

## A5 Las propiedades de las células solares – Tensión, corriente y potencia

Si se realizan los experimentos parciales para investigar las propiedades eléctricas de las células solares siguiendo el orden que se propone aquí forman una unidad lectiva que sirve en la teoría de la electricidad para verificar experimentando los conocimientos básicos adquiridos. La actualidad del tema la electricidad a partir de la energía solar contribuye seguramente a motivar a los alumnos y alumnas. Pero también temas como el de las energías renovables y la reestructuración de la política energética pueden abordarse muy bien con estos experimentos. Sin embargo, hay que tener en cuenta los conocimientos previos de los alumnos y alumnas. Los materiales y aparatos suministrados alcanzan para cuatro grupos de alumnos que realicen el experimento a la vez.

### 1 Pregunta central

Las células solares se aplican en numerosos aparatos y juguetes electrónicos pequeños así como en los tejados de las casas y en las grandes centrales solares para la generación de electricidad. La pregunta que pretenden responder los experimentos se refiere a lo que se debe tener en cuenta al conectar las células solares entre sí. ¿Qué sucede con la tensión, la intensidad y la potencia en las diferentes combinaciones y en condiciones de iluminación dispares? Y, por último, ¿cómo se puede medir? Los experimentos transmiten de esta forma conocimientos básicos que sirven tanto para construir células solares como para su aprovechamiento técnico a gran escala.

### 2 Integrar el experimento en el contexto educativo

#### 2.1 Base científica

Para realizar los experimentos se requieren los siguientes conocimientos previos y experiencias:

- conocimientos sobre las conexiones en serie y en paralelo de pilas y resistencias
- experiencia en el uso de un multímetro
- conocimientos sobre los términos básicos de la teoría de la electricidad (la intensidad, la tensión, la resistencia, la potencia)
- experiencia en la elaboración de diagramas
- conocimientos sobre el concepto de resistencia interna

#### 2.2 Relevancia en el plan de estudios

Los experimentos sobre la célula solar pertenecen al campo de la teoría de la electricidad. Revisten importancia también en el contexto de la energía, que entre tanto juega un papel a todas las edades. Para el experimento parcial 1 se requieren sólo conocimientos básicos sobre los circuitos eléctricos. Los experimentos parciales 2 y 3 son adecuados para los grupos de edad a partir de los 12 años. Los experimentos parciales 4 a 6 exigen en comparación con los anteriores una reflexión más abstracta y teórica y se recomiendan para el grupo de edad a partir de los 14 años.

**Temas y terminología:** El sombreado, el acumulador, la pila, la teoría de la electricidad, el abastecimiento energético, la fuente de tensión continua, la resistencia interna, la corriente de cortocircuito, la resistencia de carga, la tensión en vacío, la curva de medición, la conexión en paralelo, el potenciómetro, la conexión en serie, la tensión de conexión (del diodo), el motor solar, la célula solar, la caída de tensión, el circuito eléctrico, la curva de tensión e intensidad U-I, la manipulación de aparatos de medición, la interconexión de módulos solares, la resistencia

## 2.3 Conocimientos a adquirir

### 2.3.1 Competencias específicas

Los alumnos y alumnas aprenden a ...

- describir cómo funciona una célula solar.
- investigar los factores que influyen en el rendimiento de una célula solar siguiendo un plan.
- preparar y realizar experimentos con células solares siguiendo un plan.
- explicar los conceptos corriente de cortocircuito y tensión en vacío.
- describir y comparar entre sí la conexión en serie y en paralelo de células solares y su efecto.
- evaluar la conexión en serie y en paralelo de células solares respecto a su importancia en la práctica.
- describir la importancia de la resistencia interna de una célula solar para las aplicaciones prácticas.

### 2.3.2 Los principales temas abordados en el experimento parcial 6

Los alumnos y alumnas aprenden aquí a ...

- explicar el significado del punto máximo de potencia MPP (Maximum Power Point).
- representar gráficamente e interpretar los valores de medición.
- planificar un experimento para estudiar el cambio de la resistencia interna en función de la iluminación de una célula solar.

