el algoritmo FISTA, y se establece la configuración de parámetros que se observa en la figura 27. A continuación se explica la selección de parámetros:

- Para el ajuste de parámetros se seleccionó de tipo intervalo con escala logarítmica ya que facilita al usuario la selección de parámetros y visualización de resultados obtenidos.
- Para el submuestreo se fijó una semilla con el propósito de que la muestra sísmica siempre tenga el mismo tipo de submuestreo y poder hacer una óptima selección de los parámetros.

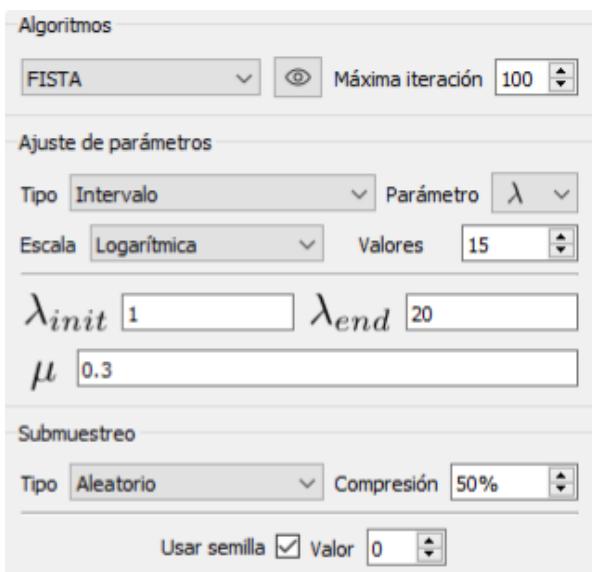


Figura 27: Ajuste de parámetros para el algoritmo FISTA.

Una vez completada la configuración se procede a ajustar el parámetro λ . Los resultados se observan en la figura 28. En esta figura se pueden observar los resultados obtenidos para la configuración de parámetros establecida en la figura 27. Por inspección, el valor óptimo para λ es $\lambda^* \approx 2,91$.

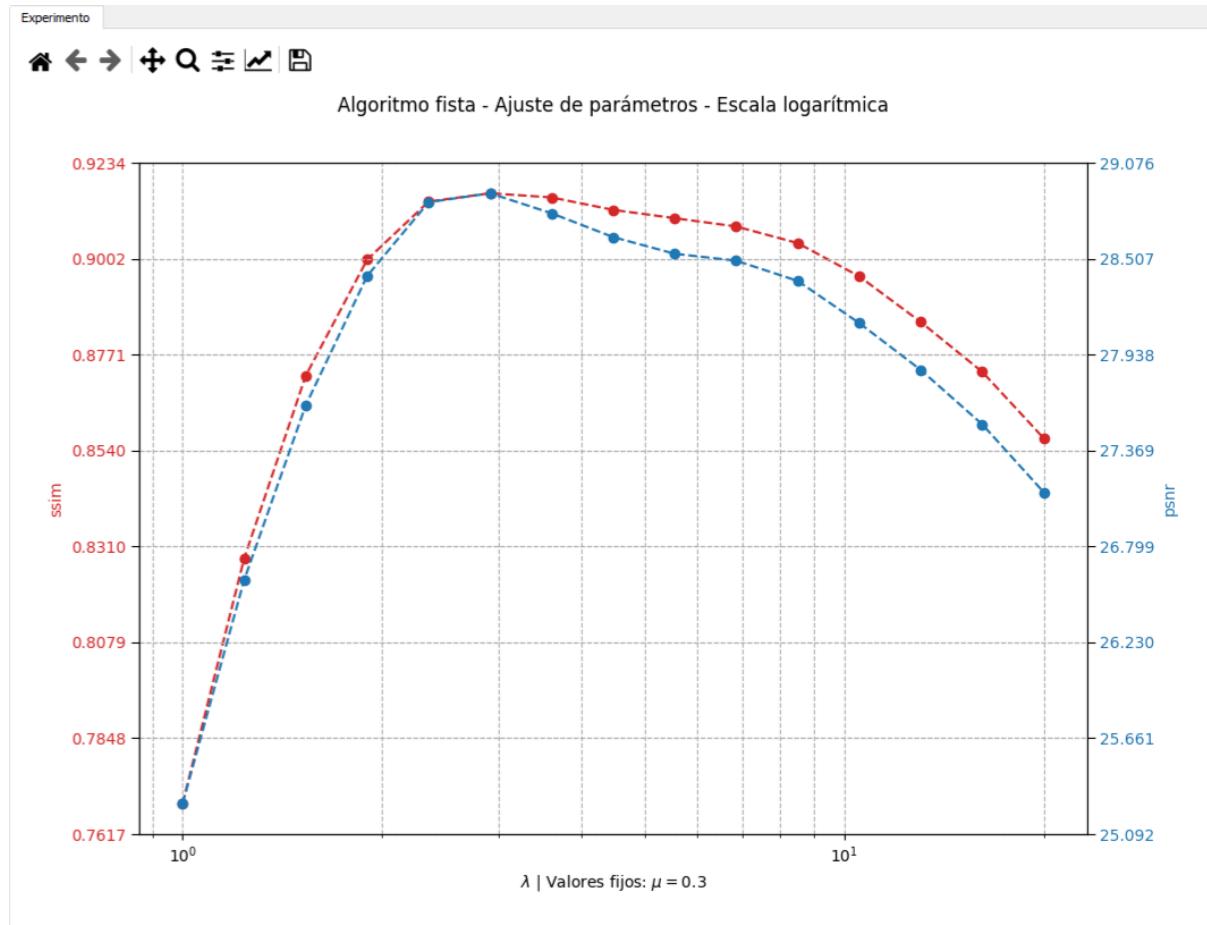


Figura 28: Ajuste del parámetro λ para el algoritmo FISTA.

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------|
| Ajuste de parámetros | | | |
| Tipo | Intervalo | Parámetro | μ |
| Escala | Logarítmica | Valores | 15 |
| λ | 2.91 | | |
| μ_{init} | 0.1 | μ_{end} | 1.1 |

Figura 29: Ajuste del parámetro μ para el algoritmo FISTA.

Ahora, para encontrar el valor óptimo μ^* , se toma el valor de λ^* y se evalúa para un intervalo de μ , como el que se observa en la figura 29. Los resultados obtenidos para este ajuste de parámetros se observan en la figura 30. Por inspección, se observa que el valor óptimo $\mu^* \approx 0,39$.

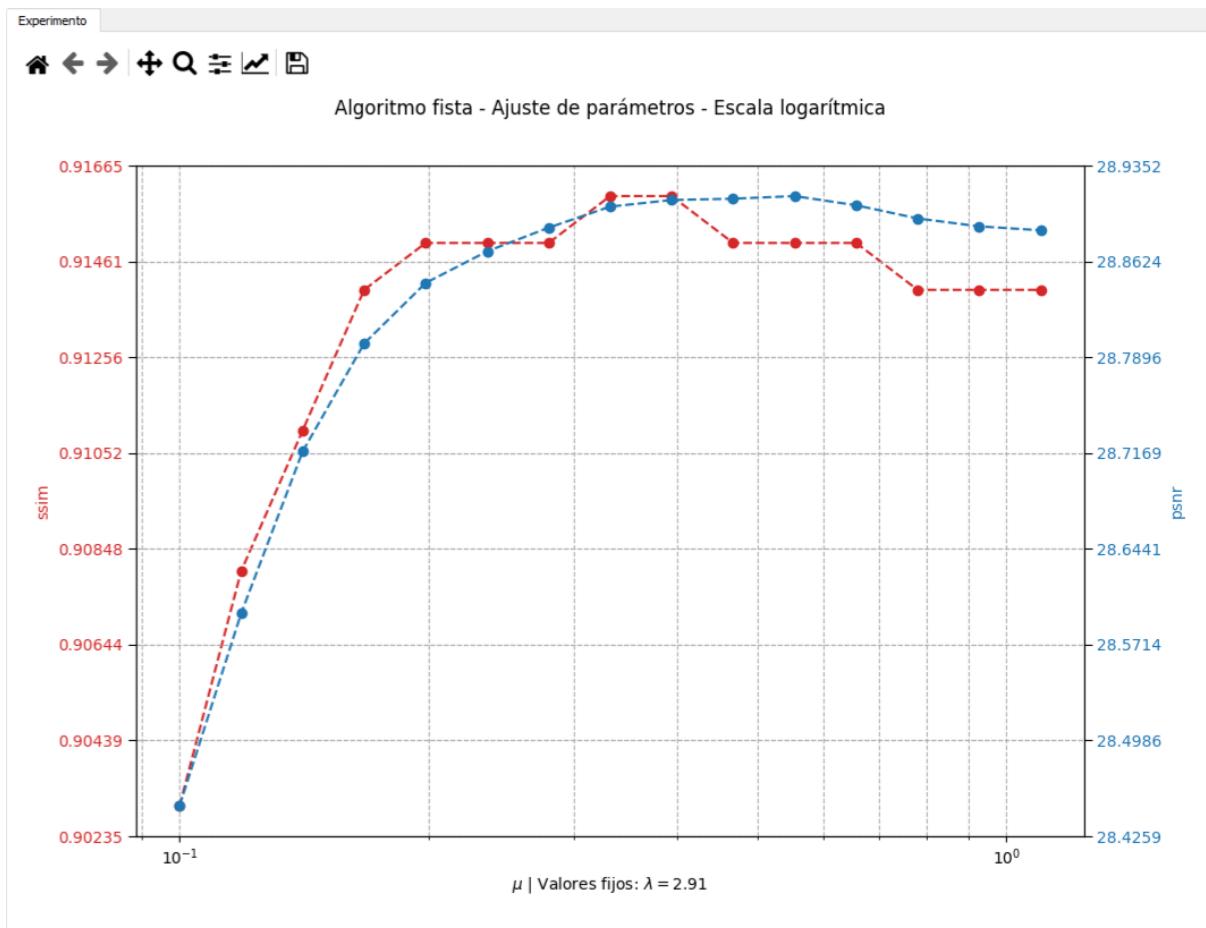


Figura 30: Ajuste del parámetro μ para el algoritmo FISTA.

