

La simulación **Interferencia Cuántica de Ondas** permite a los estudiantes explorar cómo los objetos cuánticos producen patrones de interferencia y cómo influyen en ellos el tipo de partícula, la longitud de onda, la geometría de la rendija y la medición.

Pantalla Experimento

Dispara partículas cuánticas a través de una barrera con ranuras hacia una pantalla detectora. Modifica las propiedades de las partículas y la configuración del experimento para investigar qué factores influyen en los patrones de interferencia y cuándo se produce dicha interferencia.

AJUSTA la longitud de onda y la intensidad de la fuente.

ELIGE la partícula de origen.

CONFIGURA las ranuras y experimenta.

OBSERVA las detecciones formando un patrón.

CAPTUREA instantáneas para comparar.

GRÁFICA la pantalla del detector.

Pantalla Alta Intensidad

Visualiza la onda a medida que atraviesa las ranuras y forma un patrón de interferencia en el detector. Utiliza esta perspectiva para relacionar el comportamiento ondulatorio y la interferencia con el patrón resultante en el detector.

VISUALIZA las ondas pasando a través de las ranuras y llegando a la pantalla detectora.

COMPARA cómo afecta a los resultados el cambio en la configuración de la barrera.

CAMBIA la representación de la visualización de la onda.

ALTERNA entre los modos de pantalla y gráfica

UTILIZA herramientas para obtener información sobre el comportamiento de las ondas.

Pantalla de Partículas Individuales

Sigue un paquete de ondas cuántico a la vez mientras se propaga a través de las ranuras y produce una detección localizada. Repite el experimento para observar cómo surge un patrón de interferencia a partir de numerosos impactos individuales.

The screenshot shows the 'Quantum Wave Interference' simulation interface. At the top left, a 'Wavelength' slider is set to 483 nm. Below it, a red button labeled 'Auto-fire Mode' is checked. In the center, a particle gun icon emits particles towards a double-slit barrier. To the right of the barrier, a wave pattern is visible, and further right, individual particle impacts are shown as small blue dots on a screen. The bottom of the interface includes a 'Configuration' section with a 'Slit Separation' slider set to 2.0 μm, and a 'Wave Display' section with options for 'Electric Field', 'Slow', 'Normal', and 'Fast'. There are also checkboxes for 'Measuring Tape', 'Stopwatch', 'Time Plot', and 'Position Plot'. A 'Screen Brightness' slider is also present. Callouts point to various features: 'AJUSTA la longitud de onda o la velocidad de la partícula.' points to the wavelength slider; 'DISPARA una partícula a la vez o utiliza el modo de disparo automático.' points to the auto-fire button; 'PERSONALIZA los parámetros del experimento.' points to the particle selection icons (Photons, Electrons, Neutrons, Helium Atoms); 'VISUALIZA utilizando múltiples representaciones.' points to the wave display options; 'GRÁFICA las detecciones mediante un gráfico de dispersión o un histograma.' points to the position plot checkbox; and 'MIDE las propiedades de las ondas y su comportamiento detallado.' points to the measuring tape, stopwatch, and time plot checkboxes.

AJUSTA la longitud de onda o la velocidad de la partícula.

DISPARA una partícula a la vez o utiliza el modo de disparo automático.

PERSONALIZA los parámetros del experimento.

VISUALIZA utilizando múltiples representaciones.

GRÁFICA las detecciones mediante un gráfico de dispersión o un histograma.

MIDE las propiedades de las ondas y su comportamiento detallado.

Perspectivas Sobre el Uso por Parte de los Estudiantes

- Es posible que los estudiantes se centren en el impacto localizado en el detector y pasen por alto que la onda se encuentra dispersa antes de ser detectada. Anímalos a comparar lo que sucede en la región de la onda con lo que aparece en la pantalla del detector.
- Resulta difícil reconocer un patrón de interferencia a partir de unas pocas detecciones. Las funciones de disparo automático y alta velocidad pueden ayudar a los estudiantes a observar cómo surge el patrón estadístico a partir de numerosos eventos individuales.
- Los estudiantes podrían interpretar un único impacto en el detector como prueba de que la partícula siguió una trayectoria definida. Comparar la situación con ambas ranuras abiertas frente al uso de un detector de trayectoria puede ayudar a distinguir entre la ubicación de la detección y el conocimiento de la trayectoria de la partícula.

Controles Complejos

- **Pantalla de Ondas:** En el caso de los fotones, los estudiantes pueden visualizar la amplitud o el campo eléctrico; para las partículas de materia, pueden visualizar la amplitud o la parte real de la función de onda. La probabilidad está relacionada con la magnitud de la función de onda, no con su fase instantánea positiva o negativa.
- **Sonda Detectora:** Sin ninguna barrera seleccionada, la sonda detectora mide la probabilidad de detectar la partícula dentro de su región circular. Una medición exitosa detecta la partícula en dicha zona; una medición fallida modifica la onda resultante y permite que ésta continúe su curso.
- **Brillo de la Pantalla:** El control deslizante de brillo modifica únicamente la forma en que se visualiza el patrón del detector; no altera las probabilidades de detección subyacentes.

