

Título: El lector de código de barras (del reflejo de la luz a la información digital)

Autor: Dustin Randel de Lara García ddelara3@alumno.uned.es

Planteamiento del tema

Con los avances en óptica y electrónica, la luz pasó de ser solo un fenómeno de iluminación a convertirse en una fuente de información medible. En un código de barras, pequeñas diferencias de absorción y reflexión entre barras oscuras y espacios claros generan variaciones de luz que un sensor puede transformar en señales eléctricas.

La cuestión que se plantea es cómo un patrón tan simple impreso en papel puede leerse de forma rápida y fiable en contextos reales (supermercados, logística o bibliotecas), convirtiéndose en datos digitales que identifiquen un producto sin errores: el escáner ilumina el código, registra la luz reflejada, la convierte en señal y un decodificador interpreta la secuencia resultante.

Objetivo del ejemplo

- Introducir (a nivel divulgativo) nuevos conceptos de óptica y electrónica asociados a una tecnología cotidiana: interacción luz-superficie y detección mediante sensores.
- Comprender cualitativamente cómo un lector de códigos de barras transforma un patrón impreso en una señal eléctrica y, después, en información digital decodificada.

Leyes de la Física y la Química que intervienen

- Interacción luz-materia: absorción y reflexión (contraste óptico).
- Ley de la reflexión y reflexión especular/difusa.
- Física de semiconductores: unión p-n y efecto fotoeléctrico en fotodiodos (luz → señal eléctrica).
- Ley de Ohm.
- Teoría de señales: ruido, filtrado y umbralización para obtener información digital.

Fenómenos que se pueden interpretar

- Diferencia entre absorción en barras oscuras y reflexión en espacios claros (contraste óptico).
- Conversión energía luminosa → señal eléctrica en un sensor (variación de corriente/tensión).
- Aparición de una señal “tipo onda” al escanear: picos (zonas claras) y valles (zonas oscuras).
- Cómo influyen distancia, inclinación, brillo del papel, calidad de impresión y luz ambiente (ruido).
- Idea de codificación: distintos anchos de barras/espacios representan información.

Experimentos y observaciones que se pueden llevar a cabo

Con una fuente de luz (por ejemplo, un puntero láser de baja potencia) y un sensor (fotodiodo/fototransistor), se registra cómo cambia la señal eléctrica cuando el patrón de barras se desplaza frente al sistema. A partir de las medidas se obtiene una gráfica de la señal y se aplica un criterio de umbral para convertirla en 0/1 y tratar de decodificar el código, analizando el efecto del ruido y de las condiciones de lectura.

Consideraciones acerca de su adaptación al aula de bachillerato

En el caso presente, las posibles dificultades para llevarlo al aula de Bachillerato y las soluciones que pueden adoptarse son:

- Conceptos fuera del temario (óptica aplicada y sensores):
 - Solución: enfoque cualitativo con esquemas de bloques (fuente → sensor → señal → umbral → código) y analogías, sin modelos avanzados.
- Decodificación real demasiado compleja (estándares EAN/UPC):
 - Solución: usar una codificación didáctica simplificada, centrada en el paso señal → bits → identificador.
- Ruido y errores de medida (luz ambiente, alineación, distancia):
 - Solución: tratarlo como parte del aprendizaje: repetir medidas, comparar condiciones y ajustar un umbral (y filtrado simple si hace falta).
- Recursos/tiempo y seguridad (especialmente si se usa láser):
 - Solución: práctica por grupos con montaje fijo y normas de seguridad; si no hay material, trabajar con datos ya capturados para que todos puedan graficar y decodificar.

Permiso de difusión entre los participantes en el máster

El autor permite que el ejemplo sea difundido entre los participantes en el Máster de Formación del Profesorado de la UNED.

1. Desarrollo del lector de códigos de barras

Contextualización e introducción

En la sociedad de la información, una parte esencial de la comunicación no es solo transmitir mensajes entre personas, sino identificar y registrar objetos de forma rápida y fiable en procesos cotidianos (venta, inventario, logística o bibliotecas). En ese contexto, el código de barras se consolidó como una solución simple y robusta: representa un identificador mediante un patrón impreso de barras y espacios, de modo que pueda leerse automáticamente por un dispositivo.