## 2.4 El experimento en el contexto explicativo

Las células solares transforman la energía de radiación del sol en energía eléctrica. Esto se manifiesta por medio de la tensión que se forma en la célula solar, que en el caso de las células solares aquí utilizadas alcanza un valor máximo de aprox. 0,55 V (tensión en vacío). Si se cortocircuita la célula solar, fluye una intensidad máxima de aprox. 0,11 A (intensidad de cortocircuito). (¡Una pila alcalina de manganeso tiene, en cambio, una corriente de cortocircuito a corto plazo de hasta 80 A!)

A diferencia de lo que conocen los alumnos y alumnas al manipular las pilas alcalinas de manganeso, la tensión de las células solares baja considerablemente cuando se integra un consumidor en el circuito eléctrico (p. ej., un foco o un motor solar). La diferencia se debe a la resistencia interna de la célula solar, que en comparación con la resistencia de esos consumidores es relativamente alta. Si fluye la corriente, baja por esta razón una parte considerable de la tensión de la célula solar. A diferencia de lo que sucede con pilas recargadas, la resistencia interna de las células solares no es constante, sino que depende de la intensidad de la iluminación.

Este hecho hace que sea fácil la interconexión de células solares, mientras que no se integre un consumidor en el circuito eléctrico. Sin embargo, las relaciones son mucho menos visibles cuando hay un consumidor en juego y si las condiciones de luz no son óptimas. Para entender la aplicación concreta de las células solares en la práctica hay que tener en cuenta estas relaciones complejas. Si el objetivo principal consiste en analizar las células solares como componentes electrónicos e integrarlas en el contexto de la teoría de la electricidad tradicional, entonces es importante realizar experimentos teóricos en células solares no sometidas a carga. Los experimentos parciales tienen en cuenta ambos objetivos de igual manera y tienden un puente entre las dos perspectivas diferentes.

### 2.4.1 Experimento parcial 1: Primeras exploraciones con la célula solar

Este experimento aporta una primera base para los demás experimentos. El objetivo consiste en quitar a los alumnos y alumnas el miedo a manipular material de experimentación. Por esta razón se integró el estudio del efecto de los diferentes materiales transparentes que sirven para cubrir las células solares a modo de componente lúdico y de exploración. También se pueden estudiar otros factores de influencia. Como indicador sirve aquí el motor solar, que si bien no permite obtener resultados muy precisos, refuerza el carácter lúdico del experimento.

**Advertencia importante:** Si se emplea una lámpara como fuente de luz hay que procurar que la distancia de dicha fuente de luz a la célula solar se mantenga constante con ayuda de una regla. En la primera parte se trata, además, de reconocer que una célula solar, al igual que una pila, es una fuente de tensión continua, cuya polaridad es fácil de determinar.

De forma complementaria al experimento parcial 1 se podría resultar interesante llevar a cabo una medición cuantitativa de la intensidad y la tensión cambiando el ángulo de incidencia de la luz. Sin embargo, con las células solares relativamente pequeñas es difícil de lograr. A este respecto es conveniente construir dispositivos que faciliten la sujeción de la célula solar en ángulos definidos.

#### La transferencia de conocimientos

Respecto a la pregunta de si es recomendable instalar células solares sobre el tejado de una casa es fundamental conocer la orientación del tejado respecto al sol.

Una capa de suciedad sobre las células solares reduce su efectividad. Por esta razón hay que limpiar las células solares.

### 2.4.2 Experimento parcial 2: La intensidad de un cortocircuito y la tensión en vacío al colocar la lámpara a diferentes distancias

El núcleo de este experimento es estudiar cómo cambian la intensidad y la tensión al modificar la distancia de la lámpara. Este experimento sirve así de introducción a una descripción cuantitativa de las células solares y a los términos tensión en vacío y corriente de cortocircuito. El principio básico de medición se vuelve a utilizar en el experimento parcial 4. Las curvas de medición dejan claro que la intensidad depende mucho más de la iluminación que la tensión. Las figuras 1 y 2 sirven de orientación respecto a los resultados de medición previsibles y la precisión. Además, sirven para entender a qué distancias respecto al foco (halógeno, de 20 W) se pueden realizar convenientemente las mediciones (véase las figuras 1 y 2).

#### La transferencia de conocimientos

Los cambios en la distancia al foco son equivalentes a una radiación de diferente intensidad. El resultado se puede transferir al primer experimento. Al poner la luz en la sombra cae drásticamente sobre todo la intensidad. El profesor o la profesora debería indicar los principios subyacentes a la “caída de la intensidad de la iluminación con la distancia al cuadrado (véase la fig. 1).