La configuración y los datos del detector se almacenan por separado para fotones, electrones, neutrones y átomos de helio, lo que permite a los estudiantes cambiar de tipo de partícula y retomar una configuración anterior.

Sugerencias de Uso

Mira todas las [actividades publicadas](#) sobre Interferencia Cuántica de Ondas.

- Comienza con ambas ranuras abiertas y dispara las partículas una a una. Pide a los estudiantes que predigan dónde se detectará la siguiente partícula y, a continuación, utiliza la función de disparo automático para investigar qué aspectos se vuelven predecibles tras numerosos intentos.
- Compara la situación de una sola ranura abierta con la de ambas ranuras abiertas. Pide a los estudiantes que describan los cambios en la onda antes de comparar los patrones acumulados en el detector.
- Captura imágenes de los patrones del detector para distintas configuraciones o separaciones de las ranuras y compáralas lado a lado.
- Añade un detector de trayectoria y pide a los estudiantes que predigan si el patrón del detector cambiará antes de ejecutar el experimento.
- En el caso de electrones, neutrones o átomos de helio, varía la velocidad de las partículas y pide a los estudiantes que relacionen la longitud de onda resultante con los cambios en el patrón de interferencia.
- Compara la escala física mostrada para los diferentes tipos de partículas. Plantea la pregunta de por qué los experimentos con fotones y con ondas de materia requieren dimensiones de rendija muy diferentes.

Ejemplos de Retos Abiertos

- ¿Cómo pueden partículas individuales producir un patrón de interferencia? ¿Qué evidencia de la simulación respalda tu explicación?
- Con ambas ranuras abiertas, ¿puedes predecir dónde se detectará la siguiente partícula? ¿Puedes predecir dónde es más probable que se detecten muchas partículas?
- ¿Qué cambia cuando determinas por qué ranura pasa una partícula? ¿Qué permanece igual?
- ¿Cómo afecta el aumento de la separación entre ranuras a la distancia entre las bandas de interferencia? Explica tu observación.
- Para una partícula de materia, ¿cómo afecta el aumento de la velocidad a la longitud de onda? ¿Cómo modifica esto el patrón en el detector?
- ¿Qué te indica la onda sobre dónde podría detectarse una partícula? ¿Qué es lo que no te indica?

Detalles de la Simulación

Consulta la [Documentación del Modelo](#) de esta simulación para obtener más detalles. (Disponible sólo en inglés)

- En la pantalla de partículas individuales, cada partícula emitida está representada por un paquete de ondas gaussiano que se dispersa a medida que se propaga. Cuando se produce la detección, se registra un impacto localizado en la pantalla del detector y dicho paquete de ondas finaliza.
- Con ambas ranuras abiertas y sin realizar mediciones que determinen la trayectoria, el paquete de ondas puede atravesar ambas ranuras como un único estado cuántico coherente. La acumulación de partículas sucesivas genera un patrón de interferencia de doble rendija a partir de las detecciones individuales.

- Los impactos en la pantalla detectora se muestrean según la probabilidad predicha por la función de onda. Aumentar el número de detecciones permite visualizar con mayor claridad el patrón de probabilidad subyacente.
- En el caso de los fotones, la longitud de onda se controla directamente. Para electrones, neutrones y átomos de helio, modificar la velocidad de la partícula altera su longitud de onda de de Broglie, de modo que las partículas más rápidas presentan longitudes de onda más cortas.
- Los detectores de trayectoria («which-path») constituyen una representación idealizada de la medición. Obtener información sobre la trayectoria elimina la interferencia coherente y modifica el patrón acumulado en el detector.
- La simulación emplea fuentes coherentes, ranuras, detectores y modelos de propagación de ondas idealizados para resaltar fenómenos como la interferencia, la difracción, la probabilidad y la medición, en lugar de las imperfecciones experimentales.

Funciones Inclusivas

Consulta [la página de simulación](#) para ver todas las funciones inclusivas compatibles.

Dispositivos de Entrada Alternativa y Pantallas Táctiles

- Esta simulación admite métodos de entrada alternativos, lo que permite operarla completamente mediante el teclado utilizando tanto las teclas estándar como algunos atajos de teclado personalizados. Consulta el cuadro de diálogo de atajos de teclado [icono de teclado] en la barra de navegación para obtener más información.
- La navegación mediante la tecla TAB desplaza el foco del teclado a través de los elementos interactivos de la simulación siguiendo un orden lógico: comienza en la fuente emisora, pasa a los controles que ajustan los parámetros y configuraciones del experimento, continúa con las interacciones para la recopilación y el análisis de datos y las representaciones de datos, y finaliza con herramientas de medición adicionales propias de un laboratorio.

Descripción Interactiva

Esta simulación es compatible con usuarios que dependen de software lector de pantalla gracias a nuestra función de [Descripción Interactiva](#). Consulta el [video de introducción a la Descripción Interactiva](#) (disponible en inglés) para obtener más información sobre cómo utilizar de la mejor manera el software lector de pantalla con las simulaciones de PhET.