El lector de códigos de barras realiza esa lectura mediante un proceso físico-tecnológico: ilumina el patrón (típicamente con un escáner láser), las barras oscuras absorben más luz y los espacios claros reflejan más, y el sistema convierte la luz reflejada en una señal eléctrica que posteriormente es interpretada por un decodificador [1]. Esta idea enlaza con la estandarización de los códigos más extendidos en el comercio minorista, como la familia EAN/UPC [2], cuya especificación técnica está recogida en la norma ISO/IEC 15420 [3].

A partir de esta idea, en el presente trabajo se realizará primero una fundamentación teórica que establezca las leyes y fenómenos implicados; posteriormente se explicará el proceso de lectura por etapas para clasificar la cadena completa (iluminación, detección, generación de señal y decodificación); y, finalmente, se propondrá un experimento guiado para afianzar los conceptos, acompañado de una rúbrica de evaluación para valorar el desempeño del alumnado en la actividad práctica.

Fundamentación teórica: bases físicas y químicas que sostienen el proceso de lectura

1.1. Fundamentación teórica: bases físicas y químicas que sostienen el proceso de lectura

1.1.1. Contraste óptico: absorptancia, reflectancia y transmitancia (balance energético)

En radiometría, la *potencia radiante* (o *flujo radiante*) Φ es la energía electromagnética transportada por la luz por unidad de tiempo; se mide en vatios ($W = J/s$) [4]. Sea Φ_i la potencia radiante incidente sobre una pequeña región del código. Por conservación de la energía, esa potencia se reparte en tres contribuciones:

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a, \quad (1)$$

donde Φ_r es la potencia reflejada, Φ_t la potencia transmitida y Φ_a la potencia absorbida [5].

A partir de (1) se definen las fracciones adimensionales (entre 0 y 1):

$$R \equiv \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (\text{reflectancia}), \quad T \equiv \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad (\text{transmitancia}), \quad A \equiv \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (\text{absortancia}). \quad (2)$$

Dividiendo (1) entre Φ_i y usando (2) se obtiene directamente:

$$1 = R + T + A \Rightarrow A + R + T = 1 \quad (3)$$

Esta igualdad vale siempre por conservación de la energía, pero las magnitudes A , R y T pueden depender de la longitud de onda λ y de la geometría de iluminación/observación (por ejemplo, del ángulo de incidencia).

En soportes opacos como papel o cartón suele tomarse $T \approx 0$, por lo que $A + R \approx 1$. En un código de barras, las barras oscuras tienen mayor A (menor R) y los espacios claros mayor R (menor A), generando el contraste que explota el lector [1].

1.1.2. Reflexión: ley de la reflexión y reflexión especular/difusa

Para una superficie idealmente lisa (tipo espejo), la reflexión es especular y la dirección del rayo reflejado viene fijada por la ley de la reflexión:

$$\theta_r = \theta_i, \quad (4)$$

donde θ_i y θ_r se miden respecto a la normal a la superficie [6]. En ese caso, la luz reflejada se concentra en una dirección concreta, por lo que un detector fuera de esa dirección recibiría muy poca señal.

En cambio, en materiales reales como el papel o muchas etiquetas, la superficie es rugosa a escala microscópica y la reflexión es mayoritariamente difusa: la luz no se devuelve en un único rayo “como un espejo”, sino que se dispersa en múltiples direcciones [7]. Esto explica por qué el sensor puede recibir luz reflejada aunque no esté exactamente alineado con el ángulo especular. Aun así, la geometría del montaje (ángulo y distancia entre emisor, superficie y receptor) influye en la cantidad de luz captada y, por tanto, en la amplitud de la señal medida.