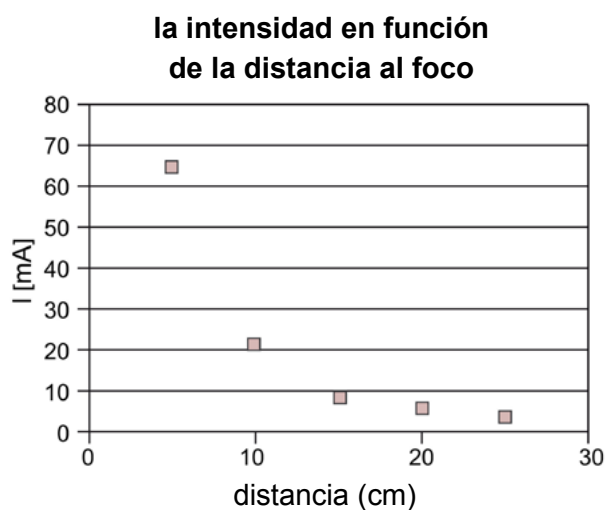


Fig. 1: Ya a una distancia de 10 cm la intensidad cae drásticamente.

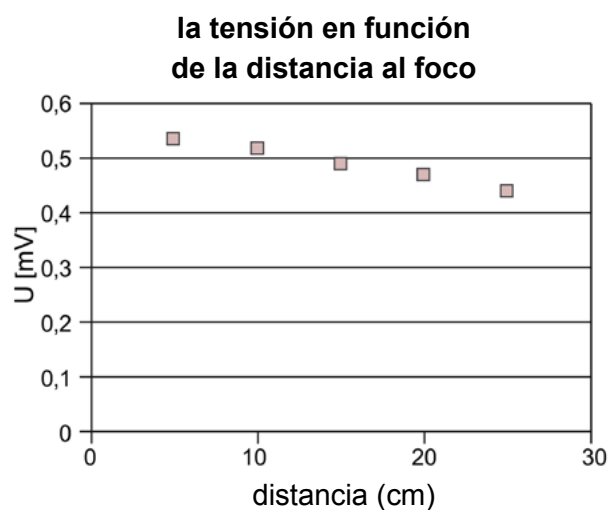


Fig. 2: La tensión sólo baja un poco al aumentar la distancia al foco. El transcurso de la curva es casi lineal.

### 2.4.3 Experimento parcial 3: ¿Qué sucede al conectar las células solares en serie o en paralelo?

Este experimento aborda la cuestión de cómo hay que interconectar las células solares para mejorar la potencia de un aparato conectado (aquí con el ejemplo del motor solar). El resultado del experimento depende de forma decisiva de a qué distancia se encuentra la lámpara. Mientras si está a una distancia relativamente pequeña de la lámpara la conexión en paralelo suministra un número muy superior de revoluciones del motor, a una distancia mayor es más conveniente una conexión en serie. En la variante que se sugiere aquí los alumnos y alumnas realizan las mediciones bastante cerca de la lámpara. La célula solar trabaja entonces cerca de su gama de potencia óptima. Esto corresponde aproximadamente a las mismas condiciones que bajo la radiación solar. El experimento muestra que en estas condiciones y con este motor solar como consumidor la conexión en paralelo es mucho más conveniente que una conexión en serie. Porque a menor intensidad de iluminación disminuye la electricidad a partir de la energía solar y la resistencia interna de la célula solar aumenta. (En el experimento con el foco halógeno baja la intensidad de la iluminación con la distancia al cuadrado respecto a la fuente de luz). Esto se contradice con las experiencias típicas adquiridas al interconectar las pilas. Sólo cuando se construye un modelo de célula solar como fuente de tensión con una resistencia interna se comprende lo observado: En una conexión en serie se duplica la resistencia interna, mientras que en una conexión en paralelo se divide a la mitad. La resistencia interna de una célula solar es, sin embargo, superior a  $20 \Omega$  (véase el experimento parcial 6) y así tiene una dimensión que equivale a la mitad de la resistencia del motor. En comparación con ello las pilas alcalinas de manganeso, p. ej., tienen una resistencia interna muy baja, del orden de  $0,1 \Omega$ , algo que casi no se nota en comparación con la resistencia de carga de los consumidores comunes como, p. ej., los juguetes o los aparatos musicales. La conexión en serie de dos pilas (no sobrecargadas) tiene por ello el doble de tensión y de potencia.

