



Sonar multihaz

Observando en 3D

Foco

Sonar multihaz

Grado

9-12 (Ciencias físicas/Ciencias de la tierra)

Pregunta central

¿Cómo se utiliza el sonar multihaz para explorar el océano profundo?

Objetivos de aprendizaje

- Los estudiantes explicarán cómo el sonar multihaz usa las propiedades de ondas sonoras en el agua para la investigación científica acerca de la topografía del fondo oceánico.
- Los estudiantes analizarán e interpretarán datos de sonar multihaz para identificar patrones en la distribución de características del fondo marino, que contribuyen a la investigación científica acerca de las interacciones a gran escala en los sistemas de la Tierra.

Materiales

- Copias de *Sonar: hoja de ejercicios de repaso*, una copia por cada estudiante.
- Copias de *Hoja de ejercicios para introducir las imágenes multihaz*, una copia por cada grupo de estudiantes.

Materiales Audiovisuales

- Proyector de video o monitor de pantalla grande para mostrar las imágenes descargadas (vea Procedimiento de aprendizaje, paso 3)

Tiempo de enseñanza

Dos o tres períodos de clase de 45 minutos

Disposición de los asientos

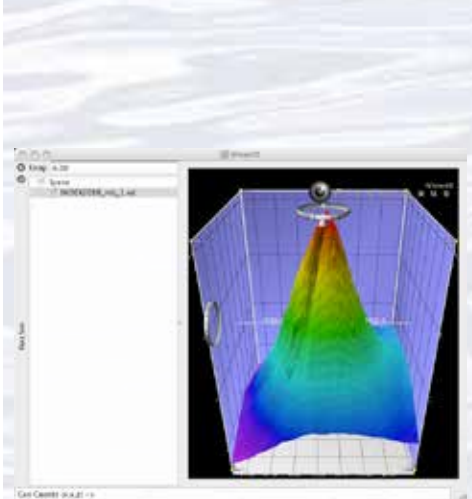
Grupos de tres a cuatro estudiantes

Máximo número de estudiantes

30

Palabras y conceptos clave

Exploración del océano
Okeanos Explorer
Mapa batimétrico
Sonar multihaz



Una imagen de sonar multihaz del volcán submarino Kawio Barat, visualizada por medio del software iView4D y utilizando los datos recopilados durante la Expedición INDEX-SATAL del 2010.



Información de fondo

El sonar multihaz es una de las herramientas más poderosas disponibles para la exploración actual en aguas profundas. Puede crear mapas de alta resolución, modelos tridimensionales e incluso videos “fly-through” que simulan un viaje por el área que se está mapeando. Para obtener más información sobre cómo se utiliza el sonar multihaz a bordo del buque *Okeanos Explorer* de NOAA, consulte *Introducción al sonar multihaz*.

Una técnica importante para estudiar las imágenes multihaz utiliza un sistema tridimensional de visualización de datos llamado Fledermaus (que es la palabra alemana para “bat”, y se pronuncia “FLEE-der-mouse”). Esta lección presenta la tecnología de sonar multihaz y un análisis simple de los datos multihaz usando un programa de visualización gratis de imágenes multihaz en el formato de archivo Fledermaus.

Procedimiento de aprendizaje

1. Preparativos para esta lección:

a) Revise:

- Ensayos introductorios para la Expedición INDEX-SATAL de 2010 (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/welcome.html>);
- Minding the Multibeam at Midnight por Colleen Peters (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/aug05/aug05.html>); y
- State of the Art Seafloor Survey por Meme Lobecker y Elaine Stuart (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/july31/july31.html>).

(b) Revise la información básica acerca de las estrategias de exploración y tecnología del *Okeanos Explorer*.