En la práctica, muchas superficies no son puramente difusas ni puramente especulares, sino una combinación de ambas. Por ejemplo, en envoltorios brillantes (plástico) aumenta la componente especular responsable del “brillo”, pero suele persistir una componente difusa debida a micro-rugosidad, arrugas y a la propia tinta impresa. La lectura del código sigue siendo posible siempre que la potencia óptica recogida por el sensor conserve suficiente contraste entre barras y espacios; en superficies muy brillantes, el reflejo especular puede reducir ese contraste, haciendo más relevante la elección del ángulo de lectura y el ajuste de umbral/ganancia.

1.1.3. Modelo simplificado: potencia reflejada que llega al sensor

Sea P_0 la potencia óptica incidente sobre una pequeña zona del código y $\rho(x)$ la reflectancia efectiva de esa zona (alta en blanco y baja en negro). En primera aproximación, la potencia óptica que alcanza el receptor puede modelarse como

$$P_{\text{det}}(x) = \eta \rho(x) P_0, \quad (5)$$

donde η agrupa la geometría del montaje (distancia, ángulo y apertura/campo de visión del receptor) y pérdidas del sistema. Esta expresión es suficiente para justificar que, al recorrer barras y espacios, la potencia reflejada que llega al sensor varía y transporta la información del patrón.

1.1.4. Fotodiodo: conversión de luz a señal eléctrica

El sensor (p. ej., un fotodiodo) convierte la potencia óptica incidente en una corriente aproximadamente proporcional. Se introduce la *responsividad* $\mathcal{R}(\lambda)$ (en A/W), y se aproxima:

$$I_{ph}(x) \approx \mathcal{R}(\lambda) P_{\text{det}}(x). \quad (6)$$

Esta relación permite conectar directamente “más luz reflejada” con “más señal eléctrica”, que es la base para distinguir zonas claras y oscuras durante el escaneo [8].

1.1.5. Acondicionamiento: de corriente a tensión

Para poder medir y procesar la señal, la photocorriente se transforma en una tensión. La forma más simple consiste en hacer circular la photocorriente por una resistencia de carga R_L , de modo que la salida viene dada aproximadamente por la ley de Ohm:

$$V_{out}(x) \approx I_{ph}(x) R_L. \quad (7)$$

El circuito convierte la luz recibida en una tensión que sube y baja al pasar por barras y espacios [9].

1.1.6. Ruido y variabilidad: por qué la señal no es perfecta

En condiciones reales la señal no es ideal: hay fluctuaciones por luz ambiente, distancia, inclinación, brillo del soporte y ruido eléctrico del propio circuito. Por ello, antes de convertir a 0/1 suele aplicarse algún tipo de estabilización (p. ej. filtrado simple o promediado) y se elige un umbral con margen para evitar errores cuando la señal oscila cerca del punto de decisión [9].

1.1.7. Digitalización y muestreo: de una señal continua a una secuencia 0/1

La lectura se interpreta como una señal que varía con la posición x (o con el tiempo t si el punto de lectura se desplaza). Para reconstruir el patrón, es necesario tomar medidas con suficiente “resolución”: en términos prácticos, el paso de muestreo (espacial o temporal) debe ser lo bastante pequeño como para distinguir las transiciones entre barras y espacios y estimar sus anchos. A partir de la señal medida, un umbral permite transformar la variación continua en una secuencia binaria (alto/bajo) que representa el patrón [10].

1.1.8. Codificación y decodificación: del patrón al identificador

Una vez obtenida la secuencia digital, el decodificador interpreta los anchos relativos de barras y espacios según unas reglas. En aplicaciones reales estas reglas siguen estándares; por ejemplo, la simbología EAN/UPC está normalizada y ampliamente utilizada en el etiquetado comercial [3, 2]. En un enfoque de aula puede emplearse una codificación simplificada para centrarse en la idea esencial: contraste óptico → señal eléctrica → señal digital → identificador [1].

1.2. Proceso de lectura: del contraste óptico al identificador

El funcionamiento de un lector de códigos de barras puede describirse de forma compacta como una cadena de conversión:

contraste óptico → señal eléctrica → señal digital → identificador.

