

Spain



EXPLORACIÓN ESPACIAL
Primeros pasos en la Luna

EE-SB-02



El poder de la luz del Sol

La energía solar en la exploración espacial



Con esta serie de actividades el alumnado aprenderá dos conceptos que influyen en el diseño de paneles solares para misiones espaciales: la ley del inverso del cuadrado y el ángulo de incidencia. El alumnado realizará dos investigaciones simples usando una célula fotovoltaica (célula solar) y una fuente de luz. En primer lugar, medirán cómo varía la energía que producen las células solares dependiendo de su distancia a la fuente de luz e intentarán extraer de manera experimental la ley del inverso del cuadrado de la intensidad de la luz. A continuación realizarán un segundo experimento para estudiar cómo varía la potencia de salida de la célula solar según el ángulo de incidencia. Por último, aplicarán estos conceptos a misiones espaciales reales de la ESA.

SUMARIO

- 3** Datos básicos
- 4** Introducción
- 5** Resumen de las actividades
- 6** Actividad 1. La ley del inverso del cuadrado
- 8** Actividad 2. El ángulo de incidencia
- 10** Actividad 3. La exploración del espacio con energía solar
- 12** Fichas de trabajo para el alumnado
- 22** Anexos
- 26** Enlaces útiles

EE-SB-02

El poder de la luz del Sol

La energía solar en la exploración espacial

1ª Edición. Julio 2019

Guía para el profesorado

Ciclo
Secundaria y bachillerato

Edita
Esero Spain, 2019 ©
Parque de las Ciencias. Granada

Traducción
Dulcinea Otero Piñeiro

Dirección
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos de la imagen de portada:
ESA/AOES

Créditos de la imagen de la colección:
RegoLight, visualisation:
Liquifer Systems Group, 2018

Basado en la idea original:
POWER OF SUNLIGHT
Powering space exploration with solar energy
Colección "Teach with space". ESA kids



Objetivos didácticos



- Entender y calcular la intensidad de la luz.
- Comprender qué es el ángulo de incidencia.
- Aprender sobre células solares.
- Realizar experimentos prácticos para estudiar la ley del inverso del cuadrado de la luz y cómo influye el ángulo de incidencia de la luz.
- Analizar y plasmar datos en gráficas
- Construir circuitos eléctricos simples usando células solares.
- Aprender qué son la diferencia de potencial eléctrico, la corriente eléctrica, la potencia y la intensidad de la luz.
- Investigar los requisitos de la energía solar para misiones espaciales.



1 h. y 30 min.*

Materia

Física

Intervalo de edades

De 14 a 18 años

Tipo de actividad

Actividad para el alumnado

Dificultad

Media

Coste

Bajo (de 0 a 10 euros)

Lugar para realizar la actividad

El aula

Términos clave

Física, energía solar, ley del inverso del cuadrado, intensidad de la luz, ángulo de incidencia, Sistema Solar

Incluye el empleo de

Células solares

Tiempo de preparación docente

1 hora

* El tiempo lectivo necesario para esta actividad es de 1 hora y 30 minutos (más 20 minutos para preparar el experimento)

El poder de la luz del Sol



Introducción

- La energía solar suele usarse para suministrar electricidad a las misiones espaciales porque es la única fuente energética que no requiere lanzarse al espacio junto con la nave y es capaz de alimentar el vehículo espacial durante varios años. En este recurso didáctico investigaremos dos factores importantes que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar paneles solares para misiones espaciales: la ley del inverso del cuadrado y el ángulo de incidencia.

LA LEY DEL INVERSO DEL CUADRADO

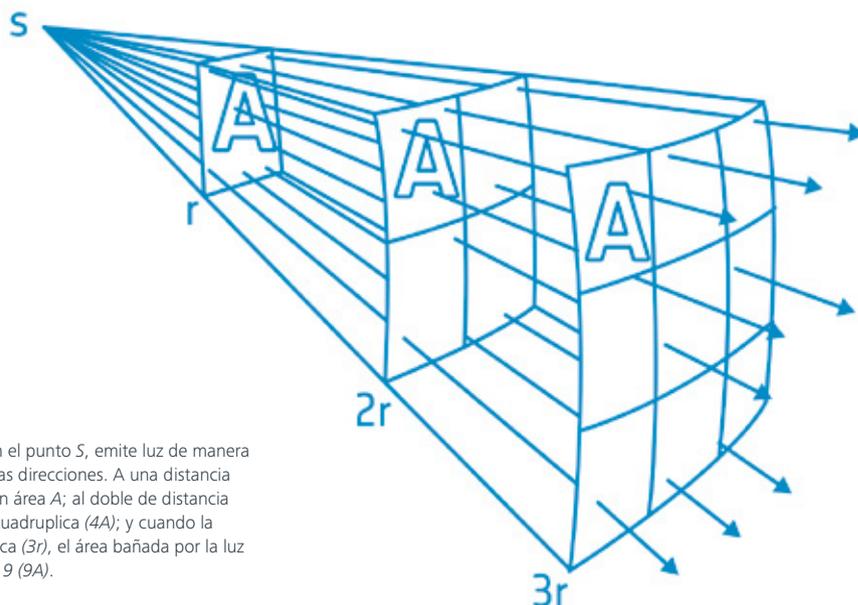
La ley del inverso del cuadrado establece que el valor de una cantidad física es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente de esa cantidad física. Uno de los ejemplos más conocidos es la ley del inverso del cuadrado de la luz; el flujo recibido desde una fuente de luz es inversamente proporcional a la distancia a esa fuente de luz elevada al cuadrado. En el caso de la luz, el flujo se corresponde con la cantidad de energía radiada a través de un área dada. Para una fuente de luz esférica, como el Sol, el flujo es igual que

[...] el flujo recibido desde una fuente de luz es **inversamente proporcional** a la distancia a esa fuente de luz elevada al cuadrado

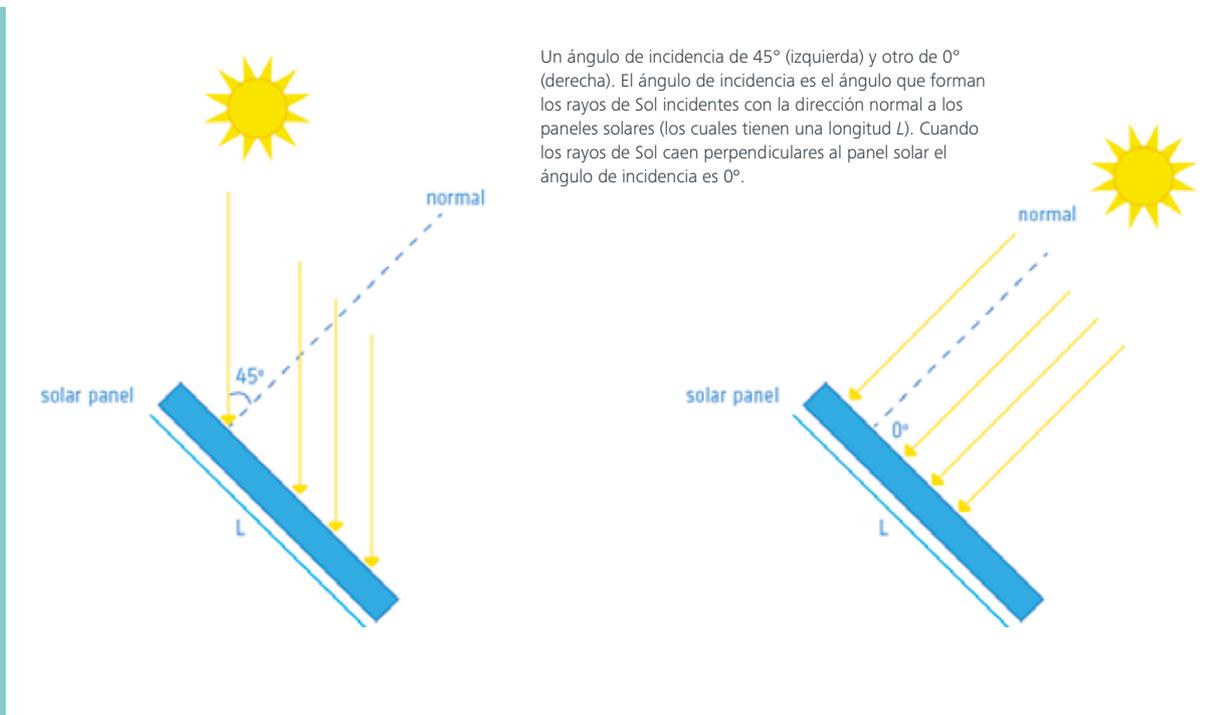
la intensidad de radiación (I). El Sol emite luz de manera uniforme en todas direcciones, de modo que la intensidad de radiación seguirá la ley del inverso del cuadrado con la distancia al Sol. La ley del inverso del cuadrado en este caso se resume en la siguiente ecuación:

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I = intensidad de radiación procedente del Sol
 r = distancia al Sol



El Sol, situado en el punto S , emite luz de manera uniforme en todas direcciones. A una distancia r , la luz abarca un área A ; al doble de distancia ($2r$) esa área se cuadruplica ($4A$); y cuando la distancia se triplica ($3r$), el área bañada por la luz se multiplica por 9 ($9A$).



Un ángulo de incidencia de 45° (izquierda) y otro de 0° (derecha). El ángulo de incidencia es el ángulo que forman los rayos de Sol incidentes con la dirección normal a los paneles solares (los cuales tienen una longitud L). Cuando los rayos de Sol caen perpendiculares al panel solar el ángulo de incidencia es 0°.

Esto significa que si un planeta o una nave se encuentra dos veces más lejos del Sol que la Tierra, entonces la intensidad de la radiación solar solo ascenderá a la cuarta parte de la que llega a la Tierra.

Comprender la ley del inverso del cuadrado tiene implicaciones importantes para las misiones espaciales que se alimentan con paneles solares. Cuanto más se aleje una nave del Sol, mayor superficie deberán tener los paneles solares para alcanzar el mismo rendimiento energético.

ÁNGULO DE INCIDENCIA

El ángulo de incidencia, θ , de la luz del Sol sobre un panel solar también es un factor relevante para la producción energética. Un panel solar concentra energía solar con más eficiencia cuando los rayos del Sol caen perpendiculares a la superficie del panel, con un ángulo de incidencia de 0°, porque aprovecha al máximo el área efectiva de captación de luz (véase la figura 2). Para un panel solar de longitud L , el área efectiva de captación equivale a $L \cdot \cos(\theta)$ y, por tanto, la intensidad incidente sobre los paneles solares también vale $L \cdot \cos(\theta)$.

El ángulo de incidencia de la luz del Sol es un factor crítico en misiones espaciales. Muchas naves están provistas de paneles solares giratorios para reducir el ángulo de incidencia de la luz del Sol y así maximizar la producción energética.

Comprender la ley del inverso del cuadrado tiene implicaciones importantes para las misiones espaciales que se alimentan con paneles solares. Cuanto más se aleje una nave del Sol, **mayor superficie deberán tener los paneles solares para alcanzar el mismo rendimiento energético**

ENERGÍA SOLAR PARA MISIONES ESPACIALES

Estos son algunos ejemplos de cómo repercute la ley del inverso del cuadrado en la ingeniería de las misiones espaciales.

Gran parte de la luz que incide en los paneles solares se convierte en calor. La misión BepiColombo de la ESA, con destino a Mercurio, se acercará al Sol y, por tanto, sufrirá un **efecto de calentamiento muy intenso**

MISIÓN ROSETTA

La misión Rosetta de la ESA viajó durante más de 10 años para encontrarse con el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. En el punto más alejado de su recorrido la nave se situó a 800 millones de kilómetros de distancia del Sol, donde la luz solar incidente asciende tan solo al 4 % de los niveles que recibe la Tierra. Es la primera misión que ha sobrepasado el cinturón principal de asteroides recurriendo únicamente a paneles solares para obtener energía. Los paneles solares de esta misión medían 32 metros y tenían una superficie total de 64 m².



MISIÓN BEPICOLOMBO

Gran parte de la luz que incide en los paneles solares se convierte en calor. La misión BepiColombo de la ESA, con destino a Mercurio, se acercará al Sol y, por tanto, sufrirá un efecto de calentamiento muy intenso. Si los paneles solares de BepiColombo apuntaran directamente al Sol durante más de unos pocos segundos, los materiales se dañarían y los paneles solares dejarían de funcionar. Para enfriarlos (y mantenerlos a unos 200 °C) permanecen inclinados en dirección opuesta al Sol. Para producir la energía eléctrica que necesita BepiColombo, los paneles solares tienen que ser mucho más grandes que el resultado que se obtiene si se calcula el área usando tan solo la ley del inverso del cuadrado. Los paneles de la sonda BepiColombo tienen que medir 42 m².



De arriba a abajo: La sonda Rosetta con uno de los paneles solares completamente desplegado.

...

Despliegue del panel solar del módulo de servicio Mercury Transfer Module de la misión BepiColombo.

...

Derecha: La misión BepiColombo de ESA-JAXA a Mercury despega del puerto espacial europeo en Kourou. (ESA - S. Corvaja)



ACTIVIDADES

01

LA LEY DEL INVERSO DEL CUADRADO

Descripción

Estudiar la ley del inverso del cuadrado para la intensidad de la luz con un experimento.

Resultado

Entender la ley del inverso del cuadrado y cómo influye en la potencia de salida de las células solares.

Requisitos

Ninguno

Tiempo

20 minutos para montar el experimento y 30 minutos para la actividad.



ACTIVIDADES

02

EL ÁNGULO DE INCIDENCIA

Descripción

Investigar el ángulo de incidencia con un experimento.

Resultado

Entender qué es el ángulo de incidencia y cómo influye en la potencia de salida de las células solares.

Requisitos

Se recomienda haber realizado la actividad 1.

Tiempo

30 minutos



ACTIVIDADES

03

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO CON ENERGÍA SOLAR

Descripción

Uso práctico de la ley del inverso del cuadrado en misiones espaciales reales de la ESA.

Resultado

Conocer las ventajas y desventajas de la energía solar para la exploración espacial.

Requisitos

Se recomienda haber realizado la actividad 1.

Tiempo

30 minutos



ACTIVIDAD 1

La ley del inverso del cuadrado



30 min.

Ejercicios

1

A lo largo de esta actividad práctica el alumnado calculará la producción energética de un panel solar midiendo la corriente eléctrica y la diferencia de potencial eléctrico para intentar obtener la ley del inverso del cuadrado a partir de las mediciones que efectúen de forma experimental.

MATERIAL NECESARIO

- Ficha de trabajo del alumnado y una copia del anexo 1 para cada grupo de trabajo
- Una caja oscura (abierta por un extremo)
- Cables eléctricos
- Cinta adhesiva
- Fuente de luz
(bombilla pequeña de 4.5 V, 0.3 A)

- Regla
- Vara de 30 cm (por ejemplo, un palo de madera)
- Algo para bloquear la luz
(por ejemplo, una esponja o algún paño)
- Amperímetro y voltímetro (o un multímetro)
- Pinzas de cocodrilo

e1

EJERCICIO

Divide al alumnado en grupos de 3 o 4 estudiantes. Reparte una ficha de trabajo del alumnado y una copia del anexo 1 a cada grupo. Antes de iniciar el experimento explícales el concepto de intensidad de radiación.

m

MONTAJE DEL EXPERIMENTO

En primer lugar, el alumnado deberá montar el experimento. Diles que sigan los pasos 1 a 9 del anexo 1. Durante el paso 9 asegúrate de que marcan la distancia cero cuando la fuente de luz esté tocando la célula solar. Cuando concluyan la fase de montaje deberán asegurarse de que todo funciona y está conectado correctamente.

x

EXPERIMENTO

El alumnado deberá medir la diferencia de potencial eléctrico (U) y la corriente eléctrica (I) siguiendo los pasos 10 a 12 del anexo 1 y anotar esos datos en la tabla 1 de la ficha de trabajo del alumnado.