(c) Si lo desea, descargue imágenes para acompañar las discusiones en el paso 2. También puede descargar la siguiente imagen de “antes y después” para ilustrar las capacidades del sonar multihaz:

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/bires/em302_before_after_bires.jpg,

así como una o más de las siguientes animaciones para acompañar las discusiones en el paso 3:

<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02fire/logs/jul08/media/sm2k.html>;

<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02fire/logs/magicmountain>; and

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/media/movies/ex_podcast_video.html

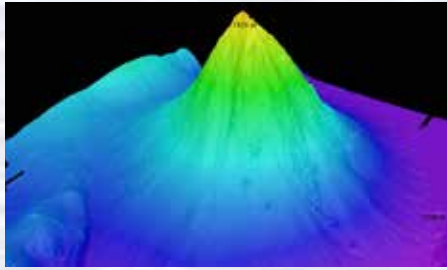
(d) Revise la información básica y las preguntas sobre la tecnología de sonar multihaz en *Sonar: hoja de ejercicios de repaso* y *hoja de ejercicios para introducir las imágenes multihaz*. Haga copias de *Sonar: hoja de ejercicios de repaso* y también de *hoja de ejercicios para introducir las imágenes multihaz*, para cada estudiante.

(e) Descargue el programa iView4D aquí: <http://www.gps.nl/display/main/download>, y descargue el archivo de datos **INDEX2010_mb_1.sd** aquí:

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/edu/resources/media/INDEX2010_mb_1.sd

e instálelo en las computadoras que los estudiantes usarán para completar la actividad de la Hoja de ejercicios. Una alternativa posible es que los estudiantes descarguen estos recursos en sus propias computadoras.





El sistema multihaz EM302 del *Okeanos Explorer* produjo esta imagen detallada del monte submarino Kawio Barat, que se eleva a unos 3800 metros del fondo marino. Imagen: Programa *Okeanos Explorer*, INDEX-SATAL 2010, NOAA.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/hires/june26fig1_hires.jpg



Un CTD está amarrado a una estructura metálica llamada roseta, o carrusel, junto con numerosas botellas de muestreo de agua y cuando se despliega, proporciona información sobre la composición de la columna de agua. Imagen: NOAA.

<http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/tools/sondectd/sondectd.html>



Los tripulantes del *Okeanos Explorer* lanzan el vehículo durante las inmersiones de prueba en Hawái. Imagen: Programa *Okeanos Explorer* de NOAA, INDEX-SATAL 2010.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/hires/launch_hires.jpg



El jefe de equipo de ROV, el comandante y el jefe del equipo científico discuten las operaciones en el Mid-Cayman Rise con participantes ubicados tanto en el ECC de Silver Spring como en el Inner Space Center de URI. Imagen: Programa *Okeanos Explorer* de NOAA, Expedición MCR del 2011.

http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/ex1104/logs/hires/daily_updates_aug9_1_hires.jpg

2. Dele a cada estudiante una copia de *Sonar: hoja de ejercicios de repaso* como tarea preparatoria para el resto de la lección.
3. Introduzca brevemente al buque *Okeanos Explorer* de NOAA y a la Expedición INDEX-SATAL del 2010. Describa brevemente por qué este tipo de exploración es importante (para información contextual, por favor vea la lección, Earth's Ocean is 95% Unexplored: So What?; http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/edu/media/so_what.pdf). Destaque la estrategia de exploración general utilizada por *Okeanos Explorer*, incluyendo los siguientes puntos:
 - La estrategia general se basa en encontrar anomalías;
 - Esta estrategia requiere
 - reconocimiento en curso;
 - exploración de la columna de agua; y
 - caracterización del sitio;
 - Esta estrategia se basa en cuatro tecnologías clave:
 - sistema de cartografía de sonar multihaz;
 - CTD y otros sensores electrónicos para medir las propiedades químicas y físicas del agua de mar;
 - un Vehículo de Operación Remota (ROV) capaz de obtener imágenes de alta calidad y muestras en profundidades de hasta 4000 metros; y
 - tecnologías de telepresencia que permiten que las personas observen e interactúen con eventos que ocurren en una ubicación remota.