#### La transferencia de conocimientos

La conexión en paralelo de células solares sirve para poner a disposición suficiente intensidad. En la interconexión técnica de células solares se aprovecha esta posibilidad. La conexión en serie ofrece en comparación con ello la posibilidad de poner a disposición con ciertas finalidades la

tensión mínima necesaria (p. ej., para cargar un acumulador se necesitan aprox. 2 V). Además, la conexión en paralelo ofrece la posibilidad de compensar el sombreado de células individuales dentro de los módulos (véase el experimento parcial 5). En la interconexión técnica de las células solares formando módulos solares se utilizan dentro de los módulos los dos tipos de conexión. En caso de que se suministre energía a juguetes solares con varias células solares, según el motor de que se trate es conveniente una conexión en paralelo o una combinación de conexión en paralelo y en serie.

#### 2.4.4 Experimento parcial 4: La intensidad y la tensión en la conexión en serie y en paralelo de células solares

Este experimento estudia la conexión en serie y en paralelo de células solares en condiciones idóneas en las que no hay un consumidor. En estas condiciones la situación es relativamente sencilla. La conexión en serie suministra el doble de tensión en vacío, mientras que una conexión en paralelo duplica la intensidad de cortocircuito. Es evidente que el producto de la intensidad de cortocircuito y la tensión en vacío debe interpretarse como potencia. Dado que, sin embargo, en el cortocircuito y la tensión en vacío se trata de mediciones en condiciones básicamente diferentes, los valores no pueden usarse para calcular la potencia. Para determinar la potencia de la célula solar sirve el experimento parcial 6.

#### La transferencia de conocimientos

En la interconexión de las células solares formando grandes módulos solares al hacer diferentes combinaciones de conexiones en serie y en paralelo se pueden obtener diferentes intensidades y tensiones. De este modo, un módulo integral de 24 V y 100 W se compone de aprox. 1.008 células elementales de 0,5 V/200 mA.

#### 2.4.5 Experimento parcial 5: ¿Cómo se comportan las células solares conectadas en serie o en paralelo al quedar en la sombra?

Este experimento estudia la pregunta de cómo incide el sombreado parcial de las células solares en la intensidad y la tensión de las diferentes conexiones de dos células solares. Para ello se realiza la sombra tapando la mitad de las dos células solares o bien tapando una de las dos células por completo. La tabla muestra valores a modo de ejemplo:

	conexión en paralelo		conexión en serie	
	tensión [V]	I [mA]	tensión [V]	I [mA]
no tapada	0,52	38	1,03	19
ambas tapadas a la mitad	0,49	23	0,97	12,5
una célula tapada por completo	0,49	23	0,93	3,8

#### La transferencia de conocimientos

Para construir módulos solares se conectan células solares en serie y las series a su vez en paralelo. De esta forma se puede compensar el sombreado dispar y la pérdida de células individuales.

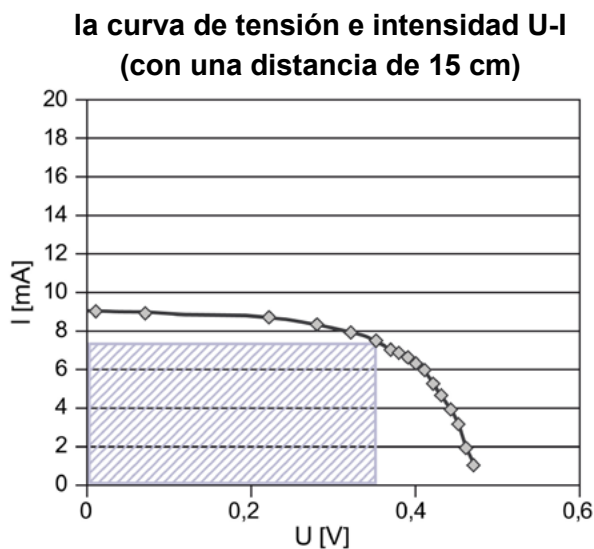
El profesor o la profesora debería indicar, sin embargo, que en los grandes módulos solares la conexión en serie para casos de sombreado o fallo de células también implica ciertos peligros. Es que si una célula individual de una serie grande se queda a la sombra no produce electricidad, sino que representa una resistencia y hace que caiga toda la tensión de la serie. Esto puede

causar que se funda la célula solar. Las células individuales llevan por ese motivo por lo general diodos puente para evitarlo. Se trata de diodos de conexión muy normales que se conectan en paralelo a la célula de forma que cuando hay luz permanecen inactivos (debido a que está por debajo de la tensión de conexión). Pero en caso de que se quede la célula a la sombra o si se avería se conecta y la corriente que viene de la otra célula de la serie puede fluir a través del diodo.