Antes de efectuar la primera medición, deberán extraer la varilla al menos 5 cm. En cada medición subsiguiente deberán apartar la fuente de luz 1 cm hasta llegar a unos 30 cm. Lo ideal sería que efectuaran las mediciones entre 20 y 30 veces, con distancias diferentes. También se pueden utilizar intervalos más largos, pero en ese caso es posible que el descenso de la potencia de salida resulte demasiado rápido para llegar a apreciar la ley del inverso del cua-

drado, ya que la variación depende de la fuente de luz y de las placas solares. Recomendamos comprobar cuáles son las distancias óptimas antes de realizar el experimento con el alumnado.

El alumnado debería repetir las mediciones dos veces más para calcular la media. Plántea-les un debate sobre la fiabilidad de los resultados y del procedimiento científico. Pídeles que completen la tabla 1 de la ficha de trabajo del alumnado y que calculen la potencia de salida:

$$P(W) = I(A) \cdot U(V)$$

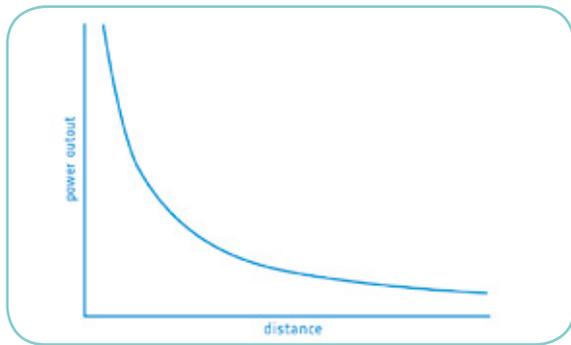
RESULTADOS

Al analizar estos resultados damos por supuesto que la energía que generan las células solares es directamente proporcional a la potencia que recibe la célula solar (*potencia producida = potencia recibida × eficiencia de la célula*). La potencia recibida es proporcional a la intensidad de la luz procedente de la fuente de luz (*porque la intensidad = potencia/área, y el área es siempre la misma durante todo el experimento*). Por tanto, podemos afirmar que la potencia que produce la célula fotovoltaica es proporcional a la intensidad de la luz que recibe.

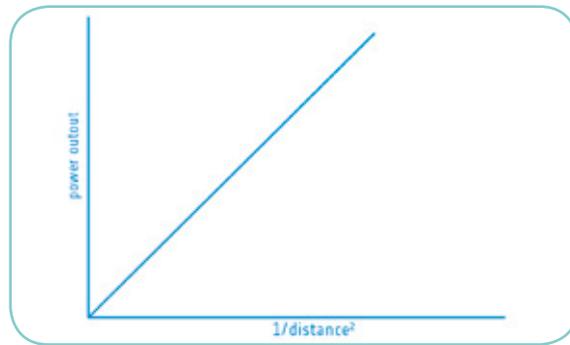
Para obedecer la ley del inverso del cuadrado, la potencia producida por el panel solar (P) debería ser proporcional al inverso de la distancia (r) elevada al cuadrado.

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

Para analizar los datos obtenidos, el alumnado debería representar la potencia como una función de distancia, y como una función de $1/\text{distancia}^2$; la segunda gráfica debería arrojar una línea recta.



Gráfica esperada al plasmar la potencia de salida enfrentada a la distancia.



Gráfica esperada al representar la potencia de salida enfrentada a $1/\text{distancia}^2$.

El alumnado tal vez no obtenga con exactitud una ley del inverso del cuadrado. Estos son algunos de los factores que pueden alterar los resultados:

- La caja no estaba completamente a oscuras y las fluctuaciones de la luz procedente del exterior alteraron las mediciones.
- Con este montaje la medición de la distancia puede estar afectada por un gran error.
- Tal vez hubiera esparcimiento interno de la luz.
- La resistencia interna de la célula solar pudo variar durante el experimento.
- Las mediciones próximas a la célula solar quizá no sigan la ley del inverso del cuadrado porque la fuente de luz no se asemeja del todo a una fuente puntual.

En conclusión, el alumnado debería identificar que si se dobla la distancia a la fuente de luz hay que contar con paneles solares 4 veces mayores para generar la misma cantidad de energía.

ACTIVIDAD 2

El ángulo de incidencia



30 min.

Ejercicios

2

Con esta actividad el alumnado aprenderá la importancia del ángulo de incidencia y las ventajas de orientar de manera óptima las células solares. Mediante un experimento medirán cómo influye el ángulo de incidencia en la potencia de salida.

MATERIAL NECESARIO

- Ficha de trabajo del alumnado y una copia del anexo 2 para cada grupo
- El mismo montaje necesario para el experimento de la actividad actividad 1 (véase el anexo 2)
- Una varilla fina para hacer rotar la célula solar (una varilla de madera para brochetas, por ejemplo)
- Un transportador de ángulos

e1

EJERCICIO

Para esta actividad el alumnado volverá a trabajar en grupos de 3 o 4 estudiantes. Reparte una ficha de trabajo y una copia del anexo 2 a cada grupo.

Antes de que empiecen a realizar el experimento explica en clase el concepto de ángulo de incidencia.

m

MONTAJE DEL EXPERIMENTO

La actividad 2 es una continuación de la actividad 1. El alumnado deberá modificar el montaje inicial para poder inclinar el panel solar con un ángulo determinado. Deben adaptar el montaje de la actividad 1 siguiendo los pasos 1 a 7 del anexo 2. Antes de emprender las mediciones el alumnado deberá asegurarse de que todos los instrumentos funcionan y están conectados correctamente.

X

EXPERIMENTO

El alumnado deberá realizar mediciones tal como se describe en los pasos 8 a 10 en el anexo 2 y anotarlos en la tabla 2 de la ficha de trabajo. El alumnado deberá repetir las mediciones dos veces más asegurándose de que todas las condiciones se mantienen, y deberá calcular la potencia media para cada ángulo de incidencia.

RESULTADOS

Pide al alumnado que represente gráficamente la potencia media como una función del ángulo de incidencia.

A partir de los datos obtenidos, el alumnado debería concluir que la potencia de salida es mayor cuando el panel solar permanece perpendicular a los rayos de luz (*ángulo de incidencia* = 0°).

Aunque la lectura esperada cuando el panel solar permanece paralelo a la fuente de luz (*ángulo de incidencia* = 90°) debería ser, en principio, igual a cero, esto no se conseguirá con el experimento debido sobre todo al esparcimiento de la luz dentro de la caja.

Aunque se apague el foco de luz podrá quedar una corriente residual medible en el circuito (corriente de oscuridad). Cuando se realizan experimentos científicos que requieren mediciones de precisión, los valores deben corregirse con la sustracción de este error de las lecturas obtenidas.

Si se inclinan las células solares para que tengan ángulos de incidencia = -30° , -60° y -90° , deberían obtenerse valores similares, porque el sistema es simétrico. En condiciones experimentales esto dependerá de lo bien alineado que esté el sistema.

Algunas de las fuentes de error ya se han mencionado en la actividad 1. En esta actividad habría que considerar asimismo la incertidumbre en la medición del ángulo y el alineamiento del panel solar dentro de la caja como posibles fuentes de error.

Para terminar, el alumnado deberá responder la pregunta 9 de la ficha de trabajo del alumnado y concluir que, para maximizar la potencia de salida del panel solar, el ángulo de incidencia debería acercarse a 0° . Pueden proponer un mecanismo de seguimiento del Sol con paneles solares que roten y se inclinen de acuerdo con el movimiento aparente del Sol.