Quizás le interese mostrar las imágenes de la barra general adyacente y adjuntarlas a esta revisión.

4. Revise las respuestas de los estudiantes a las preguntas de *Sonar: hoja de ejercicios de repaso*. Puede comparar las respuestas del documento con las respuestas proporcionadas.
5. Pregúntele a los estudiantes qué es lo que saben acerca de un sonar y proporcione información adicional según sea necesario. Asegúrese de que los estudiantes comprendan que el sonar utiliza una señal acústica o un pulso de sonido que se transmite en el agua por una especie de altavoz submarino conocido como transductor. Si el fondo marino u otro objeto se encuentra en la trayectoria del pulso de sonido, el sonido rebotará del objeto y le devolverá al transductor de sonar, un “eco”. El tiempo transcurrido entre la emisión del impulso sonoro y la recepción del eco se utiliza para calcular la distancia del objeto. Dado que el tiempo transcurrido entre la transmisión de un impulso y el retorno de su eco es el tiempo que tarda el sonido en desplazarse hasta el fondo y de regreso, si sabemos este tiempo y la velocidad local del sonido podemos calcular la distancia hasta el fondo (esta distancia se llama rango). El tiempo medido entre la transmisión de impulsos y el retorno del eco es el tiempo de “ida y vuelta”, por lo cual el pulso ha recorrido el doble del rango durante este tiempo. Por esta razón, la fórmula general para el rango es:

$$\text{rango} = (1/2) (\text{velocidad local de sonido}) (\text{tiempo del eco})$$

Un sistema de sonar multihaz utiliza múltiples transductores que apuntan en diferentes ángulos a ambos lados de un buque para crear una franja de señales. El intervalo de tiempo entre la transmisión de la señal y la llegada del eco de retorno se utiliza para estimar la profundidad sobre el área de la franja. Además de los mapas de alta resolución, los datos multihaz pueden usarse para crear





modelos tridimensionales o incluso videos “fly-through” que simulan un viaje por el área que se está mapeando. Quizás desee mostrar una o más imágenes o clips de video a los que hacemos referencia en el paso 1c.

Describe el rol del sonar multihaz en la exploración oceánica a bordo de *Okeanos Explorer*. La imagen en la página 2 de la *Introducción al sonar multihaz*, http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/background/hires/em302_before_after_hires.jpg, muestra en qué medida el sistema de mapeo EM302 del *Okeanos Explorer* agrega información a nuestro conocimiento del terreno del fondo marino. Los estudiantes deben comprender que esta es la tecnología clave para el componente de “reconocimiento” de la estrategia de exploración general, y proporciona una visión general mientras los exploradores buscan anomalías.

Muestre la siguiente imagen: http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/hires/xbt_cast_hires.jpg en la cual dos científicos están realizando un lanzamiento XBT durante la Expedición INDEX-SATAL de 2010. Asegúrese de que los estudiantes entiendan que un XBT es un “batitermógrafo desechable” que mide la temperatura a través de la columna de agua. Pregúntele a los estudiantes por qué esta información es importante para operaciones precisas multihaz. Los estudiantes deben darse cuenta de que la temperatura afecta a la velocidad local del sonido que tenemos que saber para calcular el rango, como se describió anteriormente.

- Dele a cada grupo de estudiantes una copia de *Ejercicios para introducir las imágenes multihaz*, y asegúrese que los estudiantes tengan acceso al software y al archivo referenciados en el paso 1e. Dígales que esta actividad tiene la intención de familiarizarlos con imágenes multihaz y mostrarles cómo estas pueden ser manipuladas para responder preguntas básicas sobre características del fondo del océano. También puede mencionar que esta habilidad les permitirá investigar imágenes adicionales que estarán disponibles en futuras misiones del *Okeanos Explorer*.
- Cuando los estudiantes hayan contestado las preguntas del documento *Ejercicios para introducir las imágenes multihaz*, conduzca una discusión acerca de los resultados. Las respuestas de los estudiantes pueden compararse con las respuestas proporcionadas. La discusión puede incluir los siguientes componentes