2.2.2. Ajuste de Parámetros de Datos Incompletos

El ajuste de parámetros usando datos incompletos sigue exactamente el mismo procedimiento que si se usaran datos incompletos. De nuevo, el módulo de sub-muestreo se desactiva cuando se selecciona usar datos incompletos. El resto del procedimiento es igual que lo presentado en el numeral anterior, tal y como se presenta en la figura 31.

2.3. Modo Comparación de Algoritmos

El tercer modo de ejecución de ReDs permite correr los cuatro algoritmos de reconstrucción al mismo tiempo. Este modo se activa con el tercer botón del menú principal, tal como se muestra en la figura 32. El objetivo es realizar comparaciones entre los algoritmos de reconstrucción.

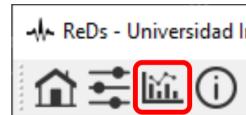


Figura 32: Modo de comparación de algoritmos.

Al igual que con el modo de ajuste de parámetros, el modo de comparación modifica la interfaz gráfica, tal y como se muestra en la figura 33. A continuación se listan los cambios que realiza la aplicación cuando se activa el modo de comparación de algoritmos:

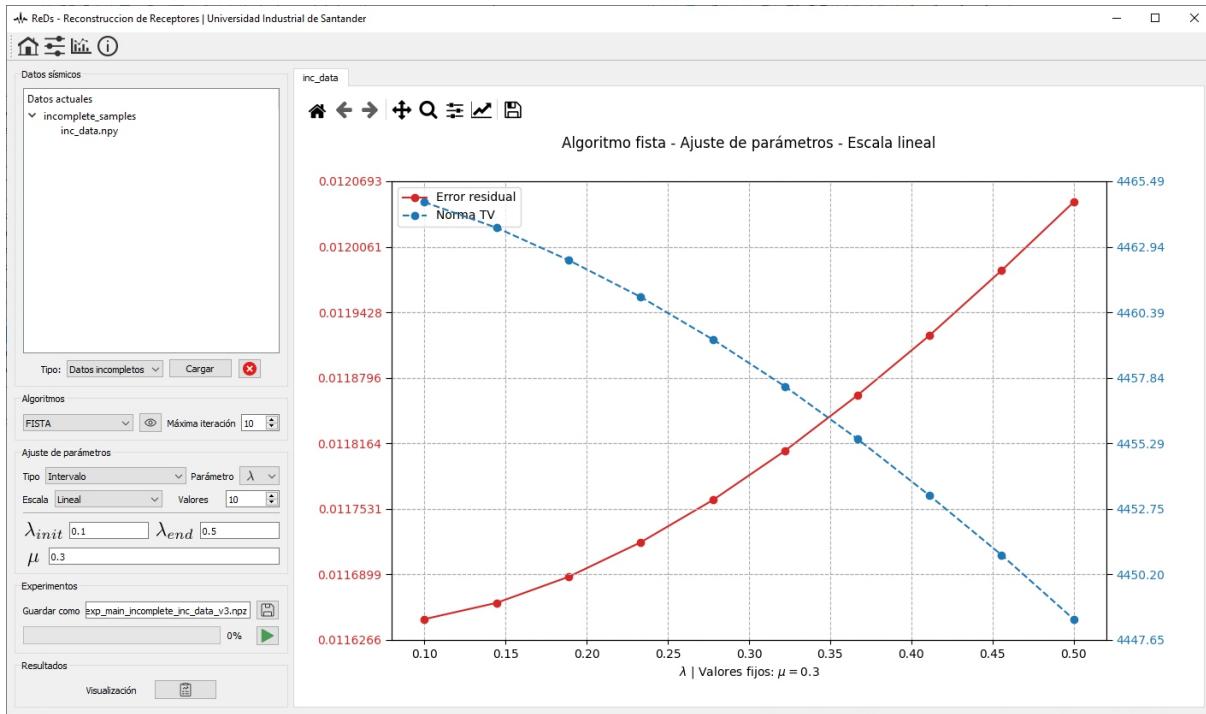


Figura 31: Ajuste de parámetros usando datos incompletos usando el algoritmo FISTA.

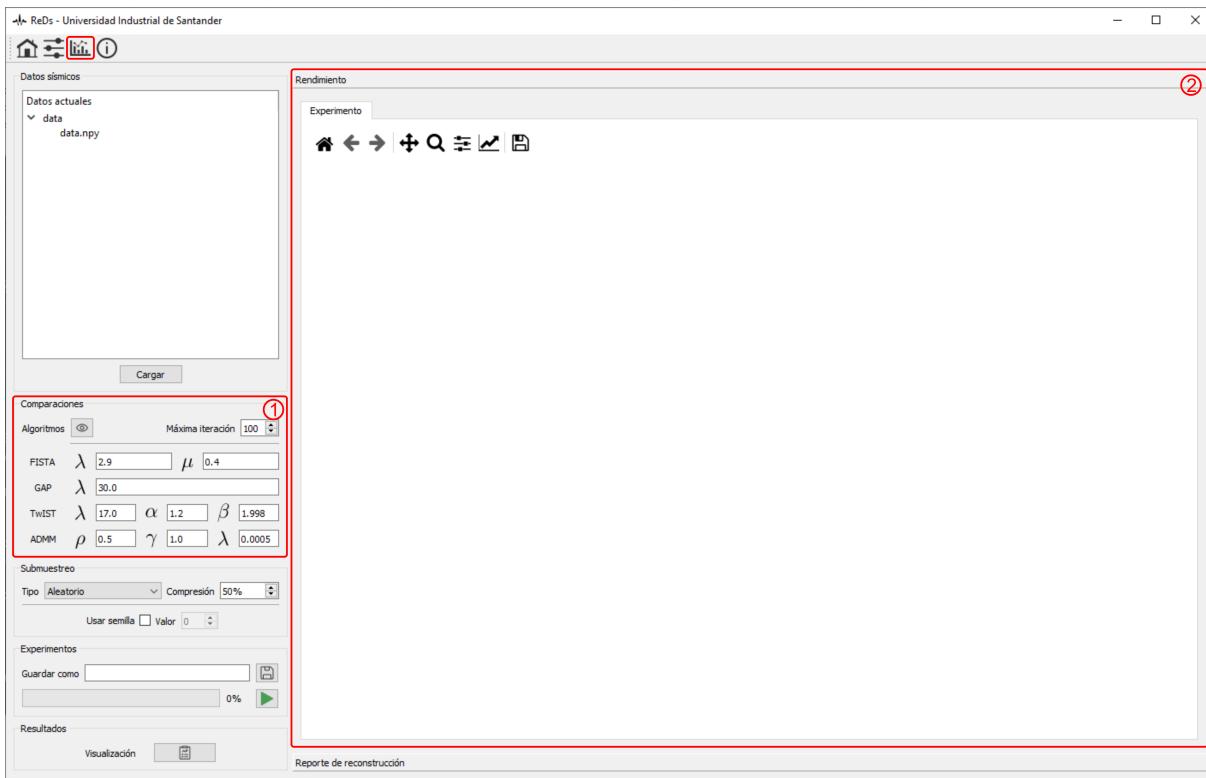


Figura 33: Interfaz modo de comparación de algoritmos.

- ① Se presentan los cuatro algoritmos de reconstrucción, con sus parámetros
- ② La visualización de resultados se simplifica a una sola gráfica

A continuación, se analiza el panel de comparación de algoritmos y la visualización de resultados para este modo.

2.3.1. Configuraciones

El panel comparación de algoritmos, como se muestra en la figura 34, permite al usuario configurar el tipo de prueba que desea realizar. Se encuentra dividido en las siguientes secciones:

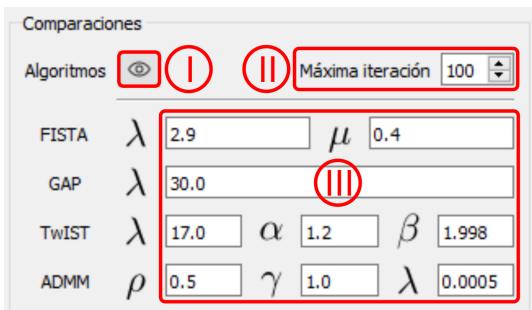


Figura 34: Panel de ajuste de parámetros.

- I. **Ver Ecuaciones:** Muestra las ecuaciones de los cuatro algoritmos de ajuste, con sus parámetros.
- II. **Maximo de Iteraciones:** Define el número máximo de iteraciones para todos los cuatro algoritmos, por igual.
- III. **Parámetros:** Se definen los parámetros para todos y cada uno de los algoritmos de reconstrucción, al igual que en el numeral 2.2.

Realizando una comparación de algoritmos

Para realizar una comparación de algoritmos primero se deberá cargar el dato sísmico, tal como se indica en la sección 2.1.1.

Ahora, se deben ingresar los valores para cada uno de los parámetros de los cuatro algoritmos de reconstrucción. En total son 9 parámetros a establecer: 2 para FISTA, 1 para GAP, 3 para TwIST y 3 para ADMM.

Por último definimos el número de iteraciones, en 300, el tipo de submuestreo, aleatorio con 50 % de compresión, y el archivo de salida de resultados, tal como se muestra en la sección 2.4.1. Para correr el experimento se debe pulsar en el botón ►.

Una vez termina la ejecución de los cuatro algoritmos, se presentan los resultados de las cuatro reconstrucciones en las pestañas Rendimiento y Reporte de reconstrucción, tal como se muestra en las figuras 35 y 36 respectivamente.