#### 2.4.6 Experimento parcial 6: Optimización de la potencia de las células solares

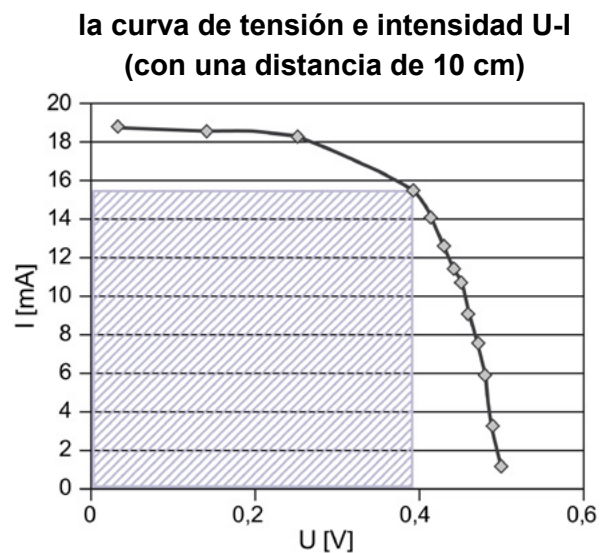
Con este experimento parcial se introduce e ilustra el concepto del punto de potencia máxima MPP (Maximum Power Point). Se trata del punto en la curva de tensión e intensidad U-I en el que la potencia de la célula solar alcanza el punto máximo. La curva U-I y el punto de potencia máxima MPP son característicos del rendimiento de una célula solar (véase la hoja informativa de una célula solar típica en el punto “Informaciones adicionales sobre el experimento”). Para registrar la curva U-I en el experimento se miden la intensidad y la tensión en una resistencia variable. El punto máximo de potencia se determina para simplificar el ejercicio a partir de los valores de medición (y no a partir de la curva de medición).

Con el modelo de una célula solar como fuente de tensión con resistencia interna se puede mostrar que la potencia en el consumidor llega al máximo cuando la resistencia del consumidor es equivalente a la resistencia interna de la célula solar. (En grupos de alumnos avanzados esto se puede comprobar con un software de simulación). Si se parte de esta premisa, a partir del punto de potencia máxima se puede determinar la resistencia interna de la célula solar. Las figuras 3 y 4 dan una idea de los valores de medición que pueden obtenerse.



La potencia máxima  $P = 2,6 \text{ mW}$   
La resistencia interna  $R = 47 \Omega$

Fig. 3: La curva de tensión e intensidad U-I al medir a una distancia de 15 cm de la lámpara. El cuadrado rayado simboliza la potencia.



La potencia máxima  $P = 6,0 \text{ mW}$   
La resistencia interna  $R = 25 \Omega$

Fig. 4: La curva de tensión e intensidad U-I al medir a una distancia de 10 cm de la lámpara. Se puede observar claramente la diferencia en la trayectoria de las curvas. La resistencia interna en relación con la fig. 3 ha disminuido.

A modo de ampliación respecto al experimento parcial 6 se puede determinar el punto máximo de potencia MPP adicionalmente para la conexión en serie y en paralelo. De esta forma se puede comprobar que se duplica casi la potencia máxima al utilizar dos células solares, al margen de la

conexión (para 15 cm de distancia del foco de 2,6 mW a 4,8 mW, en el caso de una distancia de 10 cm del foco de 6 mW a 10,5 mW).

### La transferencia de conocimientos

En las instalaciones técnicas a gran escala la resistencia del consumidor se regula electrónicamente en función de las condiciones de iluminación a fin de optimizar la potencia de las células solares.

## 2.5 Variantes de ejecución

Todos los experimentos parciales excepto el experimento parcial 2 se pueden realizar también a la luz del sol. Sin embargo, en ese caso las condiciones de iluminación tienen que ser constantes y buenas. Los experimentos parciales presentados se encadenan de forma lógica. Pero sin problema alguno se pueden omitir algunos experimentos parciales. Es posible cambiar el orden de ejecución de los experimentos 3 y 4.