En estos experimentos el efecto del calentamiento es despreciable, puesto que la energía total de la bombilla solo asciende a unos pocos vatios. Cuando una sonda se acerca mucho al Sol, como en el caso de BepiColombo, el efecto del calentamiento se incrementa y condiciona mucho el diseño de la misión. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que los paneles solares situados en la Tierra se pueden enfriar con aire, pero no ocurre lo mismo en el vacío del espacio.

ACTIVIDAD 3

Exploración del espacio con energía solar



30 min.

Ejercicios

1

En esta actividad el alumnado pondrá en práctica la ley del inverso del cuadrado aplicada a misiones espaciales reales de la ESA. Descubrirán cómo repercuten las propiedades de esta ley en el tamaño que deben tener los paneles solares y lo determinante que es el ángulo de incidencia en misiones que se aventuran a las proximidades del Sol.

RESULTADOS

- 1 La intensidad de la luz recibida a la distancia media que separa la Tierra del Sol (ITierra) se puede calcular usando la ley del inverso del cuadrado y los datos que figuran en la ficha de trabajo del alumnado:

$$I_{\text{Earth}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(1.5 * 10^{11} \text{ m})^2} = 1354 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- 2 A una distancia de 45 millones de km del Sol, la intensidad de la luz se calcula del siguiente modo:

$$I_{\text{BepiColombo}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4.5 * 10^{10} \text{ m})^2} = 15043 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{BepiColombo}} = 11 I_{\text{Tierra}}$$

A esta distancia del Sol la intensidad de la luz es 11 veces mayor que a la distancia a la que se encuentra la Tierra. El deterioro que sufrirán las placas solares debido al calor será considerable, lo que significa que deberán permanecer inclinadas en dirección opuesta al Sol en todo momento. Esto implica que el área real de los paneles solares, 42 m², deberá ser mucho mayor que la que sería necesaria en caso de que los paneles pudieran orientarse directamente hacia el Sol.

- 3 La nave Rosetta de la ESA siguió una trayectoria que la llevó a 800 millones de km de separación del Sol. A esa distancia la intensidad de la luz se calcula de este modo:

$$I_{\text{Rosetta}} = \frac{3.828 * 10^{26} \text{ W}}{4\pi(8 * 10^{11} \text{ m})^2} = 47.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Que, comparado con la intensidad que llega a la Tierra I_{Tierra} , es:

$$I_{\text{Rosetta}} = 0.035 I_{\text{Tierra}}$$

La intensidad de la luz a 800 millones de km del Sol asciende aproximadamente al 3.5 % de la intensidad de la luz a la distancia a la que se encuentra la Tierra del Sol.

- 4** Aunque la sonda Rosetta iba propulsada por paneles solares de alta eficiencia, su rendimiento estaba entre el 18 % y el 26 %. Si se añade la baja intensidad de la luz que recibía en el punto más alejado del Sol de su órbita, los paneles solares de Rosetta se tuvieron que construir con un área muy grande, de 64 m^2 .

Suponiendo que la única variable relevante fuera la diferencia de la intensidad de la luz, si Rosetta hubiera orbitado a la misma distancia del Sol que la Tierra habría bastado con que el área de los paneles solares ascendiera a tan solo:

$$A_{\text{Tierra}} = 0.035 \times 64 \text{ m}^2 = 2.24 \text{ m}^2$$

- 5** Si se usa la ley del inverso del cuadrado, la intensidad de la luz a la distancia de Saturno viene dada por:

$$I_{\text{BepiColombo}} = \frac{3.828 \times 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4.5 \times 10^{10} \text{ m})^2} = 15043 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

De manera análoga al cálculo para la distancia a la que se encuentra la Tierra:

$$I_{\text{Rosetta}} = 3.1 I_{\text{Saturno}}$$

Esto significa que los paneles solares tendrían que ser 3.1 veces mayores a una distancia de 1400 millones de kilómetros que a 800 millones de km de distancia del Sol.

$$A_{\text{Saturno}} = 3.1 \times 64 \text{ m}^2 = 198.4 \text{ m}^2$$

- 6** La sonda Cassini-Huygens requería un suministro de electricidad 2.2 veces mayor que el de Rosetta ($885 \text{ W} / 395 \text{ W} = 2.2$) y, por tanto, usó una fuente de alimentación nuclear llamada generador termoelectrico de radioisótopos. De haber utilizado placas solares en lugar de energía nuclear, el área de las mismas tendría que haber sido 2.2 veces mayor que el valor calculado en el ejercicio 4.

$$A_{\text{Cassini-Huygens}} = 2.2 \times 198.4 \text{ m}^2 = 436.5 \text{ m}^2$$

- 7** La masa de los paneles solares por metro cuadrado es de:

$$\frac{51.2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0.8 \text{ kg m}^{-2}$$

Por tanto, la masa total de los paneles solares necesarios para propulsar la nave Cassini ascendería aproximadamente a:

$$0.8 \text{ kg m}^{-2} \times 436.5 \text{ m}^2 = 349.2 \text{ kg}$$

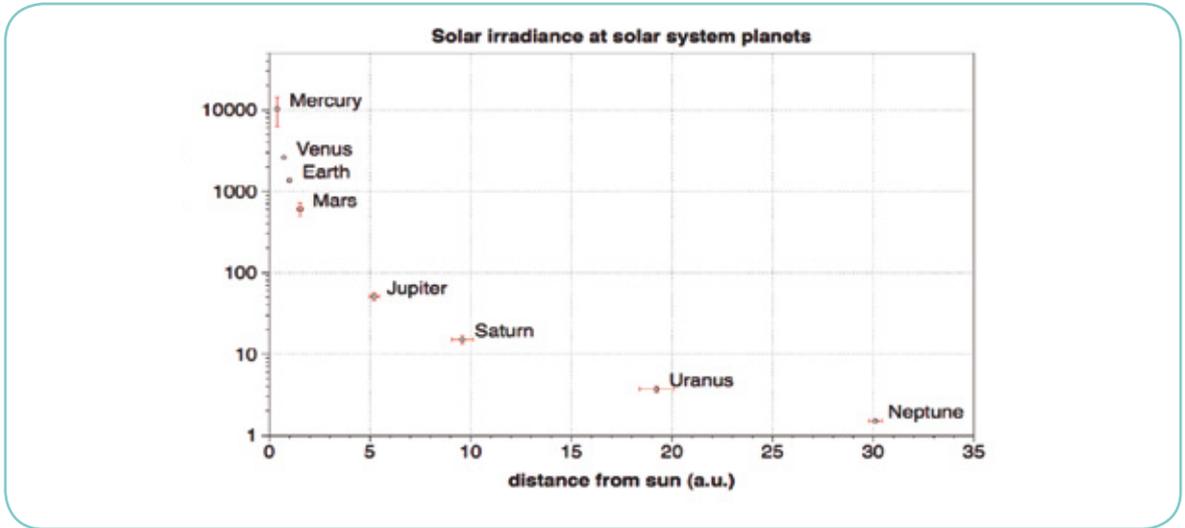
Los generadores termoelectricos de radioisótopos pesaban 56.4 kg

El incremento de masa ascendería a 292.8 kg.

A3

r

- 8 La energía solar es muy importante, porque es una fuente energética renovable y porque no se lanza junto con la nave. Debido a la ley del inverso del cuadrado, la intensidad de la luz desciende con rapidez a medida que aumenta la distancia al Sol. Esto significa que se necesitan paneles solares mayores para cubrir las necesidades energéticas a bordo si se viaja hasta distancias más alejadas del Sol, y que en lugares más alejados que Júpiter impera una oscuridad excesiva para el empleo de energía solar.



