

## **Estación de Trabajo Científica Basada en Arduino: Modelo de Intervención para la Inclusión de Estudiantes con Baja Visión en Prácticas de Química.**

### **Arduino-Based Scientific Workstation: An Intervention Model for the Inclusion of Low-Vision Students in Chemistry Practices**

Midali Cavallini Sankey  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica  
[midali.cavallini.sanke@gmail.com](mailto:midali.cavallini.sanke@gmail.com)

**Resumen:** Este estudio desarrolló e implementó una estación científica basada en Arduino con el propósito de favorecer la inclusión de estudiantes con baja visión en prácticas de química, promoviendo su autonomía, participación y accesibilidad. La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo que combinó la Investigación Basada en Diseño y el estudio de caso, contando con la participación de un estudiante con baja visión, diez docentes de ciencias naturales y dos docentes expertos en tecnología. Para la recolección de información se emplearon cuestionarios, entrevistas y observaciones, cuyos datos fueron analizados mediante categorización temática.

Los resultados evidenciaron que la estación adaptada, equipada con sensores de peso y volumen y retroalimentación visual y auditiva, logró superar barreras de accesibilidad, favoreciendo la participación activa y fortaleciendo la confianza del estudiante. Se recomienda ampliar su implementación en otros contextos educativos y fortalecer la capacitación docente en estrategias inclusivas.

**Palabras clave:** Accesibilidad educativa, Aprendizaje multisensorial, Baja visión, Diseño universal de aprendizaje, Sensores Arduino.

**Abstract:** This study developed and implemented a scientific workstation based on Arduino with the purpose of fostering the inclusion of students with low vision in chemistry practices, promoting their autonomy, participation, and accessibility. The research was framed within a qualitative approach that combined Design-Based Research and a case study, involving one student with low vision, ten natural science teachers, and two technology experts as participants. Data collection included questionnaires, interviews, and observations, which were analyzed through thematic categorization.

The results showed that the adapted workstation, equipped with weight and volume sensors and visual and auditory feedback, successfully overcame accessibility barriers, enhancing the student's active participation and confidence. It is recommended to expand its implementation to other educational contexts and to strengthen teacher training in inclusive strategies.

**Keywords:** Arduino sensors, Educational accessibility, Low vision, Multisensory learning, Universal Design for Learning.

## **Introducción**

La inclusión de estudiantes con baja visión en los laboratorios de ciencias representa un desafío significativo para los sistemas educativos contemporáneos, ya que la mayoría de las prácticas experimentales están diseñadas para personas con visión normal. Esta exclusión limita el acceso a experiencias prácticas esenciales, afectando la comprensión de conceptos científicos, la autonomía académica y las perspectivas profesionales futuras de estos estudiantes.

En Costa Rica, aunque la Ley N.º 7600 de Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad garantiza el derecho a una educación inclusiva (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1996), los laboratorios de ciencias evidencian una carencia notable de adaptaciones específicas para estudiantes con discapacidad visual. Los entornos tradicionales presentan barreras tanto de equipamiento como metodológicas, que perpetúan la exclusión de actividades experimentales fundamentales.

La naturaleza visual de las prácticas de química hace que esta exclusión sea más evidente. La función visual depende de estructuras oculares como la córnea y el cristalino, que enfocan la luz sobre la retina, donde los fotorreceptores convierten los estímulos en señales transmitidas al cerebro (National Eye Institute, 2022). Aunado a lo anterior, la baja visión moderada a severa dificulta la observación de instrumentos, cambios de color y la manipulación precisa de materiales, afectando la seguridad y la participación en el aprendizaje (National Center for Biotechnology Information, 2022; Organización Mundial de la Salud, 2019).

Ante esta situación, resulta imperativo implementar estrategias pedagógicas que, de la mano con la integración de tecnologías digitales avanzadas, transformen los entornos de aprendizaje en espacios inclusivos. Frente a esto, la plataforma Arduino emerge como una solución prometedora por su versatilidad, bajo costo y capacidad para integrar sensores especializados

que traducen datos experimentales en salidas accesibles, como retroalimentación auditiva, táctil o visual amplificadas (Fernández, 2022). Estas tecnologías adaptativas promueven una participación más segura en prácticas de laboratorio y fomentan la independencia académica.