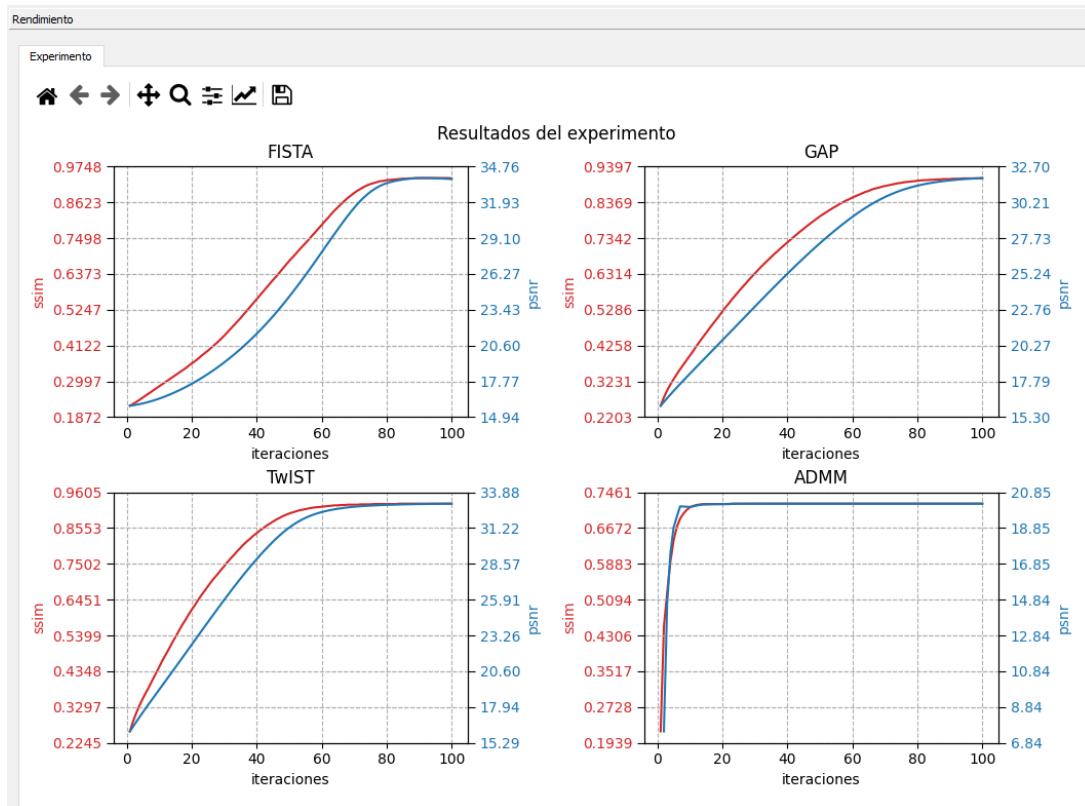


Figura 35: Rendimiento de la comparación de algoritmos

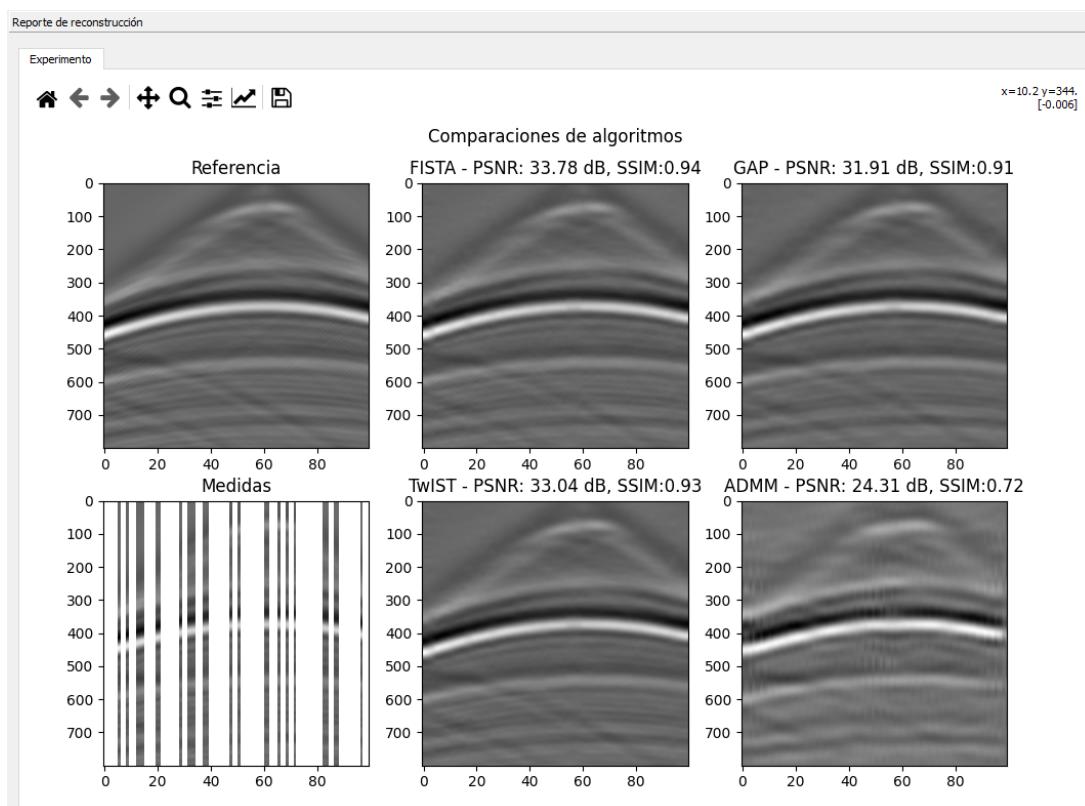


Figura 36: Reporte de reconstrucción de la comparación de algoritmos

2.3.2. Comparación de Algoritmos de Datos Incompletos

Realizar una comparación de algoritmos usando datos incompletos genera diferencias en la presentación de resultados. La primera gráfica de resultados es muy similar a si se usaran datos completos. La figura 37 es similar a la figura 36. Sin embargo, la gráfica de Reporte de Reconstrucción difiere sustancialmente al incluir no solo las reconstrucciones sino las gráficas FK, tal y como se muestra en la figura 38.

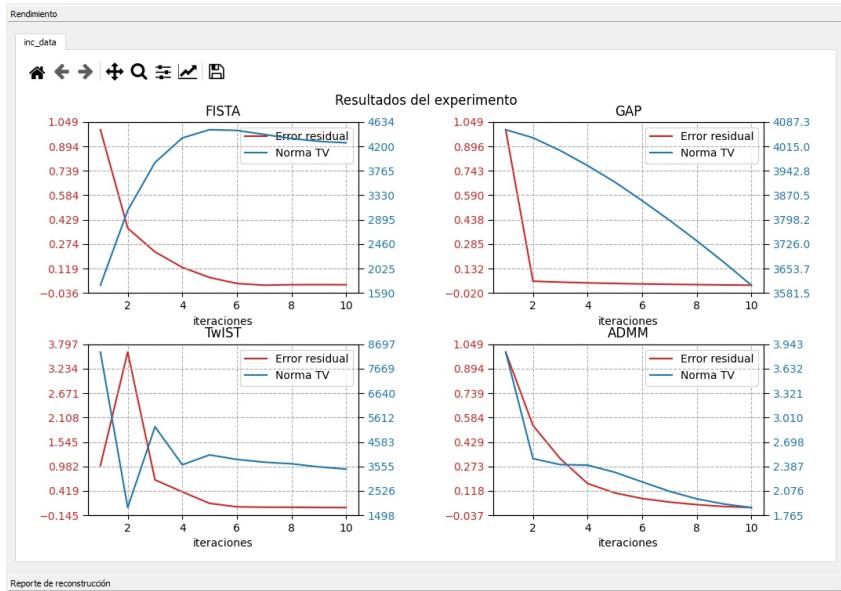


Figura 37: Rendimiento de la comparación de algoritmos de datos incompletos.

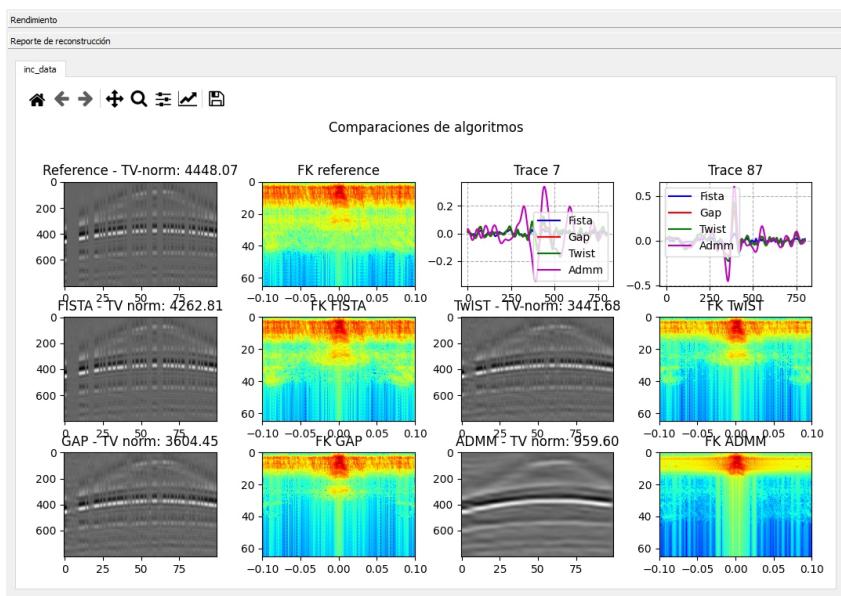


Figura 38: Reporte de reconstrucción de la comparación de algoritmos de datos incompletos.

2.4. Visualización general de Resultados

Los experimentos realizados quedan almacenados en el directorio escogidos por el usuario de forma local en su computadora. Esos resultados pueden ser visualizados a través del panel de visualización (6) en el extremo inferior izquierdo de la figura 3.

2.4.1. Menú principal

Esta herramienta funciona de la misma manera para los dos tipos de experimentos actuales (general y ajuste de parámetros), cargando los respectivos datos como se visualizaron en secciones anteriores. Para usar este panel debemos pulsar el botón en (1), como se observa en la figura 39. Al pulsar este botón el comportamiento de la interfaz cambiará a lectura de resultados de experimentos ya realizados. Por lo que ahora se usará el botón *Cargar* (2) para cargar dichos datos.

Leyendo resultados de experimentos realizados

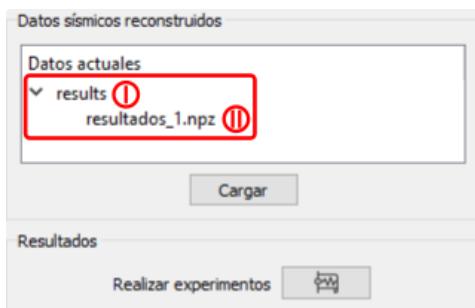


Figura 40: Panel con resultados cargados de un experimento previo.