Los investigadores llevan a cabo un lanzamiento de XBT durante la expedición INDEX-SATAL del 2010. Imagen: Programa *Okeanos Explorer* de NOAA, INDEX-SATAL 2010. http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/explorations/10index/logs/aug05/media/xbt_cast.html

Latitud y longitud

Si los estudiantes no están familiarizados con los conceptos de latitud y longitud, consulte The Robot Archaeologist (<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/09newworld/background/edu/media/robot.pdf>), página 11.

¿Grados, minutos, segundos o grados decimales?

El software iView4D proporciona longitud y latitud (“Coordenadas geográficas”, X e Y en la parte inferior izquierda de la ventana del visor) en grados, minutos y segundos; pero el *Okeanos Atlas* utiliza el formato de grado decimal.

Para convertir grados/minutos/segundos a grados decimales:

- Convierta segundos en minutos y agregue a minutos.
- Convierta minutos en grados y añada a grados.

Por ejemplo, para convertir 4° 44' 49" a grados decimales:

- Divida 49" por 60 segundos/minuto = 0.81667; súmele a 44' = 44.81667
- Divida 44.81667 por 60 minutos/grado = 0.74694; Súmele a 4° = 4.74694°

Para convertir grados decimales a grados/minutos/segundos:

- Multiplique la parte decimal del número por 60. La parte entera del número resultado es minutos.
- Multiplique la parte decimal del resultado por 60 para encontrar la cantidad de segundos.

Por ejemplo, para convertir 4.74694° a grados/minutos/segundos:

- Multiplique 0.74694 por 60 = 44.8164. La cantidad de minutos es 44.
- Multiplique 0.8164 por 60 = 48.984. La cantidad de segundos es 49.

Por lo tanto, 4.74694° = 4° 44' 49"

de la alfabetización tecnológica (ITEA, 2007):

- **Alcance de la tecnología:** El desarrollo de la tecnología de sonar multihaz es el resultado de una investigación específica con objetivos claros.
- **Relación entre tecnologías y otros campos de estudio:** El progreso en el desarrollo de la tecnología de sonar multihaz está estrechamente ligado a los avances en ciencia y matemáticas.
- **Efectos de la tecnología en el medio ambiente:** La tecnología de sonar multihaz proporciona una nueva forma de monitorear varios aspectos del medio ambiente para proveer información necesaria para la toma de decisiones.

La conexión BRIDGE

www.vims.edu/bridge/ – Desplácese por “Ocean Science Topics” en el menú del lado izquierdo de la página, luego vaya a “Human Activities” y “Habitats”. Finalmente, seleccione “Deep Ocean” para obtener actividades y enlaces sobre ecosistemas marinos profundos.

La conexión personal

Pídale a los estudiantes que escriban un breve ensayo describiendo un viaje de mochilero a través de un paisaje que tenga la misma topografía mostrada en la imagen multihaz utilizada para la actividad de la Hoja de Ejercicios.

Conexiones con otros temas

Arte del idioma inglés (ELA), ciencias sociales, matemáticas

Evaluación

Las respuestas de los estudiantes a las preguntas de la Hoja de Ejercicios y las discusiones en clase proporcionan oportunidades para la evaluación.

Extensiones

Visite la página Web (<http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/welcome.html>) para obtener informes, imágenes y otros productos de los cruceros del *Okeanos Explorer*.

Misiones de descubrimiento multimedia

<http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/learning/welcome.html> – Haga clic en los enlaces a las lecciones 1, 5, y 6 para obtener presentaciones interactivas multimedia y actividades para aprender acerca de las placas tectónicas, de la quimiosíntesis, la vida en las fuentes hidrotermales y el bentos de la profundidad del mar.