Para abordar dichas barreras, este proyecto propone desarrollar una estación científica adaptativa basada en Arduino, complementada con una guía de laboratorio especializada, que permita a estudiantes con baja visión participar de manera activa y segura en prácticas de química. La plataforma Arduino ofrece versatilidad, bajo costo y la capacidad de integrar sensores que traducen datos experimentales en retroalimentación accesible: auditiva, táctil o visual amplificadas (Fernández, 2022). Estas tecnologías promueven no solo la inclusión sino también la independencia académica y la equidad en el aprendizaje científico.

El propósito de este estudio es diseñar, implementar y evaluar una estación científica adaptativa que mejore la participación, aprendizaje autónomo y seguridad de los estudiantes con baja visión en los laboratorios de química del colegio Pan-American en Belén, Heredia, durante el año académico 2025. Se espera que esta intervención genere un modelo replicable de innovación pedagógica, contribuyendo a la transformación de los laboratorios científicos en espacios inclusivos y accesibles para todos los estudiantes.

## **Estado de la cuestión**

### *Antecedentes nacionales*

El acceso a una educación inclusiva es un derecho fundamental; sin embargo, en Costa Rica persisten limitaciones significativas en la adaptación tecnológica de los laboratorios de química para estudiantes con discapacidad visual. Según el Consejo Nacional de Personas con Discapacidad (CONAPDIS, 2023), aproximadamente el 5.8% de la población presenta algún grado de discapacidad visual, lo que evidencia la necesidad de estrategias que permitan la participación plena y autónoma de estas personas en actividades científicas.

El marco jurídico costarricense respalda esta inclusión: la Ley 7600 de Igualdad de Oportunidades y la Ley 9379 para la Promoción de la Autonomía Personal garantizan el acceso educativo y la implementación de apoyos para personas con discapacidad visual (Asamblea Legislativa, 2016). Sin embargo, la práctica escolar revela una brecha entre el marco legal y la realidad: un estudio del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2021) indica que el 95.5% de las personas con discapacidad no reciben apoyos relacionados

con adecuaciones curriculares ni recursos tecnológicos especializados. Esta evidencia refuerza la necesidad de intervenciones concretas, como la estación científica adaptativa propuesta en este proyecto, que permita el aprendizaje autónomo y seguro de los estudiantes con discapacidad visual. A pesar de estos avances, existen pocos estudios en el contexto costarricense que documenten el diseño y la evaluación de este tipo de estaciones.

### ***Antecedentes internacionales***

A nivel internacional, la educación inclusiva enfatiza la capacidad de los estudiantes con discapacidad visual para desarrollarse integralmente. Como señala Ruiz Arroyo (2024), “en el marco de la diversidad humana se reconoce a la persona con limitación visual como un sujeto que posee potencialidades para desarrollarse social, cultural, cognitiva y afectivamente” (p. 8). Esto subraya que las adaptaciones no buscan compensar una limitación, sino permitir el acceso efectivo al aprendizaje.

La UNESCO (2024) resalta que la innovación digital puede transformar los procesos de enseñanza, mientras que Yektyastuti et al. (2024) enfatizan la necesidad de formar ciudadanos competentes en ciencia y tecnología, capaces de responder a demandas profesionales y sociales. En la misma línea, Urías Arbolaez y Pino Torrens (2024) destacan que la integración de estudiantes con diversas condiciones en un entorno educativo común promueve equidad y desarrollo conjunto.

En particular, la implementación de estaciones científicas adaptativas con tecnologías como Arduino ha demostrado ser eficaz para garantizar accesibilidad en laboratorios de ciencias. Ruiz Arroyo (2024) señala que “los estudiantes con déficit visual pueden aprender junto con el resto de los estudiantes, ya que el proceso de aprendizaje y las operaciones mentales no están en relación directa con la visión; lo que necesitan son adaptaciones que les permitan acceder a la información que requieren aprender” (p. 91). Esto evidencia que los dispositivos tecnológicos adaptativos pueden ayudar a cerrar la brecha entre la normativa inclusiva y la práctica educativa real.

## **Marco Teórico**

### ***Educación Inclusiva y Discapacidad Visual***

La educación inclusiva constituye un pilar fundamental en los sistemas educativos modernos, al buscar atender la diversidad de necesidades de todos los estudiantes mediante la

participación plena en el aprendizaje, la cultura y la comunidad, reduciendo la exclusión educativa (UNESCO, 2023). En este marco, la atención a estudiantes con discapacidad visual es especialmente relevante. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023) define esta condición como un conjunto de limitaciones que abarcan tanto la ceguera como la baja visión, presentando desafíos particulares en entornos de aprendizaje práctico.