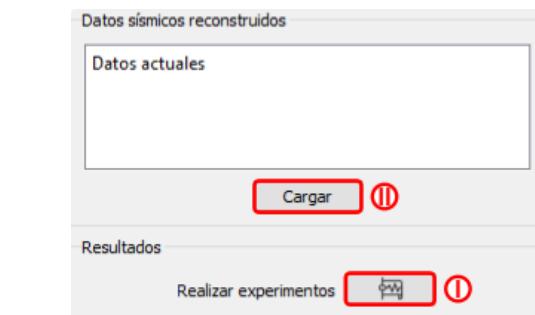


Figura 39: Lectura de resultados.

Como se observa en la figura 41, el usuario podrá seleccionar el archivo que desee visualizar (en este caso *resultados_1.npz*) con los resultados de un experimento previamente realizado. Una vez seleccionado, se debe pulsar la opción *Abrir* y los resultados serán cargados tanto en el panel de resultados de la figura 40, donde (I) ese el directorio padre del los resultados cargados (II).

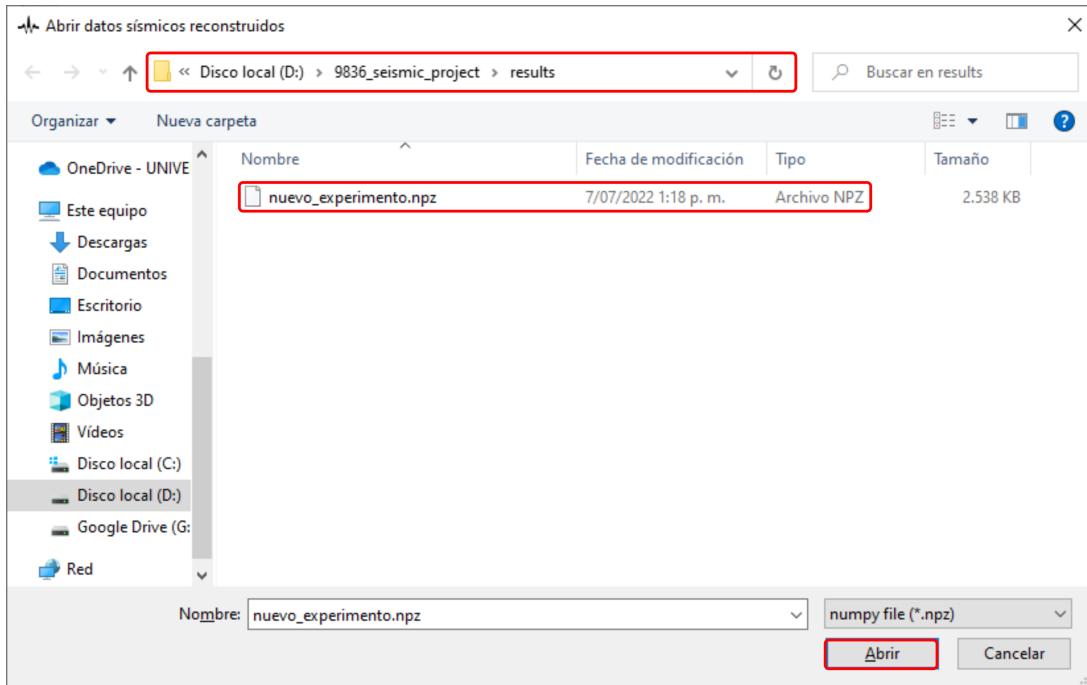


Figura 41: Ventana de selección de resultados.

Finalmente, los datos cargados se pueden visualizar en el panel de gráficas a la derecha de la aplicación, como se observa en la figura 42.

2.4.2. Menú de ajuste de parámetros

Similar al proceso de lectura de datos para experimentos realizados en el menú principal, para esta ocasión se debe estar en el menú de ajuste de parámetros, como se muestra en la figura 25, y repetir el proceso explicado previamente pero cargando los resultados de algún experimento de ajuste de parámetros. A modo de ejemplo, se cargó el archivo de resultados *resultados_2.npz*, tal como se visualiza en la figura 43. Este modo es exclusivamente de visualización y no permite modificar el rango de valores evaluados.

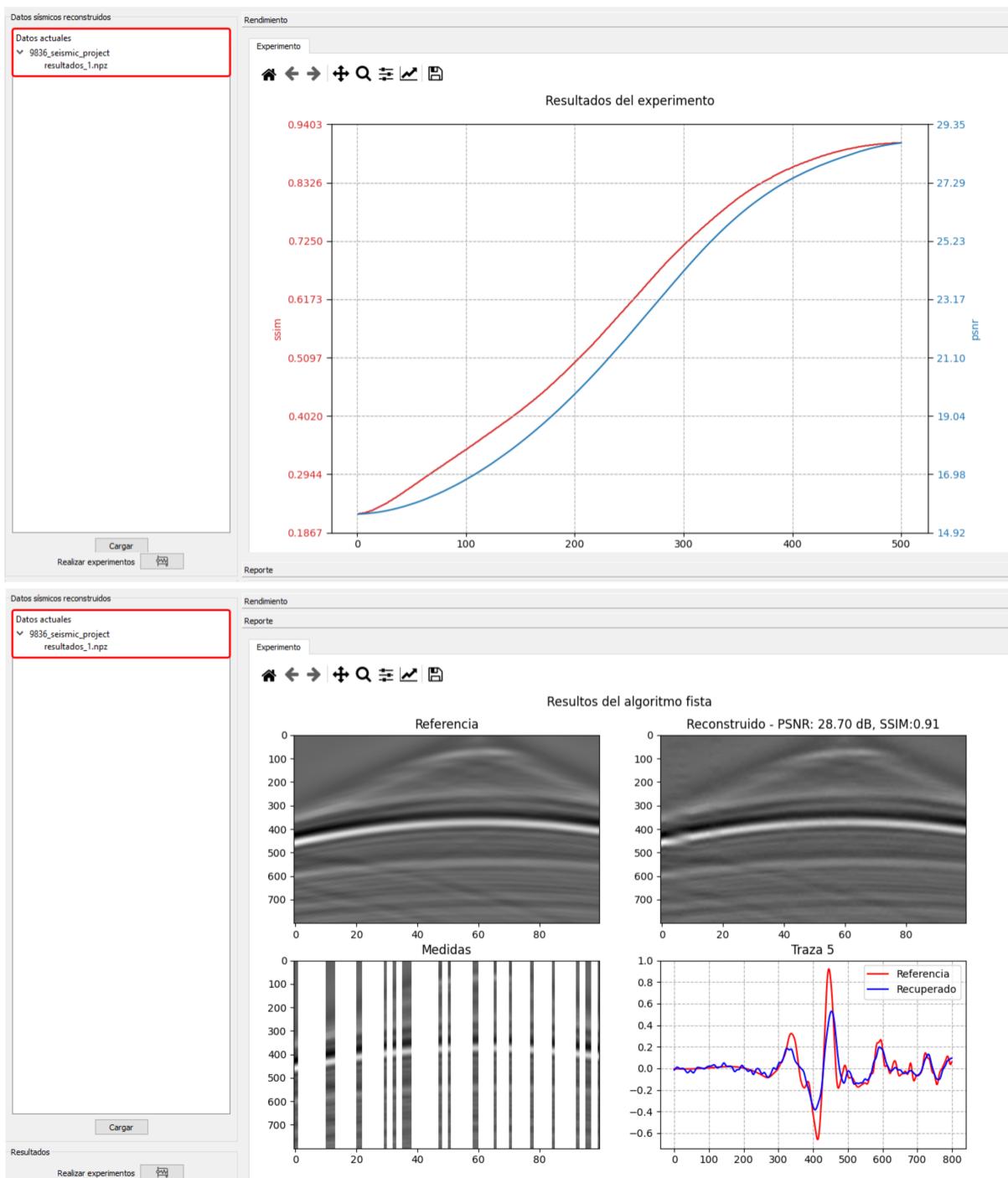


Figura 42: Visualización de los resultados cargados.