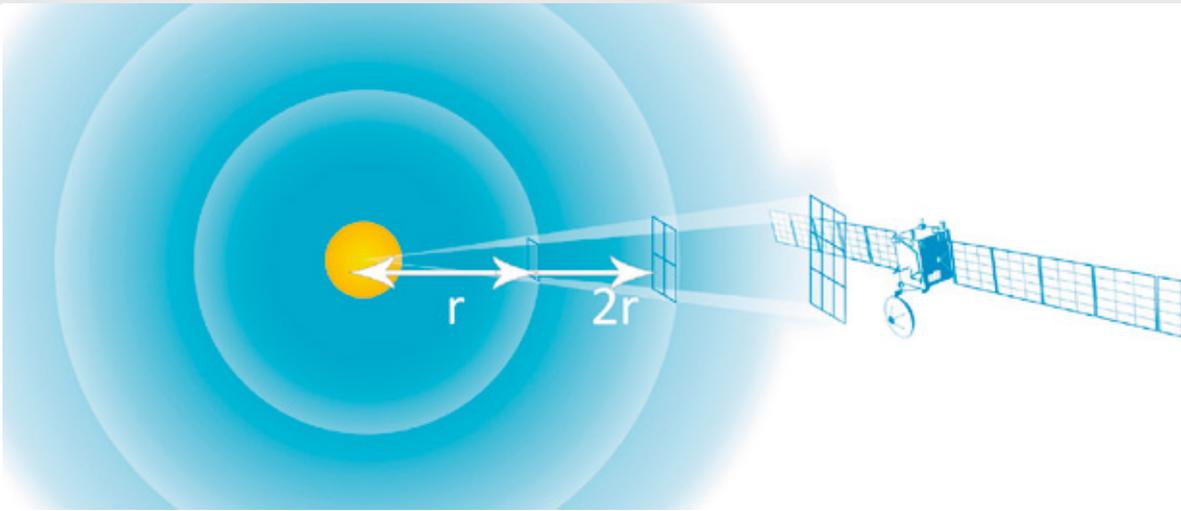
	Distance from Sun, AU	Solar radiation W/m²	Approx array temp, degC
Mercury	0.4	9014	238
Venus	0.7	2645	101
Earth	1.0	1371	45
Mars	1.5	593	-15
Jupiter	5.2	51	-134
Saturn	9.5	15	-170
Uranus	19	4	-200
Neptune	30	2	-215
Pluto	39	0.9	-222

Irradiancia solar (intensidad de la luz) en los planetas del Sistema Solar.

Tal como se calculó en el ejercicio 6, si la sonda Cassini-Huygens hubiera utilizado paneles solares, ¡habrían tenido una masa más de 6 veces mayor que la masa de los generadores termoeléctricos de radioisótopos que portaba la nave! Es importante pensar en la masa para la exploración del espacio, porque por cada kilogramo adicional se necesita más cantidad de combustible para escapar de la gravedad terrestre. Sin embargo, también deben tenerse en cuenta las limitaciones especiales de protección y seguridad asociadas a la energía nuclear.

ACTIVIDAD 1

La ley del inverso del cuadrado



El Sol emite luz de manera uniforme en todas direcciones. A una distancia r la luz atraviesa un área A , cuando se dobla esa distancia ($2r$) la misma cantidad de luz cubrirá un área cuatro veces mayor ($4A$).

El Sol emite luz de manera uniforme en todas direcciones, así que la intensidad de la luz (I) a una distancia determinada (r) equivale a la potencia total emitida desde el Sol distribuida por una esfera de radio r cuya área vale $4\pi r^2$.

$$\text{Intensity of radiation from the Sun (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Power emitted from the Sun (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

Dependiendo de su distancia al Sol, una sonda que viaje por el Sistema Solar recibirá una cantidad de luz solar muy diferente.

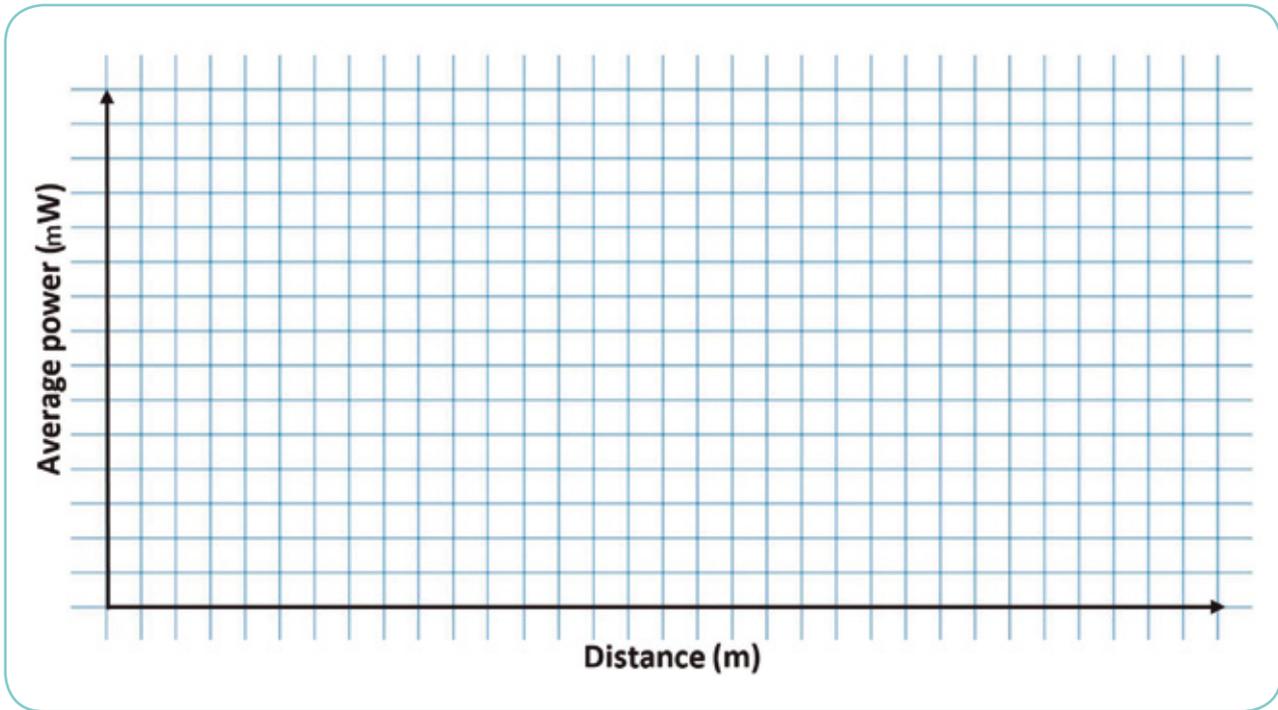


SABÍAS QUE...



La sonda SMART-1, lanzada en septiembre de 2003, se convirtió en la primera misión de la ESA con destino a la Luna. Fue la primera misión que salió de la órbita de la Tierra propulsada usando tan solo energía solar, aunque lo hizo con tanta lentitud que tardó 13 meses en llegar a la Luna, con lo que estableció el récord del viaje más largo hasta allí. Pero SMART-1 también batió el récord de ser el viaje a la Luna con el consumo más bajo de combustible por km, ya que obtuvo la mayoría de la energía eléctrica que consumió de sus alas de paneles solares, cada una de ellas de unos 7 m de longitud.

1 Representa en una gráfica la potencia de salida promedio como una función de distancia de la fuente de luz:



Average power (mW) = Potencia promedio (mW)

Distance (m) = Distancia (m)

2 ¿Se rige la potencia de salida por la ley del inverso del cuadrado? Explica tu respuesta.

.....

.....

.....

3 ¿Qué incertidumbres hay en este experimento? ¿Cómo influyen en el resultado?

.....

.....

.....

4 Si se dobla la distancia a la fuente de luz, ¿qué tamaño deben tener los paneles solares para generar la misma potencia?