Costa Rica ha desarrollado políticas específicas en esta área. El Ministerio de Educación Pública (MEP, 2022) ha establecido directrices orientadas a la adaptación de materiales y espacios educativos para estudiantes con discapacidad visual, proporcionando un marco normativo sólido que permite implementar innovaciones educativas especializadas, como estaciones científicas adaptativas.

### ***Desafíos Específicos en la Enseñanza de Química***

La enseñanza de química presenta retos particulares para estudiantes con baja visión, incluyendo la dificultad para observar cambios de color en reacciones químicas, leer instrumentos de medición y manipular equipo de laboratorio con precisión (Universidad de Costa Rica, 2023). Estos desafíos son significativos, considerando que la experimentación permite a los estudiantes vivir el problema, analizar la experiencia y reflexionar sobre los resultados para emitir conclusiones fundamentadas (Yektyastuti et al., 2024).

Diversos estudios han propuesto estrategias adaptadas para enfrentar estas dificultades. Navarro (2023) implementó laboratorios adaptados en la Universidad Técnica Federico Santa María mediante impresión 3D y modelos tridimensionales táctiles, transformando espacios que previamente limitaban la participación íntegra de estudiantes con discapacidad visual. Esta evidencia sustenta la necesidad de intervenciones tecnológicas inclusivas, como la estación científica que se propone en este proyecto.

### ***Arduino como Tecnología Educativa Inclusiva***

Las tecnologías digitales emergen como herramientas clave para promover la inclusión educativa, al proporcionar acceso a experiencias que serían inaccesibles para estudiantes con discapacidades (OCDE, 2025). En este contexto, Arduino se presenta como una plataforma de prototipado electrónico versátil, de bajo costo y adaptable, capaz de crear soluciones personalizadas para estudiantes con necesidades educativas especiales (Ghai, 2022).

La integración de sensores especializados con Arduino permite interfaces multisensoriales que transforman datos experimentales en retroalimentación auditiva y táctil.

Valenzuela-Ramírez (2023) demuestra la viabilidad de crear dispositivos de asistencia, como detectores de obstáculos y sistemas de monitoreo de niveles de líquidos, que facilitan la participación activa de estudiantes con baja visión en laboratorios de ciencias. Sensores de peso y ultrasónicos integrados con Arduino proporcionan retroalimentación inmediata sobre cambios de masa y niveles de líquidos, permitiendo la realización de experimentos que tradicionalmente requerían observación visual directa.

### ***Principios de Diseño Universal y Desarrollo de Competencias***

El diseño de estaciones científicas adaptadas debe basarse en principios de Diseño Universal de Aprendizaje (DUA), que promueven la accesibilidad, la flexibilidad y la reducción de errores mediante características de alerta auditiva y retroalimentación multisensorial (Diseño Universal de Aprendizaje, 2023). Aplicados a laboratorios científicos, estos principios garantizan experiencias de aprendizaje significativas para todos los estudiantes, incluyendo aquellos con baja visión.

El desarrollo de competencias científicas constituye un objetivo central en la educación en ciencias. Según el marco de competencias de PISA (OCDE, 2025), los estudiantes deben ser capaces de explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones y analizar datos y evidencias científicas. Para estudiantes con baja visión, es fundamental incorporar un enfoque multisensorial que integre experiencias táctiles, auditivas y visuales adaptadas, fomentando la comprensión de conceptos y procedimientos experimentales (Fundación Querer, 2024).

### ***Consideraciones para la Implementación***

La implementación de estaciones de trabajo adaptadas requiere capacitación docente especializada y personalización según distintos grados de discapacidad visual. Esto demanda colaboración estrecha entre educadores, diseñadores tecnológicos y administraciones educativas para garantizar su efectividad.

Asimismo, las consideraciones éticas incluyen la protección de la privacidad, la equidad en el acceso a la tecnología y la prevención de estigmatización asociada con dispositivos

especializados. La sostenibilidad y escalabilidad de estas soluciones dependen de modelos económicamente viables y adaptables a diversos contextos educativos.