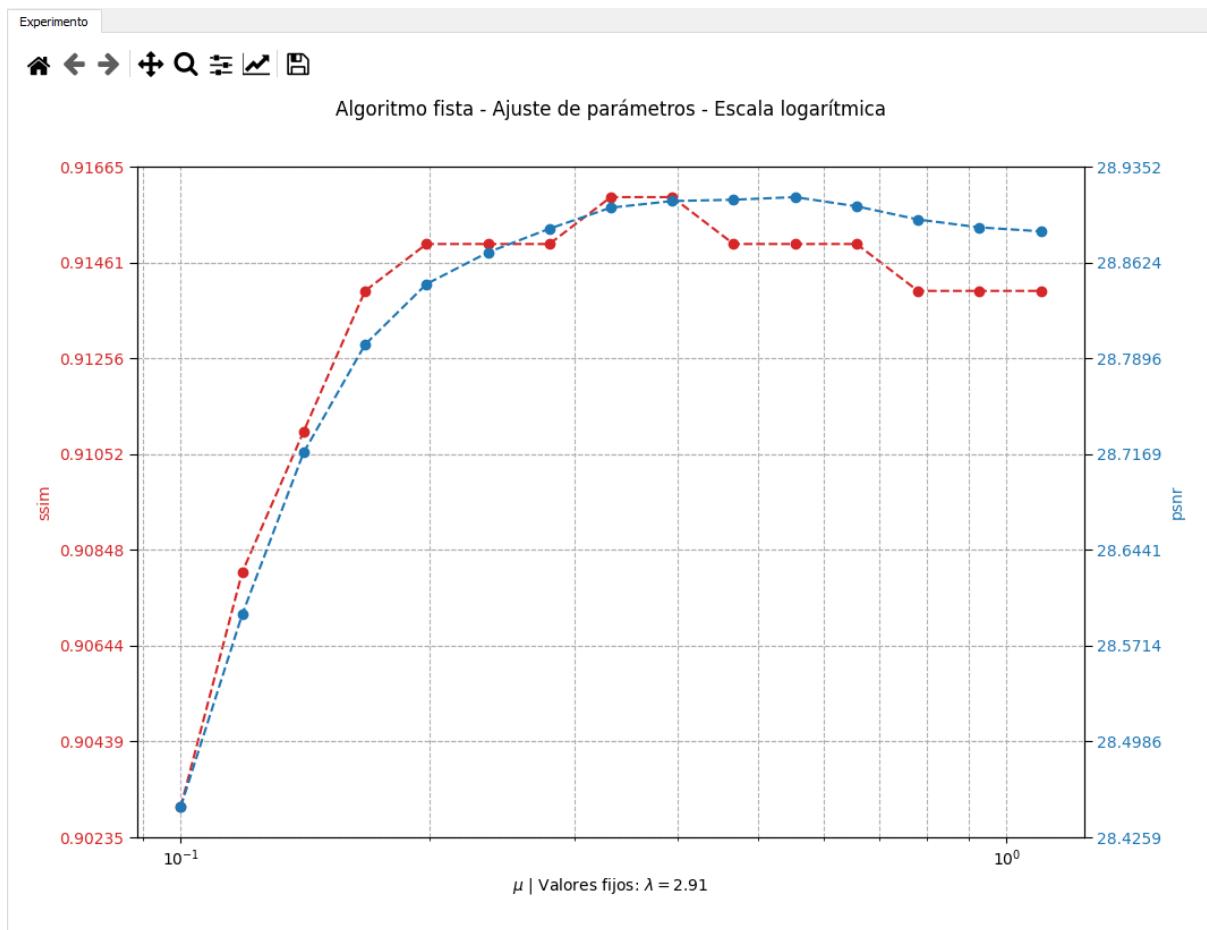


Figura 43: Visualización de los resultados de ajuste de parámetros cargados.

2.4.3. Menú de comparación de algoritmos

Por último, es posible cargar resultados de comparaciones de algoritmos. Para esto habilitamos el modo *Comparación de Algoritmos* (ver figura 32), y presionamos el botón *Ver Resultados* en la parte inferior izquierda. A modo de ejemplo, se cargó el archivo de resultados *results_comp.npz*, tal como se visualiza en la figura 44. Este modo es exclusivamente de visualización y no permite modificar el rango de valores evaluados.

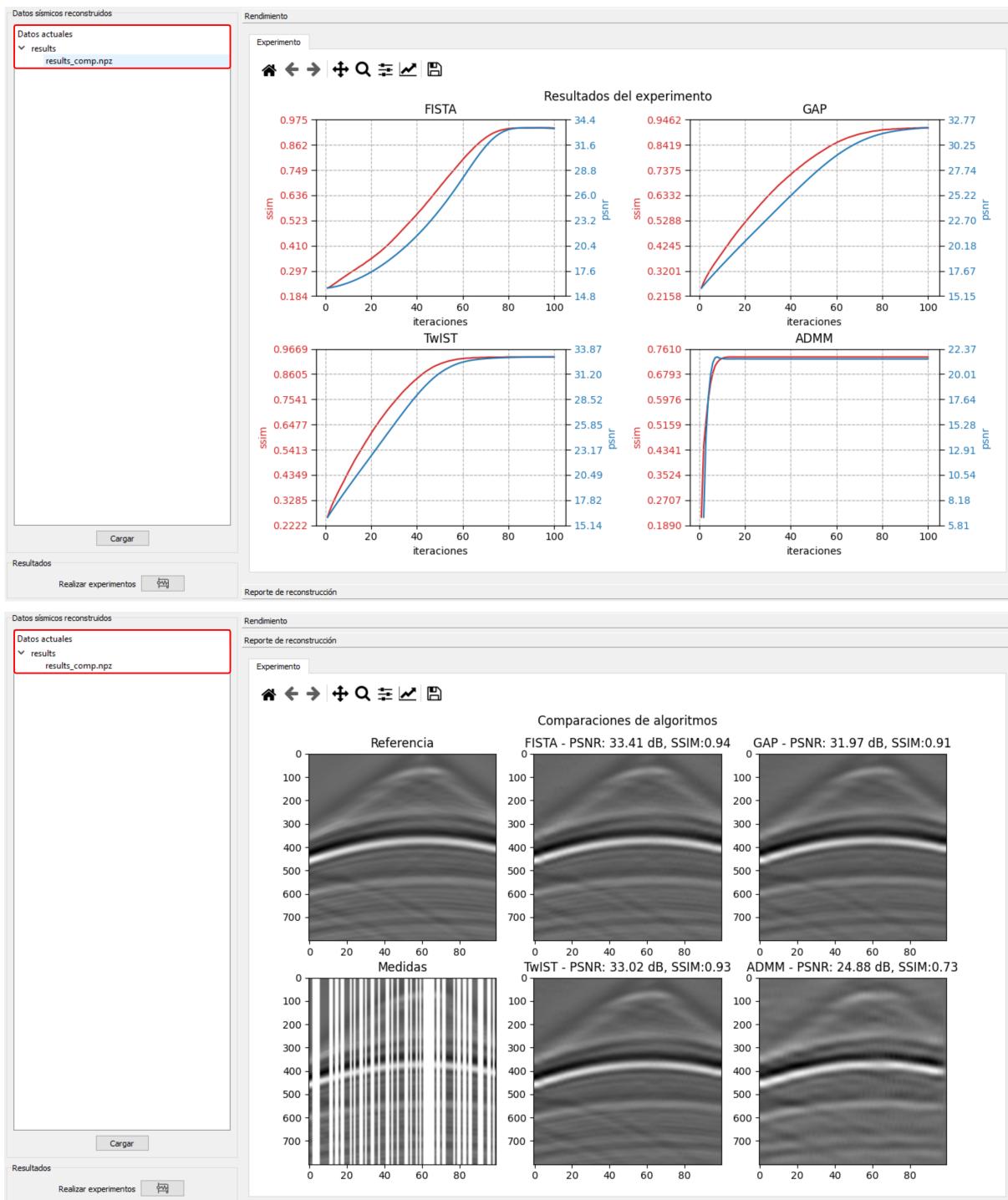


Figura 44: Visualización de los resultados la comparación de algoritmos.

3. Módulo ReDs - Reconstrucción de Disparos (RD)

El módulo ReDS-RD (reconstrucción de disparos) realiza la estimación de disparos sísmicos completos, faltantes en la adquisición, usando algoritmos de gradiente descendiente que aprovechan representaciones escasas de los datos en dominios transformados como Curvelet, DCT y Wavelets.

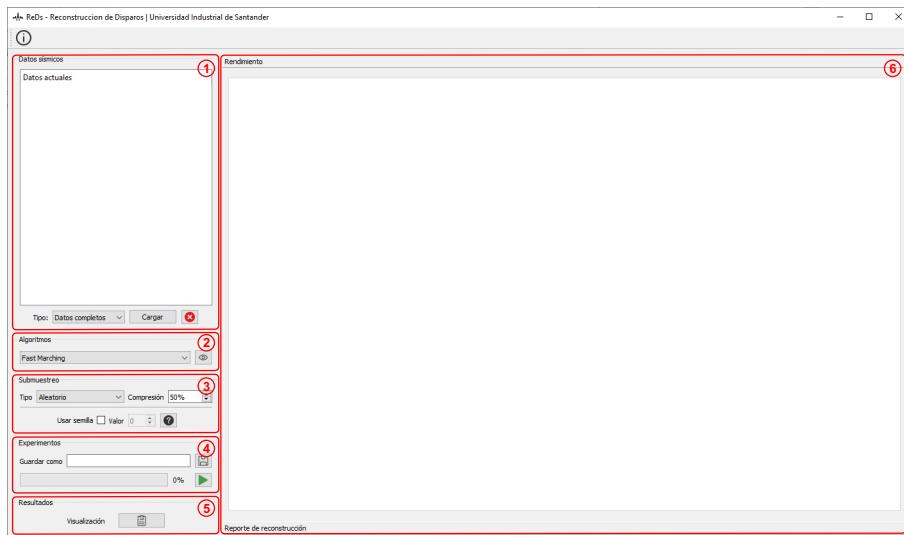


Figura 45: Secciones de la interfaz general del modo Reds - RD.

A diferencia del Módulo RR, el Módulo RD solo consta de un único modo de uso por lo que la interfaz no cambia. Sin embargo, el Módulo RD comparte varios paneles con el Módulo RR, los cuales explicaremos a continuación.

3.1. Lectura de Datos

El panel de lectura de datos ①, situado al extremo izquierdo superior en la figura 45, muestra los nombres de los datos sísmicos que el usuario haya cargado en la aplicación para realizar diversas pruebas.

Leyendo un dato sísmico

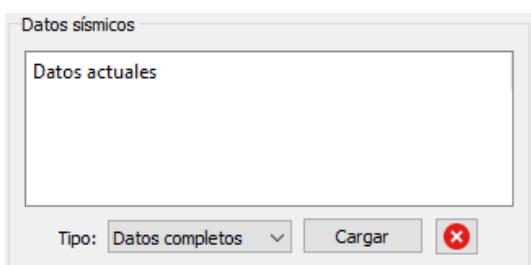


Figura 46: Cargando un dato sísmico.

Para leer un dato sísmico, se pulsa la opción **Cargar** en el panel ①, como se observa en la figura 46. Inmediatamente se abrirá la ventana *Abrir dato sísmico*, como se observa en la figura 47, donde el usuario podrá seleccionar un dato sísmico. Para este ejemplo cargaremos *data.npy*. La aplicación ReDs reconoce las extensiones *.npy* y *.mat* para cargar datos sísmicos.

Existen dos tipos de datos sísmicos que pueden ser cargados desde ReDs - RD: *Datos Completos* y *Datos Incompletos*. El tipo de dato a ser cargado puede ser seleccionado desde la lista desplegable en la Figura 4.