Esta descripción resume el comportamiento de muchos lectores 1D: el sistema no forma una imagen completa, sino que obtiene una señal a partir de la variación de luz reflejada mientras el punto de lectura recorre el código [11, 12]. En los lectores láser clásicos, dicho punto se desplaza rápidamente mediante un elemento de barrido (espejo o prisma) y, por persistencia de la visión, ese desplazamiento suele percibirse como una línea luminosa [12].

Desde el punto de vista físico, el barrido convierte el patrón espacial en señal temporal: si la posición del punto sobre el código es $x(t)$ y el movimiento se aproxima por velocidad constante v , entonces

$$x(t) = v t, \quad (8)$$

de modo que la información del símbolo queda codificada en una señal que evoluciona con el tiempo [11].

1.2.1. Contraste óptico

El contraste del símbolo puede describirse mediante una reflectancia efectiva $R(t)$ asociada a la zona iluminada en cada instante: $R(t)$ toma valores altos cuando el haz incide en espacios claros y valores bajos cuando incide en barras oscuras. Como ya comentamos en la fundamentación teórica, una aproximación mínima para la potencia que alcanza el receptor es en este caso:

$$P_{\text{det}}(t) = \eta R(t) P_0 \quad (9)$$

Esta etapa establece el vínculo esencial entre el patrón impreso y la señal óptica que alimentará al detector fotoeléctrico [12].

1.2.2. De contraste óptico a señal eléctrica

La potencia óptica recogida se convierte en señal eléctrica mediante un sensor fotoeléctrico, típicamente un fotodiodo. En un rango de operación habitual, la photocorriente generada es:

$$I_{ph}(t) \approx S(\lambda) P_{\text{det}}(t), \quad (10)$$

Así, cuando el punto de lectura pasa por una zona clara, P_{det} aumenta y también lo hace la corriente; cuando pasa por una barra oscura, ambas disminuyen.

Para poder medir y procesar esta corriente, es necesario convertirla en una tensión. La forma más simple consiste en seguir la siguiente expresión con haciendo circular la fotocorriente por una resistencia de carga R_L :

$$V_{\text{out}}(t) \approx R_L I_{ph}(t). \quad (11)$$

En lectores reales se utilizan circuitos de acondicionamiento más robustos (por ejemplo, amplificadores de transimpedancia) que permiten ajustar la sensibilidad y estabilizar la señal frente a perturbaciones, pero el objetivo es el mismo: obtener una tensión $V_{\text{out}}(t)$ que reproduzca con claridad las variaciones claro/oscuro y pueda pasar a la etapa de digitalización [13].

1.2.3. De señal eléctrica a señal digital

La salida acondicionada es analógica (continua) y debe transformarse en una secuencia binaria. El principio básico es aplicar un umbral V_{th} a la señal:

$$b(t) = \begin{cases} 1, & V_{\text{out}}(t) \geq V_{th} \\ 0, & V_{\text{out}}(t) < V_{th} \end{cases} \quad (12)$$

obteniendo una señal digital que alterna niveles según barras y espacios. En esta etapa influyen las perturbaciones reales (luz ambiente, brillo del soporte, inclinación, distancia), por lo que suele ser necesario filtrar o suavizar ligeramente la señal y elegir el umbral con margen para evitar cambios espurios cuando hay ruido [13]. En lectores con barrido, el patrón espacial se convierte en patrón temporal: los anchos de barras/espacios pasan a ser duraciones (o número de muestras), que luego se medirán para interpretar la simbología [11].

1.2.4. De señal digital a identificador

Una vez disponible la secuencia binaria (y sus anchos relativos), el sistema aplica reglas de decodificación para obtener el identificador. En el comercio, la familia EAN/UPC está estandarizada: la norma ISO/IEC 15420 especifica la simbología y parámetros asociados, y las especificaciones de GS1 describen el uso del identificador (p. ej., GTIN) [3, 14]. Además, estos códigos incorporan un dígito de control (check digit) que permite verificar rápidamente si una lectura es consistente y rechazar lecturas con errores [15]. De este modo se completa la cadena: un fenómeno físico (contraste óptico) termina produciendo un dato fiable (identificador) utilizable por un sistema informático.