El desarrollo de estaciones científicas adaptadas mediante Arduino representa por lo tanto un avance significativo hacia la educación inclusiva en química, ofreciendo un camino prometedor para mejorar el aprendizaje y la participación de estudiantes con baja visión. Por otra parte, el éxito de estas iniciativas depende de la investigación continua, desarrollo tecnológico y colaboración interdisciplinaria, creando entornos educativos que empoderen a todos los estudiantes para alcanzar su máximo potencial científico.

## **Metodología**

### ***Enfoque cualitativo***

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo, fundamentado en su capacidad para explorar de manera profunda y detallada las experiencias de estudiantes con baja visión en contextos educativos reales. La investigación cualitativa permite a su vez comprender cómo los sujetos construyen significados a partir de sus experiencias (Valderrama Maguiña & Pease Dreibelbis, 2024), lo cual resulta particularmente adecuado para analizar las dinámicas del proceso de enseñanza-aprendizaje en laboratorios de química y evaluar la integración de tecnologías asistivas.

Este enfoque posibilita además un abordaje holístico de las interacciones entre estudiantes, docentes y el entorno del laboratorio (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista-Lucio, 2014), así como un proceso iterativo de ajuste y mejora de la intervención, en respuesta a la retroalimentación de los participantes.

Basado en observaciones naturalistas y un paradigma constructivista, el estudio de caso constituye el referente metodológico principal. En este marco, las entrevistas cualitativas no estructuradas permiten captar cómo los individuos perciben y comprenden su realidad desde su propia perspectiva, facilitando la exploración detallada de la experiencia de aprendizaje en contextos específicos (González-Juárez, 2022). Este enfoque permite contextualizar los hallazgos dentro del Colegio Pan-American School, generando información aplicable para diseñar estrategias didácticas inclusivas.

## *Diseño de la investigación*

### *Investigación Basada en Diseño (IBD)*

La investigación adopta la Investigación Basada en Diseño (IBD), reconocida por su enfoque iterativo y centrado en el usuario, orientado a desarrollar soluciones innovadoras a problemas educativos reales (Martinenko, 2025). La IBD permite reducir la brecha entre teoría y práctica, promoviendo nuevos abordajes de enseñanza en ciencias naturales que fomentan el desarrollo de prácticas científicas en contextos reales.

Aunado a la anterior, la IBD introduce elementos innovadores para transformar situaciones problemáticas identificadas, resultando especialmente adecuada para diseñar tecnologías educativas y estrategias didácticas adaptadas a poblaciones con necesidades específicas.

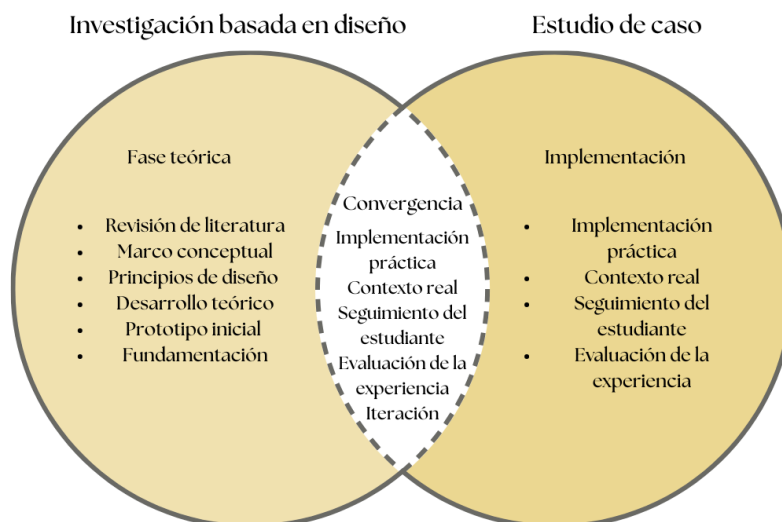
### *Estudio de caso*

Como estrategia complementaria, se implementa un estudio de caso, que posibilita un análisis detallado del proceso de implementación desde la identificación de necesidades hasta la evaluación del impacto de la estación científica. Esta metodología es apropiada para trabajar con un único participante, permitiendo un seguimiento minucioso y personalizado de su experiencia. Asimismo, según Arroyo-Rodríguez, Pérez & López (2023), el estudio de caso permite comprender fenómenos complejos mediante análisis en profundidad del discurso o comportamiento situados en el contexto natural.