Estándares científicos de la próxima generación

Los planes de lecciones desarrollados para el Volumen 2 están correlacionados con *Los principios esenciales y los conceptos fundamentales de la alfabetización oceánica* como se indica en la parte posterior de este libro. Además, un documento en línea ilustra el apoyo individual de lecciones para las Expectativas de rendimiento y las tres dimensiones de los Estándares científicos de la próxima generación y los Estándares estatales de Common Core para matemáticas, la alfabetización, y el arte del idioma inglés (ELA). Le damos esta información a los educadores como contexto o punto de partida para abordar normas particulares. Esto no significa necesariamente que cualquier lección desarrolla completamente un estándar, principio o concepto particular. Por favor, vea: http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/edu/collection/hdwe_ngss.pdf

Envíenos sus comentarios

Valoramos sus comentarios acerca de esta lección, incluyendo cómo la usa usted en su propia configuración educativa, formal o informal. Por favor, envíe sus comentarios a: oceaneducation@noaa.gov

Para más información

Paula Keener, Directora de los Programas Educativos de la Oficina de Exploración e Investigación Marina de NOAA Hollings Marine Laboratory
331 Fort Johnson Road, Charleston SC 29412
843.762.8818 843.762.8737 (fax)
paula.keener-chavis@noaa.gov

Agradecimientos

Producido por Mel Goodwin, PhD, biólogo marino y escritor científico, Charleston, SC. Diseño Gráfico: Coastal Images Graphic Design, Charleston, SC. Si reproduce esta lección, por favor cite a NOAA como su fuente, y proporcione la siguiente URL: <http://oceanexplorer.noaa.gov>



Sonar: hoja de ejercicios de repaso

1. ¿Cómo son las ondas de sonido en el agua, diferentes de las ondas electromagnéticas como la luz o las ondas de radio?
2. ¿Cuáles son algunas de las condiciones que afectan la velocidad de las ondas acústicas que viajan en el agua?
3. Las ondas sonoras pueden ser consideradas como una secuencia de frentes de presión móviles. ¿Cuál es el término para la distancia física entre dos frentes de presión consecutivos?
4. ¿Cuál es el término para el número de frentes de presión que cruzan un punto estacionario en un cierto período de tiempo?
5. ¿Cuál es la relación matemática entre las propiedades descritas en las preguntas 3 y 4?
6. Cuando una onda sonora que se mueve a través del agua encuentra un cambio de temperatura, ¿qué sucede con las propiedades descritas en las preguntas 3 y 4?
7. Cuando una onda sonora se mueve a través del agua, ¿qué es lo que se está realmente moviendo?
8. Los instrumentos llamados hidrófonos miden los cambios en la presión causados por los frentes de presión de una onda sonora. Si una onda sonora causa cambios de presión mayores que otra onda sonora, ¿qué indica esto sobre las dos ondas?
9. La presión causada por una onda sonora está directamente relacionada con una tercera propiedad de las ondas. ¿Cuál es esta propiedad?
10. ¿Qué sucede con la propiedad identificada en la pregunta 9 cuando una onda sonora se mueve a través del agua?
11. ¿Cómo se identifica el efecto identificado en la pregunta 10 relacionado con la propiedad identificada en la pregunta 4?
12. Cuando una onda sonora que se mueve a través del agua encuentra otro objeto, como la roca o la arena, ¿cuáles son las tres cosas que suceden con la cantidad identificada en la pregunta 7?



Sonar: hoja de ejercicios de repaso/respuestas

1. Las ondas sonoras en el agua se mueven como ondas de compresión, mientras que las ondas electromagnéticas son ondas transversales.
2. La velocidad de las ondas sonoras que viajan en el agua se ve afectada por las condiciones del agua, tales como la salinidad, la presión y la temperatura; la velocidad de las ondas sonoras bajo un conjunto particular de estas condiciones se llama velocidad local del sonido. En el océano, la velocidad del sonido es de unos 1500 metros por segundo.
3. La distancia física entre dos frentes de presión consecutivos en una onda sonora es la longitud de onda.
4. La cantidad de frentes de presión que pasan por un punto estacionario en un cierto período de tiempo es la frecuencia de la onda.
5. La relación matemática entre la longitud de onda y la frecuencia es:

$$\text{Velocidad del sonido} = \text{frecuencia} \times \text{longitud de onda}$$

Normalmente, la longitud de onda se mide en metros (m), y la frecuencia se mide en ciclos por segundo (Hz), por lo que las unidades para la velocidad del sonido son metros por segundo.