2. Experimento

2.1. Objetivo didáctico

El objetivo del experimento es reproducir, con un montaje sencillo, la cadena de conversión que sigue un lector 1D:

contraste óptico → señal eléctrica → señal digital.

En particular, se pretende (i) obtener una señal V_{out} que varíe al pasar por zonas claras/oscuras, (ii) representar y analizar esa señal, y (iii) aplicar un umbral para convertirla en una secuencia binaria 0/1 (sin entrar en decodificación estándar EAN/UPC, que requiere además medir anchos relativos con precisión) [11, 3].

2.2. Materiales

- Fuente de luz: puntero láser de baja potencia (preferiblemente clase 2) o LED colimado.

- Superficie con patrón: código de barras impreso en papel (o plantilla didáctica con barras anchas).
- Sensor de luz: fotodiodo / fototransistor en un módulo sencillo (recomendado) o sensor analógico de luz compatible con Arduino.
- Resistencia de carga R_L (p. ej., 10 k Ω a 100 k Ω) y cables/protoboard.
- Sistema de medida: multímetro (modo voltímetro) y/o Arduino (entrada analógica).
- Soporte/montaje fijo: pinzas, base, regla o carril para desplazar el papel de forma controlada.

2.3. Seguridad

Si se utiliza un láser, se trabaja con el haz fijado en un soporte, evitando en todo momento dirigirlo hacia los ojos y sin mirar directamente al haz (ni a reflejos especulares intensos). Estas precauciones son coherentes con recomendaciones de seguridad para radiación láser en productos de baja potencia (clase 2) [16, 17].

2.4. Montaje experimental (descripción general)

1. Se fija el láser apuntando hacia el papel, iluminando una región pequeña del patrón.
2. Se coloca el sensor de luz cerca del haz reflejado (mismo lado que el emisor), a una distancia y ángulo donde reciba señal estable. En papel mate, la componente difusa ayuda a que el sensor reciba luz sin necesitar un alineado “tipo espejo” [18].
3. El papel con el patrón se coloca sobre una regla/carril y se desplaza lentamente (o paso a paso) frente al haz, procurando que el punto de iluminación recorra el código perpendicularmente a las barras.

2.5. Procedimiento

1. **Calibración rápida:** con el láser apagado, medir V_{out} (luz ambiente). Encender el láser y ajustar la posición del sensor hasta obtener una variación apreciable al alternar entre una zona blanca y una negra del papel.
2. **Eleción de R_L :** si V_{out} es demasiado pequeño, aumentar R_L ; si satura o es muy ruidoso, reducir R_L . (La relación (??) explica este ajuste.)
3. **Adquisición de datos:** desplazar el papel en pasos regulares (por ejemplo, $\Delta x = 1 \text{ mm}$) y registrar V_{out} en cada posición. Alternativamente, si se usa Arduino, registrar $V_{\text{out}}(t)$ mientras se mueve el papel a velocidad aproximadamente constante.
4. **Repetición controlada:** repetir el recorrido al menos dos veces y comparar. Realizar, si se desea, una tercera medida cambiando una condición (más luz ambiente, distinta distancia sensor–papel, distinta inclinación) para observar cómo afecta al ruido/contraste.

2.6. Tratamiento de datos: de señal analógica a bits

2.6.1. Representación

Se grafica V_{out} frente al índice de medida n (o frente al tiempo si se registró $V_{\text{out}}(t)$). Se deben identificar visualmente:

- *mesetas altas* (espacios claros) y *mesetas bajas* (barras oscuras),
- *transiciones* entre ambos niveles (bordes).

2.6.2. Elección de umbral y binarización

Se elige un umbral simple, por ejemplo

$$V_{th} = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2},$$

y se define la señal binaria:

$$b(n) = \begin{cases} 1, & V_{\text{out}}(n) \geq V_{th} \\ 0, & V_{\text{out}}(n) < V_{th} \end{cases} \quad (13)$$

Este paso reproduce la idea central del lector: convertir una señal con variación clara/oscura en una secuencia digital. En sistemas reales, además, se consideran anchos/duraciones para decodificar simbologías estándar [11, 3].