La **Figura 1** ilustra la integración metodológica entre la IBD y el estudio de caso: la IBD aporta rigor teórico mediante la revisión de literatura, marco conceptual y diseño del prototipo inicial; el estudio de caso proporciona contexto para la implementación práctica, seguimiento del estudiante y evaluación de la experiencia. Esta complementariedad asegura que la estación científica adaptada esté fundamentada teórica y empíricamente.

## Figura 1

Diagrama de venn. Relación IDB y estudio de caso.



Nota: Elaboración propia.

### ***Población y muestra***

#### ***Población***

La población incluyó estudiantes con baja visión que cursan educación secundaria en asignaturas de química, así como docentes con formación universitaria en enseñanza de ciencias o química, participantes activos en las prácticas de laboratorio. Esta definición garantiza que los resultados sean relevantes y aplicables al grupo objetivo.

#### ***Muestra***

Se distinguen dos tipos de muestra según la etapa del estudio:

##### ***1. Muestra de Diseño (IBD)***

- Diez docentes de química con experiencia laboral de 2 a 15 años y más de 2 años supervisando laboratorios.
- Dos expertos en Arduino y prototipos educativos, quienes aseguraron la pertinencia técnica del prototipo.

Esta combinación garantiza retroalimentación pedagógica y técnica integral.

## **2. Muestra de Implementación (Estudio de Caso)**

- Un estudiante con baja visión, seleccionado por conveniencia, permitiendo un seguimiento detallado de su experiencia con la estación científica.

**Tabla 1.** *Características del estudiante muestra.*

Característica	Descripción
Nivel educativo	Undécimo año
Edad	16 años
Condición visual	Baja visión (Diagnostico médico)
Participación académica	Activo en clases de teoría y laboratorios
Condiciones adicionales	Sin condiciones que afecten el desempeño académico
Institución	Pan American School

Nota: Elaboración propia.

## ***Instrumentos de Recolección de Datos***

### ***Cuestionarios y encuestas***

Se diseñaron cuestionarios diferenciados para estudiantes y docentes, con el fin de evaluar la experiencia práctica, la integración pedagógica y la funcionalidad del prototipo.

**Tabla 2** *Dimensiones de las encuestas por participante.*

Participante	Dimensiones a Evaluar	Propósito
Estudiante	Experiencias previas, dificultades, necesidades de adaptación, recomendaciones, utilidad y funcionalidad	Comprender las necesidades, identificar barreras y evaluar la efectividad del prototipo.
Docente	Estrategias pedagógicas actuales, observaciones sobre participación, expectativas, sugerencias de mejora.	Evaluar integración en aula y optimización del diseño pedagógico y tecnológico

Nota: Elaboración propia.

### ***Entrevistas semiestructuradas***

Se realizaron entrevistas semiestructuradas al sujeto de estudio y docentes expertos en Arduino para evaluar la efectividad, accesibilidad y usabilidad de la estación científica. Las entrevistas permitieron explorar interacción con la estación, nivel de autonomía, participación activa, dificultades, sugerencias y adaptabilidad a otros laboratorios.

**Tabla 3** Dimensiones de las entrevistas al sujeto de estudio.

Participante	Dimensiones a Evaluar
Estudiante	Interacción, autonomía, participación, dificultades, recomendaciones
Docentes expertos en Arduino	Rol en desarrollo, sensores efectivos, dificultades técnicas, mejoras, adaptabilidad a otros laboratorios

*Nota:* Elaboración propia.

### ***Observaciones***

Se documentó el diagnóstico inicial y el desempeño del estudiante durante la implementación, considerando:

- Interacción con la estación científica
- Nivel de autonomía
- Participación activa
- Dificultades encontradas

### ***Análisis de Datos***

#### ***Procedimiento de Análisis Cualitativo***

Los datos cualitativos obtenidos a través de las entrevistas semiestructuradas, las notas de observación y las respuestas abiertas de los cuestionarios serán analizados mediante la técnica de Análisis Temático (Piña Rodríguez, 2024). Este enfoque es coherente con el paradigma constructivista y el enfoque cualitativo del estudio, ya que permite identificar, analizar e informar patrones (temas) dentro de los datos, capturando la riqueza de las experiencias y percepciones de los participantes.