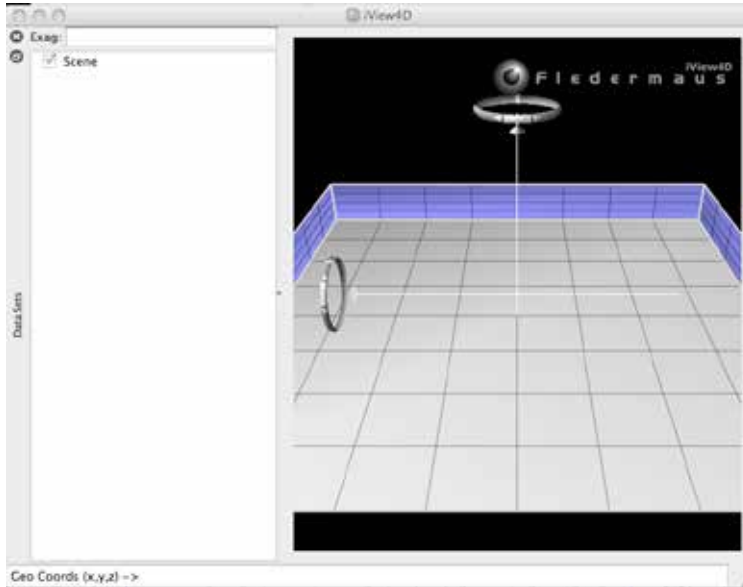
6. Cuando una onda sonora que se mueve a través del agua encuentra un cambio de temperatura, la velocidad local del sonido y la longitud de onda cambian, pero la frecuencia permanece constante.
7. Cuando una onda sonora se mueve a través del agua, es la energía lo que realmente se mueve.
8. Si una onda sonora induce un cambio de presión mayor que otra onda sonora,, la primera onda sonora contiene más energía.
9. La presión causada por una onda sonora está directamente relacionada con la amplitud de la onda, que está relacionada con la energía acústica de la onda; las ondas de mayor amplitud contienen más energía.
10. Cuando una onda sonora se mueve a través del agua, gradualmente pierde parte de su energía, por lo que su amplitud se reduce.
11. Las ondas sonoras con frecuencias más altas, pierden energía más rápidamente que aquellas con frecuencias más bajas.
12. Cuando una onda sonora que se mueve a través del agua encuentra otro medio, parte de su energía es transferida al nuevo objeto, otra parte rebota de la superficie del objeto, y el resto se dispersa en todas direcciones. La cantidad de energía que rebota y la cantidad que se dispersa depende de las características del objeto y del ángulo en que la onda golpea al objeto (ángulo de incidencia). La energía que rebota mantiene las características de frecuencia de la onda sonora original.