2.6.3. Discusión del “no es tan fácil” (sin complicar)

Para no complicar, en este experimento nos quedamos en el nivel 0/1. No obstante, una decodificación real requiere *medir anchos relativos* de barras y espacios (duraciones en t o número de muestras), detectar patrones de inicio/fin y aplicar reglas del estándar (EAN/UPC), además de verificar el dígito de control [3, 14, 15].

2.7. Actividades para comprobar comprensión (antes, durante y después)

2.7.1. Actividad 1 (pre-lab): predicción cualitativa

1. Dibujar un esquema de bloques de la cadena: fuente → superficie → sensor → acondicionamiento → umbral → bits.
2. Indicar qué variable es mayor en blanco que en negro: R , P_{det} , I_{ph} y V_{out} .
3. Explicar por qué la señal V_{out} es continua aunque el patrón sea discreto (tamaño finito del punto, promediado óptico y respuesta no instantánea del circuito).

2.7.2. Actividad 2 (durante el lab): toma de datos y control de variables

1. Registrar una tabla con n (o x) y V_{out} para al menos 30 medidas.
2. Repetir el barrido y calcular el valor medio y la dispersión en 3 puntos (uno claramente blanco, uno claramente negro, uno en borde).
3. Probar una variación (luz ambiente o distancia) y anotar cómo cambia $V_{\max} - V_{\min}$ (contraste) y el “ruido” visible.

2.7.3. Actividad 3 (post-lab): binarización y reflexión

1. Representar la gráfica $V_{\text{out}}(n)$ y marcar un umbral V_{th} razonable.
2. Construir la secuencia $b(n)$ y señalar al menos 5 transiciones (cambios $0 \leftrightarrow 1$).
3. Preguntas cortas:
 - ¿Qué ocurre si V_{th} se elige demasiado alto? ¿y demasiado bajo?
 - ¿Qué condición experimental aumentó más los errores: más luz ambiente, más distancia o mayor inclinación? Justificar con la gráfica.
 - Proponer dos mejoras del montaje para aumentar fiabilidad (p. ej. fijación mecánica, sombreado contra luz ambiente, repetir y promediar, acercar el sensor, etc.).

3. Evaluación del ejemplo

La Tabla ?? presenta la rúbrica empleada para evaluar las *entregas del alumnado* asociadas al experimento (registro de datos, gráficas, binarización y reflexión final), valorando la calidad del trabajo presentado y la comprensión del proceso de lectura.

Criterio (general)	Puntos	Qué busco al corregir (descriptores)
Comprendión previa (pre-lab): cadena y predicciones	0 – 3	3: presenta un esquema de bloques claro de la cadena completa y realiza predicciones correctas (qué magnitudes aumentan/disminuyen en blanco vs. negro); explica de forma coherente por qué la señal medida es continua aunque el patrón sea discreto. 2: esquema y predicciones mayoritariamente correctas, pero con alguna omisión o explicación incompleta. 1: trabajo parcial o confuso; varias predicciones incorrectas y justificación débil. 0: no entrega o el contenido es incorrecto.
Trabajo experimental (durante el lab): datos y control de variables	0 – 4	4: registra datos suficientes y ordenados (tabla) y muestra repetición/consistencia; incluye algún cálculo simple (media/variabilidad) y analiza el efecto de cambiar una condición (contraste/ruido), con una conclusión breve. 3: datos correctos pero incompletos (poca repetición o análisis parcial). 1 – 2: datos escasos o poco claros; análisis superficial o sin comparación. 0: no hay datos útiles.
Tratamiento y reflexión (post-lab): gráfica, binarización y mejora	0 – 3	3: representa la señal correctamente, propone un umbral razonable y obtiene una secuencia binaria coherente; responde a las cuestiones justificando con la gráfica y propone mejoras realistas del montaje. 2: tratamiento correcto pero con alguna justificación incompleta (umbral o mejoras poco argumentadas). 1: entrega parcial (falta gráfica o binarización) o interpretación confusa. 0: no realiza el tratamiento o es mayoritariamente incorrecto.