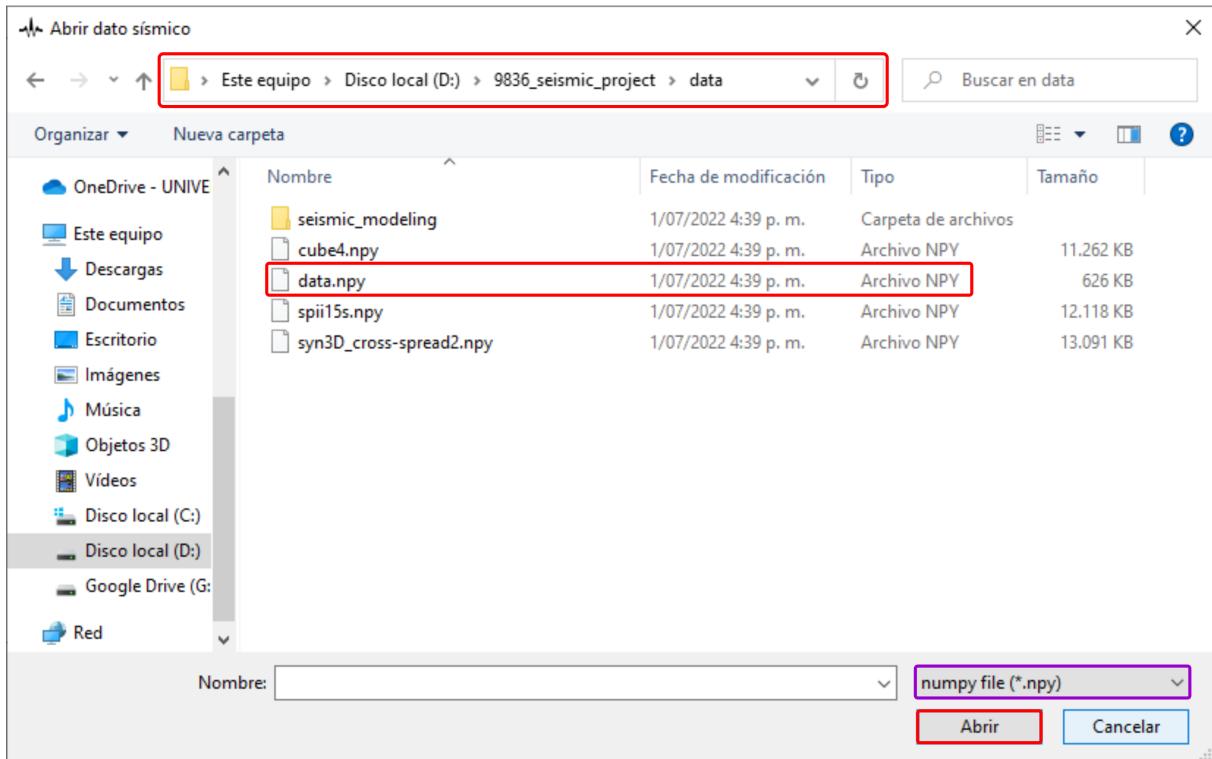


Figura 47: Ventana de selección de dato sísmico.

Una vez seleccionado el dato sísmico, se debe pulsar en la opción *Abrir*. Se podrá observar entonces en ① el dato sísmico cargado, como se muestra en la figura 48. Aquí los datos se observan siguiendo la siguiente estructura: ① representa al directorio padre y ② es el dato sísmico cargado hijo del directorio padre.

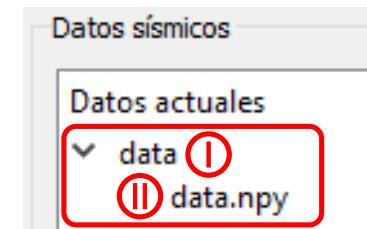


Figura 48: Panel con un dato sísmico cargado.

3.2. Algoritmos

El Módulo RD solo tiene un único algoritmo disponible: Fast Marching, tal como se observa en el panel ②, en el extremo izquierdo de la figura 45. El algoritmo Fast Marching no tiene parámetros a configurar, por lo que no es posible hacer una variación paramétrica. El botón ③ permite visualizar el modelo matemático del algoritmo Fast Marching, tal como se indica en la imagen 49.

3.3. Submuestreo

Debido a que hay varias formas de recuperar una traza a partir de las medidas recolectadas previamente, el panel de submuestreo ③ permite configurar cuál tipo de submuestreo se desea realizar al dato sísmico, a manera de simulación. Todos los tipos de submuestreo, excepto el de tipo lista, comparten el mismo nivel de compresión que el usuario desee asignar. Por otra parte, al cargar datos incompletos el panel de submuestreo se deshabilita.

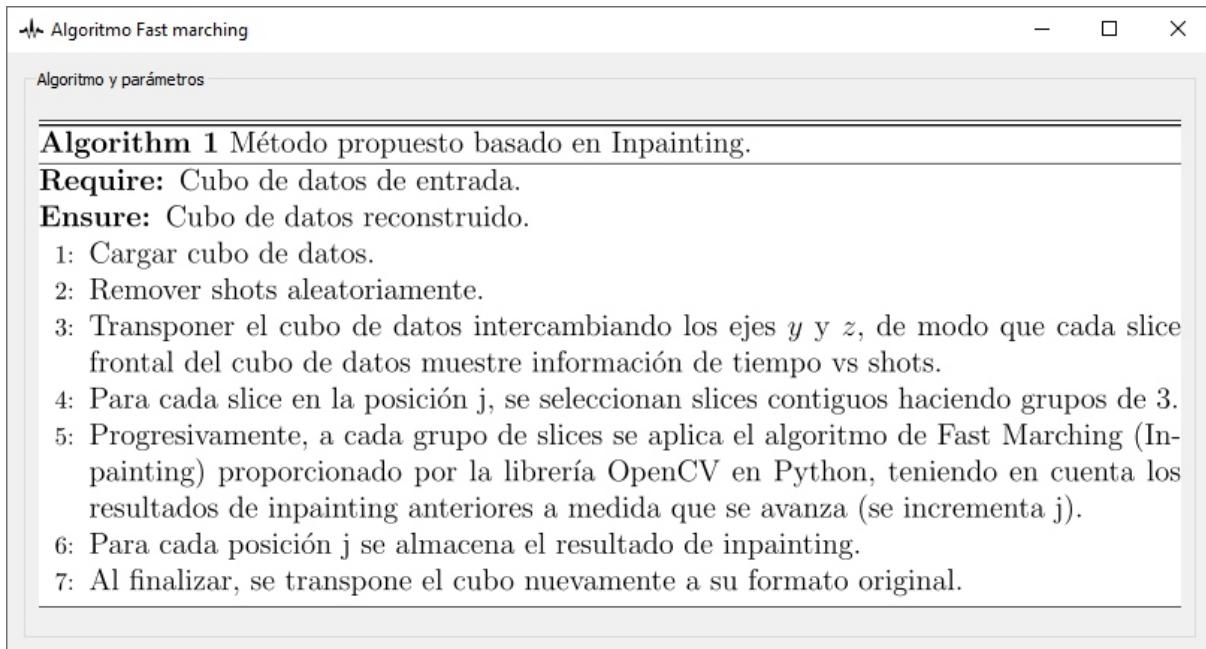


Figura 49: Algoritmo Fast Marching

A continuación se presentan los tipos de submuestreo a aplicar en ReDs:

Submuestreo Aleatorio

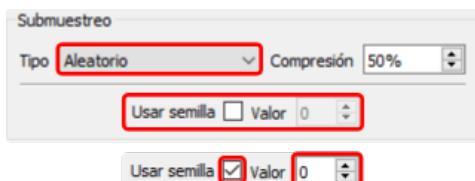


Figura 50: Submuestreo aleatorio.

Aplica un submuestreo aleatorio a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión. Al habilitar la semilla, se puede establecer el mismo submuestreo para todas las veces que se ejecute un experimento, como se observa en la figura 50.

Submuestreo Uniforme

Aplica un submuestreo uniforme a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión, como se observa en la figura 51.

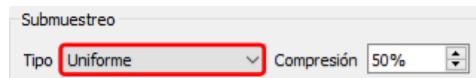


Figura 51: Submuestreo uniforme.

Submuestreo Jitter



Figura 52: Submuestreo jitter.

Aplica un submuestreo aleatorio o uniforme de acuerdo a la cantidad de bloques ingresados por el usuario a las trazas sísmicas de acuerdo al nivel de compresión, como se observa en la figura 52.

Submuestreo Lista

Aplica un submuestreo de tipo lista donde las trazas a remover son ingresados por el usuario, como se observa en la figura 53. Para este tipo de submuestreo es necesario validar que el usuario ingrese los datos con un formato lógico y específico.

Las condiciones son las siguientes:

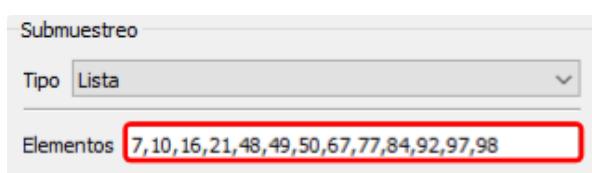


Figura 53: Submuestreo de tipo lista.

- La secuencia debe ser x_1, x_2, x_n , tal que $x_i \in \mathbb{Z}^+$ representa los índices de las trazas a resolver, donde entre cada x_i no deben haber espacios y estar separados por números, como se observa en la figura 54.
- Cada x_i debe cumplir $0 \leq x_i \leq N$, donde N es la cantidad máxima líneas de receptores que contiene un *shot*.
- Deben haber mínimo siete x_i distintos.

3.4. Experimentos

Una vez ya se ha cargado un dato sísmico, seleccionado el algoritmo, ajustado sus parámetros y configurado el tipo de submuestreo, entonces se podrá realizar un experimento. El panel (4), en el extremo izquierdo de la figura 45, permite controlar el progreso de la ejecución del experimento a realizar.

Realizando un experimento

Para iniciar un nuevo experimento se debe pulsar el botón que se observa en la figura 55. Aquí el usuario seleccionará el directorio donde desee que los resultados de su experimento sean guardados, como se observa en la figura 56.

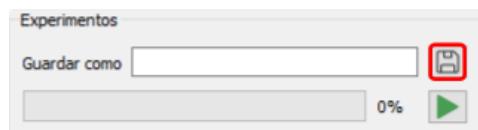


Figura 55: Panel de experimentos.