- Deberían ser más pequeños
- Deberían ser 2 veces más grandes
- Deberían ser 4 veces más grandes
- Deberían ser 9 veces más grandes

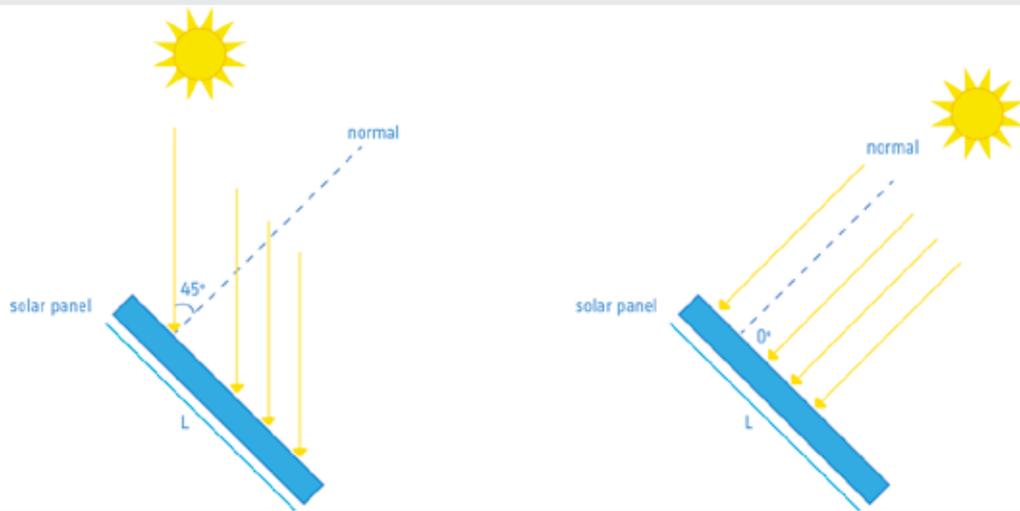
A2

FICHA DE TRABAJO DEL ALUMNADO

ACTIVIDAD 2

El ángulo de incidencia

El ángulo con el que incide la luz solar sobre los paneles solares es un factor importante. El ángulo de incidencia es el ángulo que media entre los rayos de Sol incidentes y la dirección normal a los paneles solares. Cuando los rayos de Sol caen perpendiculares al panel solar tienen un ángulo de incidencia de 0° .



El Sol emite luz de manera uniforme en todas direcciones. A una distancia r la luz atraviesa un área A , cuando se dobla esa distancia ($2r$) la misma cantidad de luz cubrirá un área cuatro veces mayor ($4A$).

- 1 Antes de empezar a efectuar mediciones, intenta predecir qué ángulo de incidencia generará más potencia. Justifica tu suposición.

.....

.....

EXPERIMENTO

En este experimento medirás cuánto influye el ángulo de incidencia en la potencia de salida de las células solares que estás utilizando.

- Adapta el montaje para la actividad 1 siguiendo los pasos 1 al 7 de las instrucciones que figuran en el anexo 2.
- Realiza el experimento siguiendo las instrucciones que se dan en los pasos 8 a 10 del anexo.



- Anota en esta tabla 2 las mediciones que tomes de la diferencia de potencial eléctrico (U) y de la corriente eléctrica (I) con distintos ángulos de incidencia.
- Repite la toma de mediciones dos veces más.
- Calcula la potencia de salida de la célula solar y completa la tabla 2.

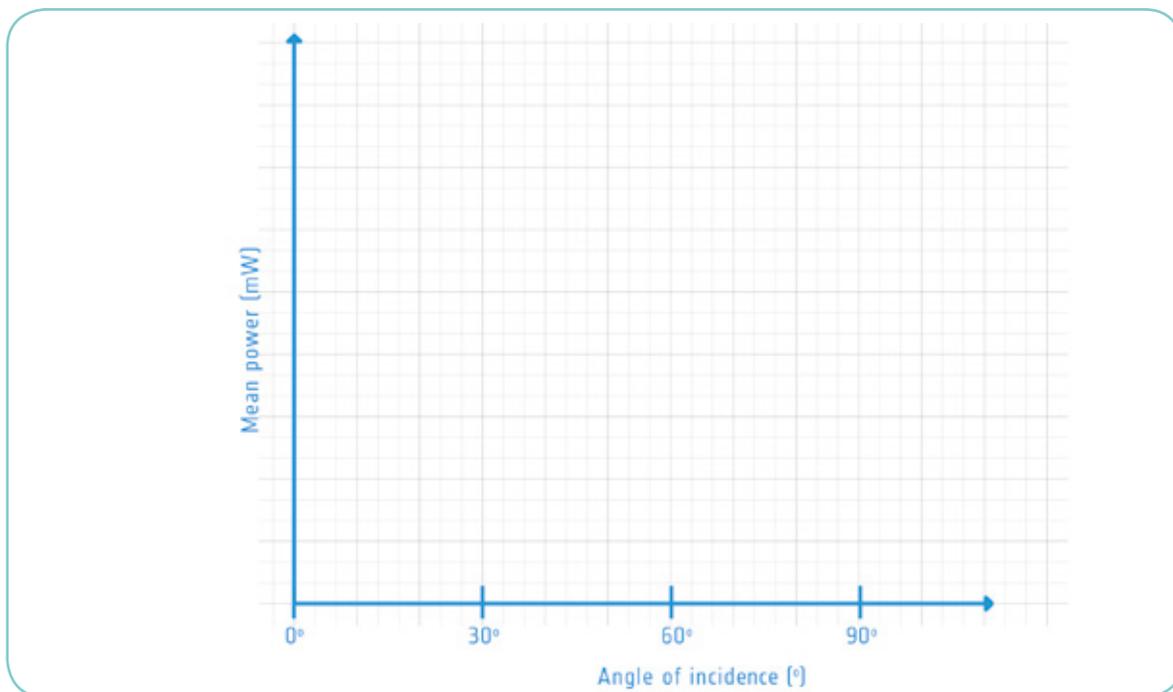
$$P(W) = I (A) \times U (V)$$

- Calcula la potencia promedio para cada ángulo de incidencia.

DISTANCIA	EXPERIMENTO 1			EXPERIMENTO 2			EXPERIMENTO 3			MEDIA P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	

Registros de la diferencia de potencial eléctrico (U), de la corriente eléctrica (I) y de la potencia de salida (P) con distintos ángulos de incidencia.

2 Representa en esta gráfica la potencia media como una función del ángulo de incidencia:



Mean power (mW) = Potencia media (mW) | Angle of incidence (°) = Ángulo de incidencia (°)

3 ¿Qué ángulo de incidencia genera más potencia de salida?

.....

A2

X

- 4 ¿Fue atinada tu predicción de la pregunta 1? Si no lo fue, ¿podrías explicar por qué fue diferente?

.....

.....

- 5 ¿Por qué crees que la potencia de salida no es igual a cero cuando la célula solar se mantiene paralela a la fuente de luz? (Ángulo de incidencia = 90°)

.....

.....

- 6 ¿Crees que habría alguna potencia de salida si realizaras el experimento con la luz apagada? Comprueba tu suposición y explica el resultado observado.

.....

.....

- 7 ¿Qué potencias serían esperables si realizaras el experimento con ángulos de incidencia de -30° , -45° , -60° y -90° ? Explica tu respuesta.

.....

.....

- 8 ¿Cuáles son las incertidumbres principales de este experimento? ¿Hay algún error en las mediciones que has realizado?

.....

.....

- 9 Has medido cómo depende la potencia del ángulo de incidencia. ¿Cómo diseñarías los paneles solares para obtener el máximo de potencia de salida?

.....

SABÍAS QUE...



La Estación Espacial Internacional (ISS) utiliza paneles solares para obtener electricidad. La imagen de la derecha muestra algunos de los paneles solares de la ISS, donde residen hasta seis astronautas al mismo tiempo. A medida que la ISS orbita alrededor de la Tierra, los paneles solares se pueden rotar para que apunten de una forma más directa hacia el Sol. Los paneles ocupan un área de 2500 m^2 , una superficie equivalente ¡al tamaño de medio campo de fútbol!