Tabla 1: Rúbrica general (3 criterios) para evaluar las actividades asociadas al experimento de lectura de código de barras. Puntuación total: 10 puntos.

Referencias

- [1] UNED. *Tema 3: Aportaciones de la Física y de la Química a la sociedad de la comunicación*. Documento PDF del material de la asignatura. Apartado 2.6: “El lector de código de barras”. n.d.
- [2] GS1. *EAN/UPC barcodes*. n.d. URL: <https://www.gs1.org/standards/barcodes/ean-upc> (visitado 03-01-2026).
- [3] ISO. *ISO/IEC 15420:2025 — Information technology — Automatic identification and data capture techniques — EAN/UPC bar code symbology specification*. 2025. URL: <https://www.iso.org/standard/84892.html> (visitado 03-01-2026).
- [4] Rochester Institute of Technology (RIT). *Radiometry & Photometry: Introduction*. URL: https://www.cis.rit.edu/class/simg401/Radiometry_Photometry_Intro.pdf (visitado 03-01-2026).
- [5] National Institute of Standards and Technology (NIST). *Regular Spectral Transmittance*. 2011. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=840999 (visitado 03-01-2026).
- [6] OpenStax. *1.2 The Law of Reflection*. University Physics, Volume 3. 2016. URL: <https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/1-2-the-law-of-reflection> (visitado 03-01-2026).
- [7] OpenStax. *25.2 The Law of Reflection (Diffuse Reflection on Rough Surfaces)*. URL: <https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/25-2-the-law-of-reflection> (visitado 03-01-2026).

- [8] Hamamatsu Photonics. *Technical note: Si photodiodes*. n.d. URL: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/si_pd_kspd9001e.pdf (visitado 03-01-2026).
- [9] Texas Instruments. *Designing Photodiode Amplifier Circuits With OPA128 (SBOA061)*. n.d. URL: <https://www.ti.com/lit/pdf/sboa061> (visitado 03-01-2026).
- [10] MIT OpenCourseWare. *Lecture 16: Sampling (Signals and Systems)*. 2011. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/res-6-007-signals-and-systems-spring-2011/resources/lecture-16-sampling/> (visitado 03-01-2026).
- [11] Daniel Swartz, Alberto Branca, Marianna Bertoia y Daniel Ausburger. «Bar code scanning». En: *Scholarpedia* 7.9 (2012), pág. 12215. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Bar_code_scanning (visitado 03-01-2026).
- [12] Honeywell. *Complete guide to barcode scanners*. 2019. URL: <https://www.honeywell.com/us/en/news/featured-stories/2019/11/interesting-facts-about-barcode-scanners> (visitado 03-01-2026).
- [13] Texas Instruments. *Designing Photodiode Amplifier Circuits with OPA128 (SBOA061)*. Inf. téc. Texas Instruments. URL: <https://www.ti.com/lit/pdf/sboa061> (visitado 03-01-2026).
- [14] GS1. *GS1 General Specifications (Release 21.0.1)*. GS1, 2021. URL: https://www.gs1jp.org/assets/img/pdf/GS1_General_Specifications.pdf (visitado 03-01-2026).
- [15] GS1 US. *How to Calculate a Check Digit (Manual)*. Inf. téc. GS1 US. URL: <https://documents.gs1us.org/adobe/assets/deliver/urn%3Aaid%3Aaem%3A77c80eac-d4e2-41b1-a80d-97739060e8f4/How-to-Calculate-a-Check-Digit.pdf> (visitado 03-01-2026).
- [16] UK Health Security Agency. *Laser radiation: safety advice*. 2025. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/laser-radiation-safety-advice/laser-radiation-safety-advice> (visitado 03-01-2026).
- [17] The University of Manchester. *Laser Safety (Health and Safety guidance)*. URL: <https://staffnet.manchester.ac.uk/physics-and-astronomy/health-and-safety/laser-safety/> (visitado 03-01-2026).
- [18] OpenStax. *The Law of Reflection*. URL: <https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/25-2-the-law-of-reflection> (visitado 03-01-2026).