La cantidad de alumnos y alumnas por grupo no debería ser demasiado grande (como máximo tres por grupo), dado que de otro modo no todos los miembros del grupo pueden experimentar de forma activa.

## 3 Informaciones adicionales sobre el experimento

Para preparar y/o profundizar este experimento encontrará información complementaria en el Portal de Medios de la Siemens Stiftung:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Además, el paquete de medios didácticos titulado “La energía solar y la fotovoltaica – Fuentes de energía con futuro” aborda en profundidad las bases y las aplicaciones técnicas del experimento.

## 4 Observaciones sobre la realización del experimento

### 4.1 Lugar en el que se realiza el experimento

Los alumnos y alumnas pueden realizar los experimentos utilizando varias lámparas de mesa en cualquier aula. La luz solar entrante puede incidir considerablemente en las mediciones. Con excepción del experimento parcial 2 las mediciones también se pueden llevar a cabo a la luz del sol.

### 4.2 Tiempo necesario

Los tiempos que se indican a continuación son únicamente orientativos. El tiempo requerido para la evaluación y para responder las preguntas incluye también una breve conversación con el profesor o la profesora.

	preparación y realización	evaluación, preguntas
Experimento parcial 1	15 min.	15 min.
Experimento parcial 2	20 min.	20 min.
Experimento parcial 3	15 min.	20 min.
Experimento parcial 4	20 min.	20 min.
Experimento parcial 5	20 min.	30 min.
Experimento parcial 6	30 min.	20 min.

### 4.3 Advertencias de seguridad

Los experimentos sólo pueden ser realizados bajo la vigilancia del profesor o de la profesora. Hay que advertir a los alumnos y alumnas que los materiales suministrados sólo se deben utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

### 4.4 Aparatos y materiales

#### A adquirir o preparar previamente:

- reglas (30 cm)
- cartón para fijar las células solares
- materiales de distinta transparencia (p. ej., láminas o filminas, papel transparente)
- lámpara de escritorio (lámpara halógena, 20 W)

#### Incluido en el suministro:

Los aparatos y materiales entregados son suficientes para que **cuatro** grupos de alumnos realicen el experimento en paralelo.

El cableado correcto y la utilización correcta del multímetro y del motor es algo que debería aclarar el profesor de antemano en función de los conocimientos de los alumnos y alumnas, si hace falta haciendo una demostración.

Para **un** grupo de alumnos se requieren los siguientes materiales de la caja:

material	cantidad
multímetro digital	2x
banda elástica (para fijar las células solares)	2x
juego de cable de medición banana/cocodrilo, en rojo y negro, respectivamente	2x
papel, negro, DIN A4	1x
potenciómetro, 470 Ohm	1x
hélice (para el motor solar grande)	1x
tijera	1x
motor solar grande, armadura de hierro, 0,4 V/25 mA	1x
célula solar, 0,5 V/150 mA	2x
cable conector de cocodrilo	6x



Fig. 5: Aparatos y materiales incluidos en el suministro para un grupo de alumnos.



#### **4.5 Poner orden, eliminar residuos, reciclar**

Todos los aparatos y casi todos los materiales suministrados en la caja se pueden reutilizar. Por ello debería asegurarse de que al concluir cada experimento coloquen todo nuevamente en la caja correspondiente. Así estará seguro de que Ud. y sus compañeros de trabajo encuentren todo rápidamente cuando lo quieran volver a utilizar.

Los aparatos que se hayan ensuciado al realizar los experimentos, como, p. ej., vasos, recipientes, cucharas, tubos de ensayo, deberían ser limpiados antes de colocarlos en las cajas. Lo más fácil es que los alumnos y alumnas se ocupen de hacerlo al finalizar el experimento. Además, asegúrese de que los aparatos estén listos para ser utilizados en la próxima ocasión. Por ejemplo, hay que poner a cargar las pilas usadas (También es recomendable cuando no se han usado las pilas desde hace tiempo.). Los materiales no reciclables como, p. ej., las barritas de medición del valor pH o el papel de filtro, deben ser tirados a la basura correcta. Los residuos resultantes de este experimento se pueden tirar a la basura normal o por el desagüe.