- Las descripciones nombran las interacciones, ofrecen una orientación sutil cuando es necesario y permiten acceder a una descripción precisa del estado actual del experimento, así como de los cambios en la onda y en la pantalla o el gráfico del detector. También se describen detalladamente las instantáneas de los datos recopilados, lo que permite a los estudiantes comparar los detalles de dichas instantáneas por medios no visuales.

- Las Descripciones Adaptables describen los cambios relevantes en tiempo real a medida que ocurren, lo que permite a los estudiantes explorar activamente y realizar cambios de forma independiente mediante software de lectura de pantalla, así como comprender los objetivos de aprendizaje establecidos. Las herramientas de medición personalizadas, similares a las de un laboratorio, son funcionales y ofrecen cierta información, aunque no proporcionan actualizaciones en tiempo real mientras se desplazan. Los estudiantes ciegos necesitarán un compañero vidente para realizar las mediciones.
- Dado que en la simulación pueden ocurrir muchos eventos simultáneamente, se recomienda a los estudiantes que dependen de la función de descripción interactiva comenzar con la velocidad de simulación más lenta disponible mientras se familiarizan con ella.
- Los docentes pueden [acceder a la vista de accesibilidad \(A11y\)](#) (disponible en inglés) para revisar las descripciones disponibles para los usuarios de lectores de pantalla y asegurarse de que los estudiantes ciegos tengan acceso a la información necesaria para las actividades planificadas. *Nota importante: La vista de accesibilidad no está diseñada para ser utilizada por los estudiantes y no ofrecerá una experiencia adecuada a quienes empleen software de lectura de pantalla.*

Funciones Inclusivas Adicionales

- Esta simulación también cuenta con *Sonidos Básicos, Panorámica y Zoom, y Resaltados Interactivos*: características que pueden ayudar a muchos estudiantes de diversas maneras. Asegúrate de que los estudiantes conozcan las funciones inclusivas disponibles.

Opciones de Personalización

Los parámetros de consulta permiten personalizar la simulación y pueden añadirse anexando un «?» a la URL de la simulación y separando cada parámetro con un «&». El patrón general de la URL es:

```
...html?queryParameter1&queryParameter2&queryParameter3
```

Por ejemplo, si solo deseas incluir la primera y la segunda pantalla (`screens=1,2`), con la segunda pantalla abierta por defecto (`initialScreen=2`), utiliza:

https://phet.colorado.edu/sims/html/quantum-wave-interference/latest/quantum-wave-interference_all.html?screens=1,2&initialScreen=2

Para ejecutar esto en español (`locale=es`), la URL quedaría así:

https://phet.colorado.edu/sims/html/quantum-wave-interference/latest/quantum-wave-interference_all.html?locale=es&screens=1,2&initialScreen=2

 Indica que se puede acceder a esta personalización desde el menú de preferencias dentro de la simulación.

Parámetros de Consulta y Descripción	Links de Ejemplo
<code>screens</code> - Especifica qué pantallas se incluyen en la simulación y su orden. Cada pantalla debe estar separada por una coma. Para más información, visita el Centro de Ayuda .	<code>screens=1</code> <code>screens=2,1</code>
<code>initialScreen</code> - abre la simulación directamente en la pantalla especificada, omitiendo la pantalla de inicio.	<code>initialScreen=3</code> <u><code>initialScreen=1</code></u>
⚙ <code>locale</code> - Especifica el idioma de la simulación mediante los códigos ISO 639-1 . Las traducciones disponibles se encuentran en la página de la simulación, en la pestaña Idioma . Nota: Esto solo funciona si la URL de la simulación termina en "_all.html".	<u><code>locale=it</code></u> (Italiano) <u><code>locale=pt</code></u> (Portugués)
<code>audio</code> - Si esta silenciado (<code>muted</code>), el audio se silencia por defecto. Si está deshabilitado (<code>disabled</code>), el audio se desactiva permanentemente.	<code>audio=muted</code> <code>audio=disabled</code>
<code>interactiveHighlightsInitiallyEnabled</code> - Abre la simulación con destacados interactivos habilitados.	<code>interactiveHighlightsInitiallyEnabled</code>
<code>allowLinks</code> - Si es <code>false</code> , se desactivan los enlaces que dirigen a los estudiantes a una URL externa. El valor predeterminado es <code>true</code> .	<code>allowLinks=false</code>
⚙ <code>supportsPanAndZoom</code> - Si es <code>false</code> , se desactiva la panorámica y el zoom mediante el zoom con los dedos o los controles de zoom del navegador. El valor predeterminado es <code>true</code> .	<code>supportsPanAndZoom=false</code>

Recursos Adicionales de PhET

Consulta la página de [Diseño Inclusivo de PhET](#) para obtener más información sobre cada característica de inclusión y cómo utilizarlas con tus estudiantes.

Para obtener más consejos sobre el uso de las simulaciones PhET con tus estudiantes, consulta «[Enseñando con PhET](#)».

Para obtener más información sobre cómo crear y facilitar lecciones basadas en simulaciones, visita nuestros [Talleres Virtuales](#) gratuitos.