ESA/NASA

ACTIVIDAD 3

Exploración del espacio con energía solar

¿Cuándo conviene usar energía solar para la exploración solar y cómo podemos aprovechar para ello lo que sabemos sobre la ley del inverso del cuadrado y sobre el ángulo de incidencia? La misión Rosetta de la ESA, que viajó a 800 millones de distancia del Sol, necesitaba paneles solares inmensos para generar la energía suficiente para alimentar los sistemas que llevaba a bordo. En cambio, la misión BepiColombo de la ESA a Mercurio se acerca tanto al Sol que recibirá cantidades inmensas de radiación que pueden resultar muy dañinas para los paneles solares.

EJERCICIO

- 1 La Tierra dista unos 150 millones de km del Sol. El promedio de energía que emite el Sol asciende a 3.828×10^{26} W. Usa la ecuación 1 de la actividad 1 para calcular la intensidad de la luz a la distancia a la que se encuentra la Tierra (I_{Tierra}).

- 2 La distancia mínima al Sol a la que se situará BepiColombo rondará los 45 millones de km. Para reducir al mínimo los daños que pueda causar el intenso calor en los paneles solares estos deben mantenerse inclinados en dirección opuesta al Sol. Calcula la intensidad de la luz ($I_{\text{BepiColombo}}$) a esta distancia. Compárala con el valor obtenido para I_{Tierra} .

- 3 La distancia máxima al Sol a la que situó Rosetta fue de 800 millones de km. Calcula la intensidad de la luz (I_{Rosetta}) a esta distancia. Compárala con el valor de I_{Tierra} .

e1

A3

e1

- 4 Teniendo en cuenta las necesidades de energía eléctrica junto a la baja intensidad de la luz a una distancia tan grande del Sol, los paneles solares de Rosetta tuvieron que diseñarse con un área muy extensa, de 64 m^2 . ¿Qué tamaño tendrían que tener los paneles solares si Rosetta se encontrara a la misma distancia del Sol que la Tierra? Ten en cuenta tan solo la diferencia en cuanto a intensidad de la luz y supón que el resto de variables se mantiene constante.

- 5 Imagina ahora que Rosetta se dedicara a la exploración de Saturno, situado a 1400 millones de km del Sol. ¿Qué tamaño precisarían los paneles solares a esta distancia? Ten en cuenta tan solo la diferencia en cuanto a intensidad de la luz y supón que el resto de variables permanece constante.

- 6 La misión más reciente a Saturno, la de la sonda Cassini-Huygens, obtenía la electricidad con generadores termoeléctricos de radioisótopos. La Cassini-Huygens necesitaba 885 W de potencia eléctrica, mientras que Rosetta tan solo precisaba 395 W . Calcula el tamaño que tendrían que tener los paneles solares para propulsar la nave Cassini-Huygens (a la distancia de Saturno) suponiendo que fueran de un tipo similar a los paneles solares de Rosetta.

- 7 Los generadores termoeléctricos de radioisótopos que se utilizaron para Cassini-Huygens tenían una masa de 56.4 kg . Los paneles solares de Rosetta tenían una masa de 51.2 kg . ¿Cuánto habría aumentado la masa de Cassini-Huygens si se hubieran utilizado paneles solares para alimentarla, de acuerdo con los cálculos que realizaste para resolver la pregunta 5?

- 8 ¿Qué ventajas y qué desventajas tiene el empleo de energía solar para la exploración espacial?

.....

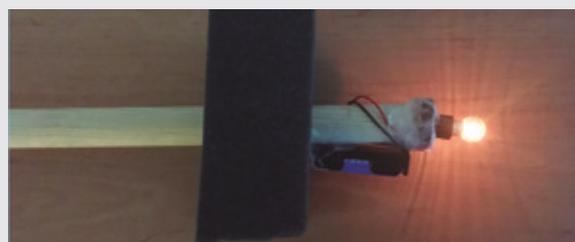
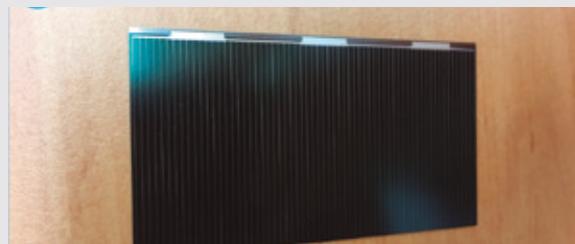
.....

Anexo 1

EL PODER DE LA LUZ DEL SOL

LEY DEL INVERSO DEL CUADRADO

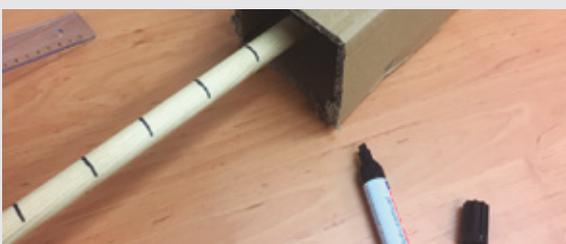
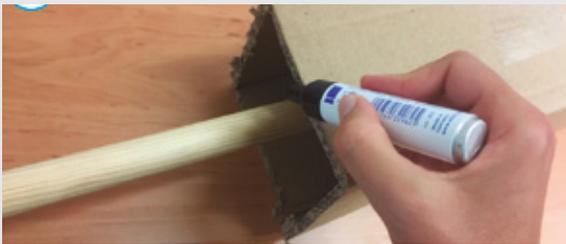
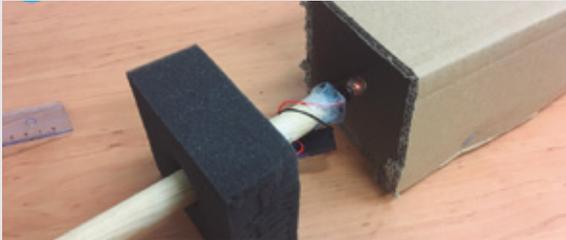
- 1** Necesitarás una caja oscura (entre 20 y 30 cm de longitud bastarán para una bombilla pequeña).
- 2** También necesitarás una célula solar.
- 3** Conecta las pinzas de cocodrilo a la célula solar. Dependiendo de cómo sea la célula solar, tal vez tengas que crear puntos de conexión para las pinzas de cocodrilo. Una manera sencilla de hacerlo consiste en usar clips de papelería.
- 4** Comprueba que la célula solar funciona correctamente conectando un amperímetro en serie y un voltímetro en paralelo (o conectando un multímetro). Deberías obtener lecturas de intensidad de corriente y de la diferencia de potencial eléctrico.
- 5** Fija la célula solar al interior de la caja tal como se muestra en la imagen. Cierra la caja.
- 6** Coloca la pequeña bombilla conectada a una batería en el extremo de un palo de madera. Corta un trozo de material blando que hayas elegido para bloquear la luz con las mismas dimensiones que el extremo abierto de la caja para impedir que entre en ella cualquier claridad procedente de detrás de la fuente de luz, tal como se muestra en la imagen.