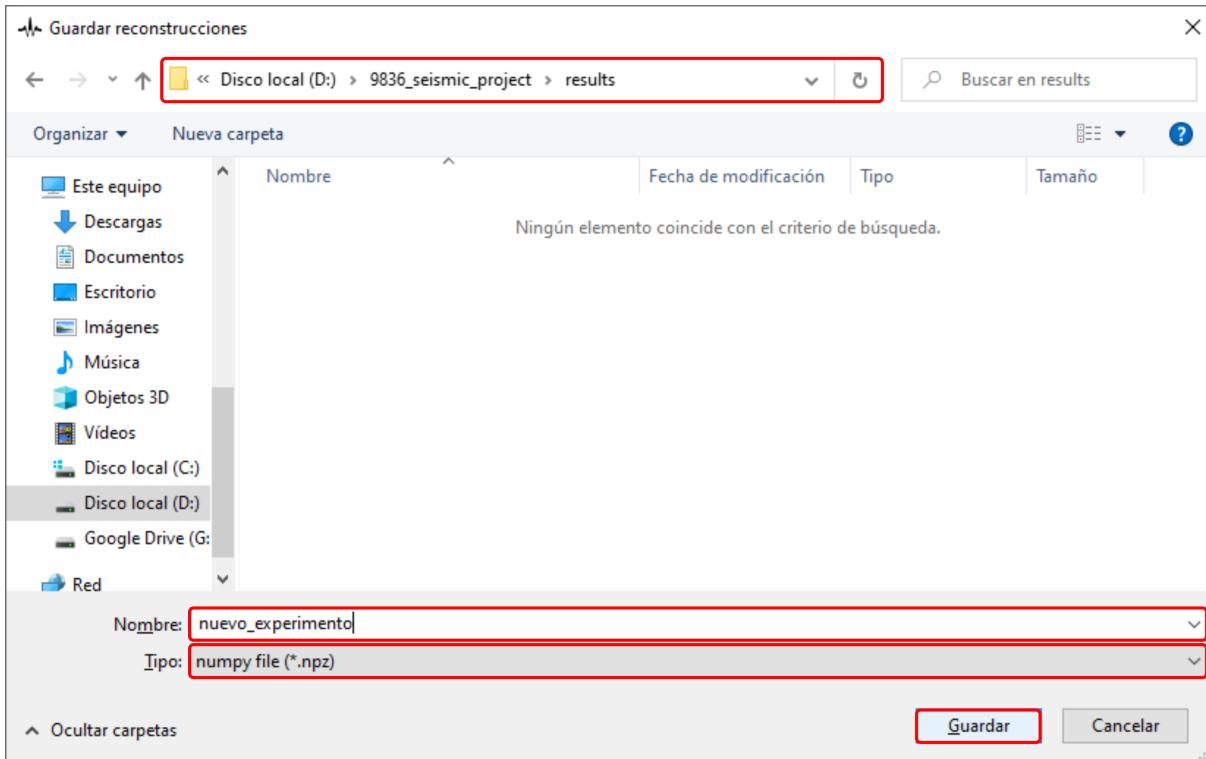


Figura 56: Ventana de guardado de resultados.

Es necesario asignar un nombre al experimento para poder guardarla. En este ejemplo usaremos *nuevo_experimento* como nombre del archivo de salida, con la extensión *.npz*. Finalmente, presionamos el botón *Guardar*.

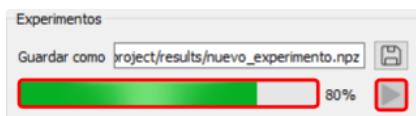


Figura 57: Ejecución de un experimento en tiempo real.

Para correr el experimento se debe pulsar en el botón ►. En la barra de progreso, a la izquierda de dicho botón, se podrá el progreso del actual experimento, como se observa en la figura 57.

3.5. Visualización de Resultados de Datos Completos

Los resultados de todos los experimentos se pueden observar en el panel ⑥, en el extremo derecho de la figura 45. En este panel se encuentran dos tipos de visualización: la visualización del rendimiento (iteraciones vs. error/psnr) y visualización de la reconstrucción, como se observa en la figura 58.

Como se mencionó en la sección 2.1.4, para los experimentos que sean ejecutados se podrá ver tanto el rendimiento como la reconstrucción de las trazas en tiempo real. A continuación se detallará que es lo que se observa exactamente en cada una de estos subpaneles.



Figura 58: Panel de resultados.

Rendimiento

En esta subventana se observa el rendimiento actual del experimento que esté corriendo, como se muestra en la figura 59. Esta figura presenta una gráfica con dos ejes: el **eje izquierdo** representa el índice de similaridad estructural (SSIM); y el **eje derecho** representa la proporción máxima de señal a ruido (PSNR) de las trazas重建adas con respecto a las verdaderas. En general, ambas métricas cuantifican la degradación de la calidad de la imagen.

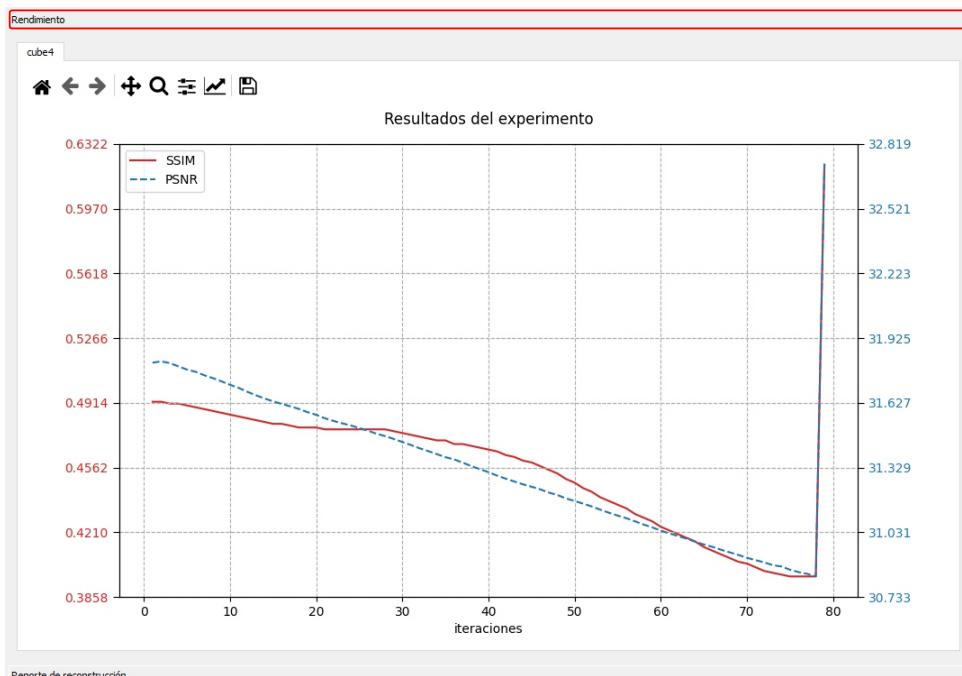


Figura 59: Rendimiento de un experimento realizado.

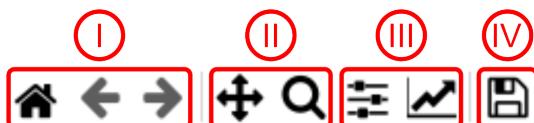


Figura 60: Opciones de la gráfica.

En la parte superior de la gráfica *Resultados del experimento* se observa una barra de herramientas, tal como se muestra en la figura 60. Estas modifican alguna característica de la gráfica de resultados, tal como se indica a continuación:

- I. El botón permite volver a la gráfica a su estado original. Los otros dos botones, y , permiten ir hacia adelante o atrás en las modificaciones realizadas a la gráfica.
- II. El botón permite desplazar la gráfica en cualquier dirección, mientras que el botón permite realizar un acercamiento o alejamiento de la gráfica.

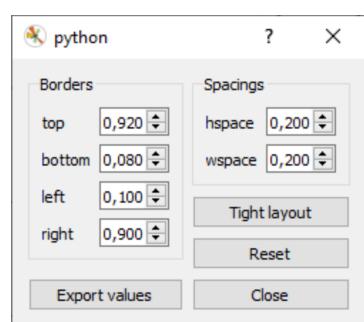


Figura 61: Configuración de subplots.

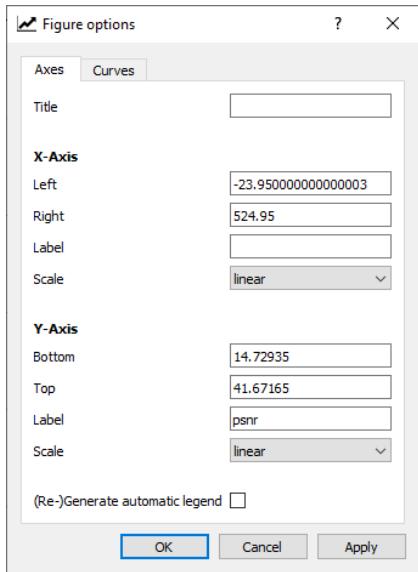


Figura 62: Editor de ejes, curvas y parámetros de la gráfica.

III. Los siguientes botones tienen un comportamiento más complejo. El botón abre la subventana que se observa en la figura 61. Esto permitirá ajustar la visualización de los bordes de la gráfica y el espaciado con respecto a su contenedor padre. Por otra parte, el botón permitirá configurar la visualización de los ejes (cantidad de valores) y el tipo de escala para cada eje, como se observa en la figura 62.

IV. Finalmente, el botón permitirá guardar una imagen de la gráfica exactamente como se observe en ese instante. Los formatos soportados para exportar una gráfica son: *.eps, .jpg, .pgf, .pdf, .png, .ps, .raw, .svg, .tiff*.

Reporte de Reconstrucción

Por otra parte, los resultados cuantitativos del experimento se observan en el subpanel de *Reporte*, como se muestra en la figura 63. Esta gráfica presenta las referencias y reconstrucciones para diferentes shots, con sus correspondientes métricas de reconstrucción.