Hoja de ejercicios para introducir las imágenes multihaz

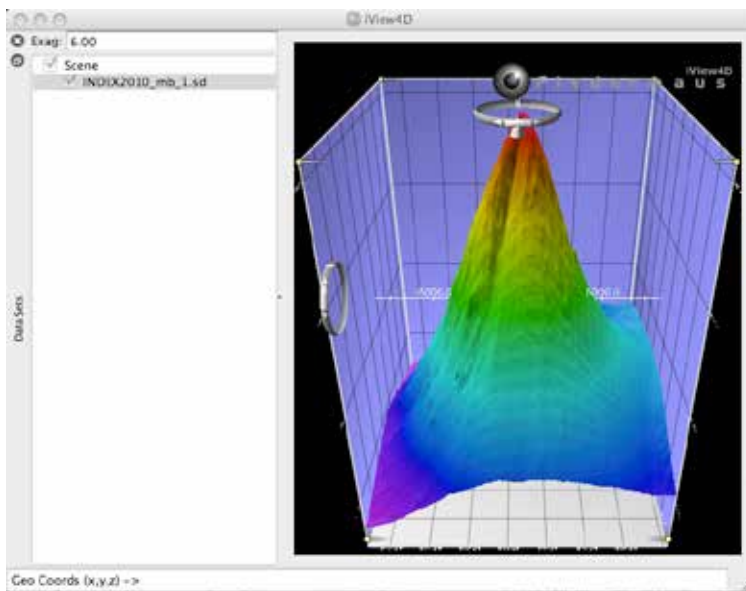
1. Inicie el software iView4D. Su pantalla debe parecerse a la Figura 1. Observe los anillos de control de rotación cerca del centro superior y el lado medio izquierdo de la pantalla. Si su pantalla no se parece a la Figura 1, asegúrese de que "Bounds" esté marcado bajo el menú desplegable "View".

Figura 1.



2. Abra el archivo, INDEX2010_mb_1.sd. Ahora su pantalla debe parecerse a la figura 2. Esta es una imagen sonar multihaz del volcán submarino Kawio Barat que fue identificado como una prioridad para la exploración durante la Expedición INDEX-SATAL 2010.

Figura 2.



El fondo del océano se ve como una imagen tridimensional. El eje X representa la longitud, el eje Y representa la latitud y el eje Z representa la profundidad. Cuando mueve el cursor sobre la imagen, la ventana situada en la parte inferior de la pantalla muestra las coordenadas geográficas (X, Y, Z) de la ubicación situada debajo del cursor.





El anillo de control de rotación cerca de la parte superior permite girar la imagen alrededor del eje vertical y el aro de control de rotación a la izquierda permite girar la imagen alrededor del eje horizontal. Alternativamente, puede hacer clic con el botón izquierdo del ratón (clic simple en una plataforma Macintosh) y arrastrar hacia arriba o hacia abajo para girar la imagen alrededor del eje horizontal, o puede hacer clic con el botón izquierdo del ratón y arrastrar hacia la izquierda o derecha para girar la imagen alrededor del eje vertical.

Puede ampliar la imagen haciendo clic con el botón derecho del ratón (o haciendo clic con el botón Control en una plataforma Macintosh) en el centro de la imagen arrastrándola para acercarla o alejarla.

Algunas imágenes utilizan “exageración vertical” para mostrar las características más claramente. Esto significa que la escala vertical es más grande que la escala horizontal, de modo que las características verticales se magnifican. Puede controlar la cantidad de exageración vertical haciendo clic y arrastrando el objeto en forma de cono en la línea de escala vertical cerca del centro de la imagen. Los números en las líneas de la escala muestran las escalas horizontales y verticales relativas.

Experimente con estos controles para descubrir cómo le permiten manipular la imagen y luego responda las siguientes preguntas:

3. ¿Cuáles son los límites de latitud norte y sur de esta imagen? (sugerencia: el anillo de control de rotación a la izquierda permite girar la imagen para que esté mirando hacia abajo.)
4. ¿Cuáles son los límites de longitud este y oeste de esta imagen?
5. ¿Cuál es la profundidad aproximada de las partes más profundas de la imagen?
6. ¿Qué tan profunda es la parte más superficial de este volcán? (sugerencia: aumentar la exageración vertical hará que sea más fácil detectar la porción más superficial.)
7. ¿Cuál es el diámetro aproximado del volcán en su base? (sugerencia: un minuto de latitud es igual a una milla náutica, que es igual a 1852 km, pero tenga en cuenta que los cuadrados de la imagen de Fledermaus no equivalen necesariamente a un minuto).
8. ¿Cuál es la pendiente aproximada del volcán? (sugerencia: piense en el volcán como un triángulo rectángulo cuya base es la mitad del diámetro del volcán.)
9. A menudo, las áreas donde la topografía local es empinada o muy cambiante también serán áreas que tienen una variedad de organismos biológicos. ¿Cuál es la ubicación aproximada de un área en el volcán que parece tener este tipo de topografía? (sugerencia: esto es más fácil de ver sin exageración vertical.)