Anexo 2

EL PODER DE LA LUZ DEL SOL

ÁNGULO DE INCIDENCIA



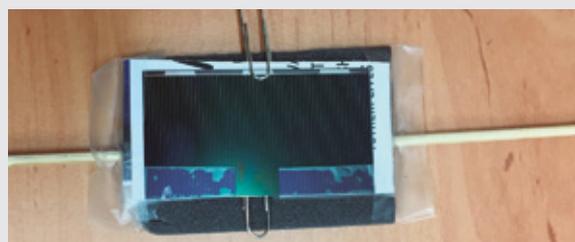
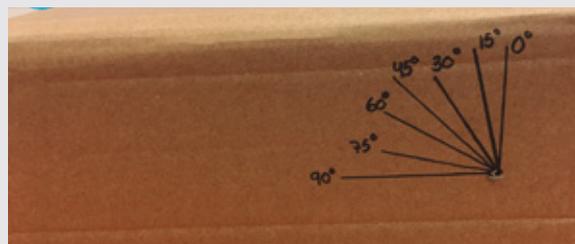
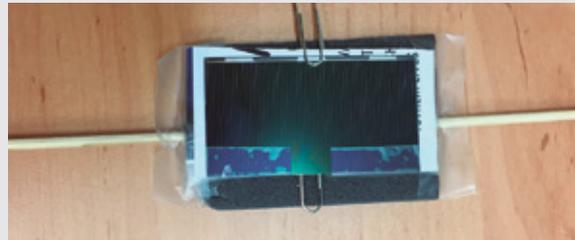
- 7** Enciende la fuente de luz e introduce la vara de madera en el interior de la caja. Encaja la esponja oscura al extremo abierto de la caja de manera que quede lo más ceñida posible, si fuera necesario, aísla la caja de la luz exterior con cinta adhesiva oscura o realiza el experimento en una habitación que esté a oscuras.
- 8** Introduce despacio el palo de madera dentro de la caja hasta que la fuente de luz esté tocando la célula solar. Hazlo con cuidado para no romper la célula solar.
- 9** Marca esta posición inicial en el palo de madera con un rotulador o une una cinta métrica al palo y toma nota del valor actual.
- 10** Con esto ha finalizado el montaje del experimento. Comprueba ahora que todo funciona y está conectado correctamente.
- 11** Separa 5 cm la fuente de luz de la célula solar. Anota en la tabla 1 de la ficha de trabajo los valores que has obtenido para la corriente y la diferencia de potencial eléctrico.
- 12** A partir de aquí, separa la fuente de luz 1 cm del panel solar varias veces sucesivas hasta que la fuente de luz llegue al final de la caja. Anota la diferencia de potencial eléctrico y la intensidad de la corriente en cada una de esas posiciones. Repite estas mismas mediciones dos veces con las mismas condiciones y distancias.

Anexo 2

EL PODER DE LA LUZ DEL SOL

ÁNGULO DE INCIDENCIA

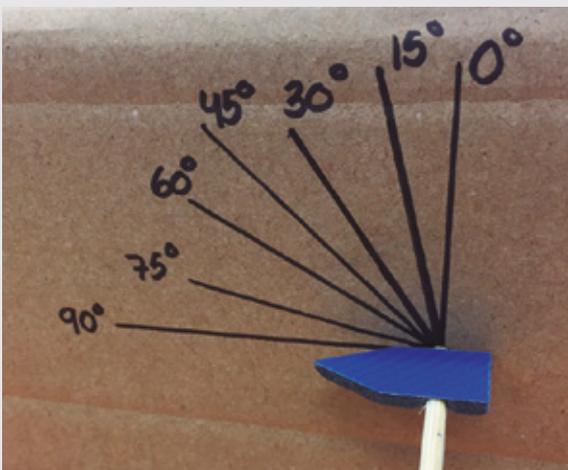
- 13** Utiliza el material de la actividad 1. Fija una varilla fina (una brocheta de madera serviría) a la célula solar que te permita rotarla dentro de la caja. El eje de rotación deberá estar bien centrado en la célula solar.
- 14** Usa la caja de la actividad 1. Marca un punto en el lateral de la caja por el que tendrás que atravesar la varilla. Asegúrate de que está centrado en vertical de forma que esté a la misma distancia de la parte superior y la inferior de la caja. Asegúrate de que hay suficiente espacio para que la célula solar rote sin tropezar con nada.
- 15** Marca los ángulos 0° , 30° , 45° , 60° y 90° con el eje vertical en un lateral de la caja (o fija a ese lateral un transportador de ángulos).
- 16** Coloca un trozo de cartulina en la varilla con la misma orientación que la célula solar, de manera que quede fuera de la caja y te sirva para saber qué ángulo mantiene la célula solar cuando esté dentro de la caja cerrada.
- 17** Introduce la célula solar dentro de la caja y conecta un amperímetro en serie y un voltímetro en paralelo (o conecta un multímetro). Cierra la caja.
- 18** Enciende la fuente de luz e introdúcela dentro de la caja. La distancia entre la fuente de luz y la célula solar deberá rondar los 10 cm. Esta distancia debería mantenerse constante a lo largo de todo el experimento (el palo de madera no debe moverse).



Anexo

EL PODER DE LA LUZ DEL SOL

ACTIVIDAD 1. DISEÑO Y CONFECCIÓN DE UN MÓDULO DE ATERRIZAJE LUNAR



- 19 Comprueba que funciona.
- 20 Mide la intensidad de la corriente y la diferencia de potencial eléctrico cuando la célula solar esté perpendicular a la fuente de luz (ángulo de incidencia de 0°). Anota las mediciones que has efectuado en la tabla 2 de la ficha de trabajo.
- 21 Inclina gradualmente la célula solar girando la varilla de madera y usa las indicaciones de ángulos o el transportador de ángulos del lateral de la caja para saber qué ángulo mantiene la célula situada en el interior. Mide la corriente y la diferencia de potencial eléctrico con cada uno de esos ángulos y anótalos en la tabla 2 de la ficha de trabajo.
- 22 Gira la célula solar hasta colocarla paralela a la fuente de luz (ángulo de incidencia de 90°). Mide la intensidad de corriente y la diferencia de potencial eléctrico en esa posición y anótalos en la tabla 2. Repite el experimento dos veces más.



Enlaces de interés

RECURSOS DIDÁCTICOS DE LA ESA

Desafío Base Lunar

https://www.esa.int/Education/Moon_Camp

Animaciones lunares sobre la exploración lunar

[esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon](https://www.esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon)

Recursos de la ESA para utilizar en el aula:

[esa.int/Education/Classroom_resources](https://www.esa.int/Education/Classroom_resources)

PROYECTOS ESPACIALES DE LA ESA

Misión Rosetta de la ESA

[esa.int/rosetta](https://www.esa.int/rosetta)

Misión BepiColombo de ESA/JAXA

[esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2](https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2)

Misión Cassini-Huygens

[esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens](https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens)

INFORMACIÓN TÉCNICA EN RELACIÓN CON LAS PREGUNTAS PLANTEADAS EN ESTE RECURSO

Información sobre la masa de los paneles solares de Rosetta (página 10)

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Potencia eléctrica efectiva generada a 5.25 au por Rosetta (395 W, 64 m²)

[esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter](https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter)

Especificaciones de la sonda Cassini

fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf

Información sobre la masa de los paneles solares estimada a partir de la diapositiva 10

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Despliegue del ala solar de BepiColombo

[youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs](https://www.youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs)



Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners



La **Oficina Europea de Recursos para la Educación Espacial en España (ESERO Spain)**, con el lema "Del espacio al aula", tiene como objetivo principal proporcionar recursos a los docentes de primaria y secundaria, para ayudarlos a fomentar vocaciones científicas y a potenciar el uso de disciplinas CTIM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) en el aula.

Este proyecto está liderado por el **Parque de las Ciencias de Granada** y cuenta con la colaboración del CDTI y otras instituciones educativas a nivel regional.

Exploración Espacial

COLECCIÓN

PRIMEROS PASOS EN LA LUNA

Incluye, entre otros:

- Refugio lunar
- Mano biónica
- Misión en la Luna
- Encuentra agua en la Luna
- La constitución lunar
- Aterrizaje en la Luna
- El poder de la luz del Sol**
- Extrae agua del suelo lunar
- Aprovecha la energía del agua
- ¿Podría sobrevivir la vida en entornos extraterrestres?

1ª edición, Julio 2019

ESERO SPAIN

Parque de las Ciencias
Avda. de la Ciencia s/n.
18006 Granada (España)
T: 958 131 900

info@esero.es
www.esero.es



EE-SB-02