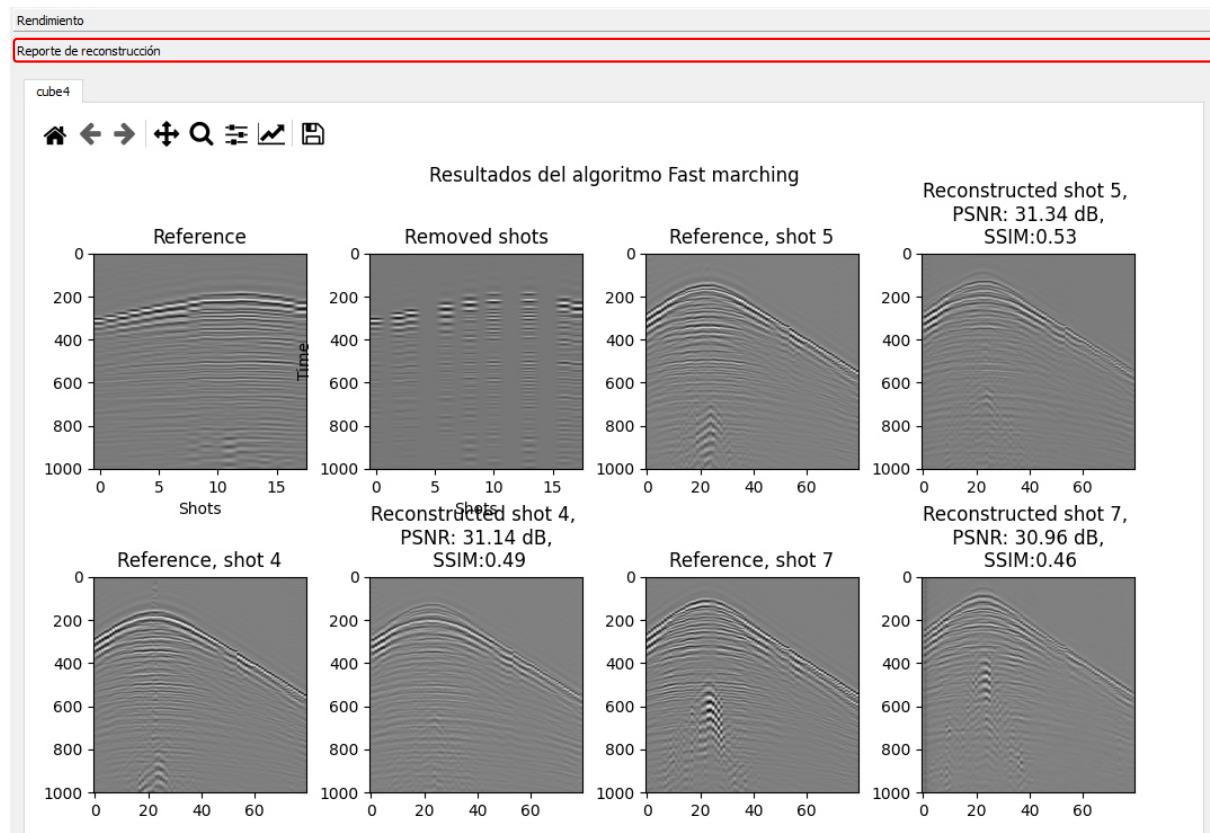


Figura 63: Reporte cuantitativo de un experimento realizado.

3.6. Visualización de Resultados de Datos Incompletos

Los resultados de los experimentos usando datos incompletos difieren de los resultados usando datos completos dado que no existe una medida real de comparación. Por esta razón no es posible calcular métricas de error como el psnr. Para el caso de datos incompletos se usa la medida *Total Variation* (TV) como una medida de la suavidad de la reconstrucción. La figura 64 muestra un ejemplo de la evolución del TV para un ejemplo práctico.

Por otra parte, el panel de experimento para datos incompletos es similar al caso cuando se usan datos completos, tal y cual se muestra en la figura 65.

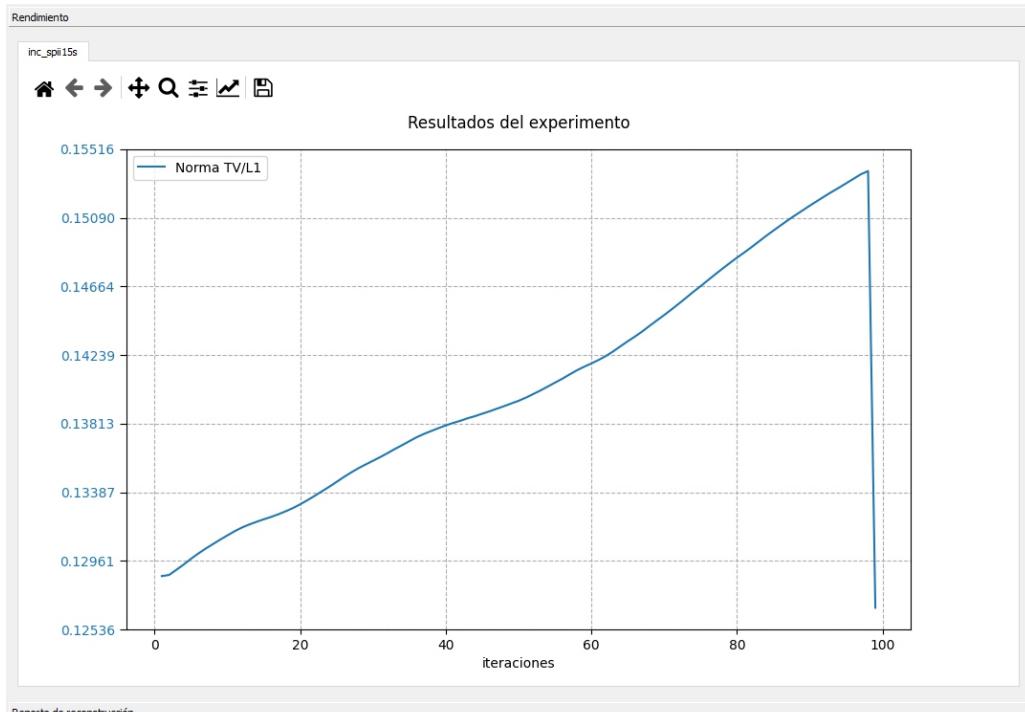


Figura 64: Rendimiento de un experimento realizado usando datos incompletos.

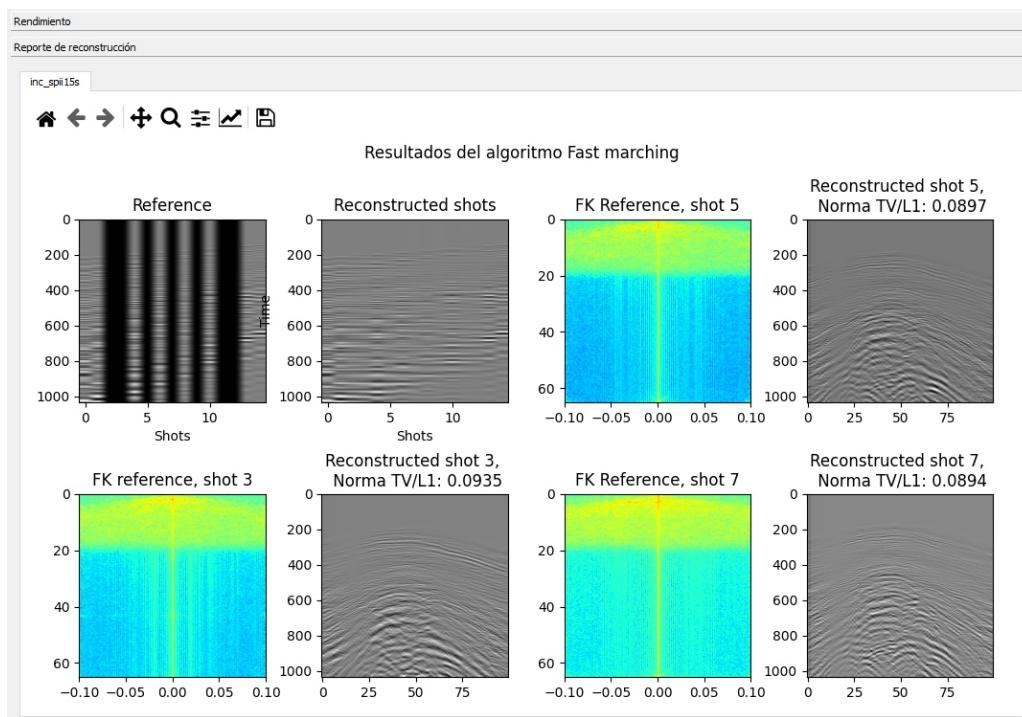


Figura 65: Reporte cuantitativo de un experimento realizado usando datos incompletos.

4. Acerca de

Como se mencionó al principio de este manual, esta aplicación se encuentra asociada con varias compañías colombianas relacionadas en el sector de la sísmica. Por lo tanto, si se pulsa el botón *Acerca de*, como se muestra en la figura 66, se abrirá una nueva ventana donde se menciona dicha información de manera más detallada, como se observa en la figura 67.

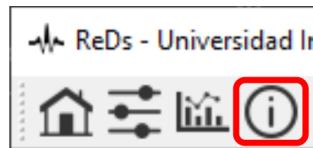


Figura 66: Botón de Acerca de.



Figura 67: Acerca de.

5. Recomendaciones de uso

Con el propósito de obtener el mayor rendimiento de la aplicación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Realizar los experimentos siguiendo este orden:

Menú principal

1. Cargar un dato sísmico.
2. Seleccionar el algoritmo que desea usar y configurar sus parámetros.
3. Seleccionar el tipo de submuestreo y configurar sus parámetros.
4. Darle un nombre a los resultados a guardar usando el botón .
5. Iniciar el experimento usando el botón ►.

Ajuste de parámetros

Se sigue el mismo orden que el menú principal, pero los incisos 2 y 3 cambian por:

2. Seleccionar el algoritmo que desea usar y configurar la cantidad máxima de iteraciones.
 3. Configurar el ajuste de parámetros que se desea realizar.
- Para la configuración de parámetros se recomienda usar valores razonables y no excesivamente grandes debido a que dependiendo del equipo de cómputo utilizado y al algoritmo seleccionado, se puede elevar el consumo de CPU y memoria RAM al intentar utilizar otras herramientas de la aplicación mientras se corre algún experimento. Actualmente, la aplicación continúa en desarrollo para soportar estos tipos de usos o genera mensajes de advertencia al usuario.