Respuestas para la hoja de ejercicios de imágenes multihaz

- Los límites de latitud norte y sur de la imagen son: $4^{\circ} 44' 49''$ (4.7469°) de latitud N y $4^{\circ} 36' 10''$ (4.6028°) de latitud N respectivamente. La lectura de los números en las escalas de latitud y longitud puede ser difícil; una manera más fácil de encontrar esta información es girar la imagen para estar encima, luego colocar el cursor cerca de los bordes de la imagen y leer las coordenadas de latitud y longitud desde la ventana en la parte inferior izquierda.
- Los límites de longitud este y oeste de esta imagen son aproximadamente $125^{\circ} 9' 39''$ (125.1608°) longitud E y aproximadamente $125^{\circ} 01' 02''$ (125.0172°) longitud E, respectivamente.
- Las partes más profundas de la imagen están a aproximadamente 5400 metros de profundidad (cerca del borde noroeste de la imagen).

- La parte más baja de este volcán es de unos 1870 metros de profundidad.
- Podemos estimar el diámetro del volcán encontrando los límites de latitud norte y sur de la base. Si usamos el borde del sombreado azul claro como base (la base real es más profunda que ésta, pero no se muestra completamente en la imagen, los estudiantes pueden seleccionar un límite exterior diferente, en cuyo caso los siguientes cálculos tendrán que ser ajustados, pero la técnica de cálculo es la misma), el límite de latitud norte es de alrededor de $4^{\circ} 44' 21''$ (4.73917°) N, y el límite de latitud sur es de aproximadamente $4^{\circ} 36' 16''$ (4.60444°) N. La diferencia entre estos números es $8' 5''$. Dado que un minuto de arco es igual a 60 segundos de arco, 5 segundos es igual a

$$5 \div 60 = 0.083 \text{ minute}$$

Así pues, el diámetro es de aproximadamente 8.083 minutos, lo que equivale a 8.083 millas náuticas, lo que equivale a

$$8.083 \text{ nm} \bullet 1.852 \text{ km} = 14.97 \text{ km}$$

- Para calcular la pendiente aproximada del volcán usando el indicio del triángulo, necesitamos saber el diámetro y la altura del volcán. Si continuamos utilizando el borde del sombreado azul claro como base, la profundidad en este punto es de unos 4539 m. Dado que la parte más superficial del volcán es de unos 1870 m, su altura es de aproximadamente 2669 m. Si la base del triángulo es la mitad del diámetro del volcán, ésta es igual a

$$0,5 \bullet 14.97 \text{ km} = 7.485 \text{ km} = 7485 \text{ m}$$

La pendiente del volcán es el ángulo entre el lado del triángulo y su base. La tangente de este ángulo es igual a la altura dividida por la base:

$$\text{pendiente de bronce} = 2669 \text{ m} \div 7485 \text{ m} = 0,357$$

El arcotangente de 0.357 es el ángulo de la pendiente, que es igual a 19.6 grados. Si ponemos la exageración vertical en la ventana superior izquierda a 1.0 (sin exageración), esta estimación parece razonable.

- El valle profundo en el lado del sudoeste del volcán, pasando aproximadamente entre $4^{\circ} 40' 24''$ (4.6733°) N, $125^{\circ} 5' 11''$ (125.0864°) E y $4^{\circ} 39' 38''$ (4.6606°) N, $125^{\circ} 4' 44''$ (125.0789°) E parece tener una topografía relativamente empinada y sería un lugar interesante para buscar organismos biológicos.