## *Fases del Proyecto*

**Tabla 4** *Fases del Proyecto de Investigación.*

Fase	Descripción	Actividades principales
1: Identificación	Límites y alcance del proyecto	Observación en laboratorio, consentimiento informado, diagnóstico inicial
2: Definir	Fundamentación teórica, objetivos del proyecto.	Investigación bibliográfica, priorización de necesidades, contextualización
3: Idear	Conceptualización de soluciones	Sesiones de brainstorming, evaluación de tecnologías, diseño conceptual
4: Prototipar	Desarrollo del prototipo	Integración de sensores, programación Arduino, pruebas en Tinkercad
5: Probar	Validación en un contexto real	Implementación en laboratorio, recolección de datos, ajustes iterativos
6: Evaluar	Análisis de resultados	Procesamiento de datos, evaluación de impacto, recomendaciones

*Nota:* Elaboración propia.

Durante la fase de prototipado, se realizaron iteraciones de código en C++ para integrar sensores de peso y ultrasónicos, y se implementaron protocolos de calibración para garantizar mediciones precisas. Complementariamente, se programó un displayer en Python —un lenguaje de programación versátil y fácil de usar— con texto Arial tamaño 140 y alto contraste, proporcionando retroalimentación visual y auditiva simultánea.

El montaje físico incluyó componentes impresos en 3D y estructuras de madera para soportes y platillos de balanza. El cableado se organizó estratégicamente, y la superficie se recubrió con pintura de alto contraste, optimizando visibilidad y facilitando la interacción de estudiantes con baja visión. Esta configuración asegura la funcionalidad del prototipo y la efectividad de la retroalimentación multisensorial en un entorno real de laboratorio.

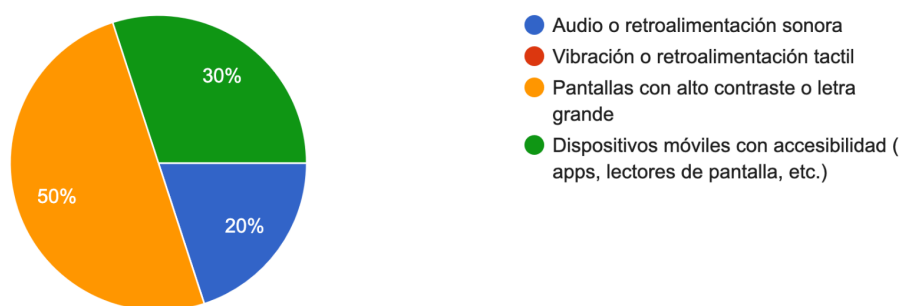
## Resultados

### *Hallazgos de docentes de ciencias*

Se aplicó un cuestionario a 10 docentes de ciencias de distintos colegios públicos y privados en Costa Rica, mediante Google Forms, con el objetivo de identificar las necesidades educativas y tecnológicas de estudiantes con baja visión en química.

**Figura 2** *Tecnologías más útiles para apoyar a un estudiante con baja visión en el laboratorio*

10 respuestas

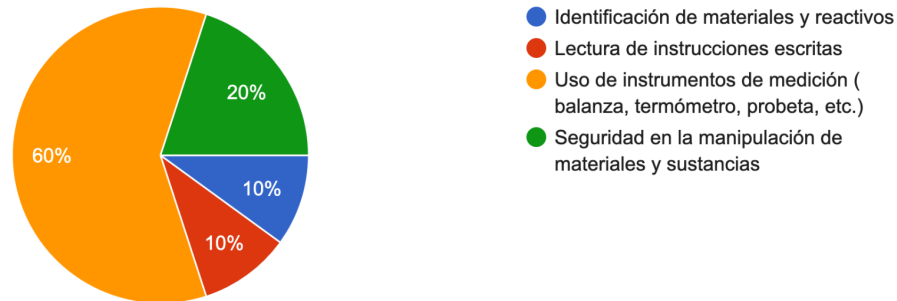


*Nota:* Elaboración propia a partir de las respuestas al cuestionario.

La figura muestra que el 50% de los docentes considera como principal apoyo las pantallas de alto contraste o letra grande, seguido por un 30% que resalta dispositivos móviles accesibles (aplicaciones y lectores de pantalla) y un 20% que indica la retroalimentación sonora. Estos resultados evidencian la importancia de tecnologías visual y auditivamente accesibles para favorecer la autonomía y seguridad del estudiante, alineándose con lo señalado por OCDE (2025) sobre la relevancia de herramientas inclusivas en educación científica.

**Figura 3** Principales dificultades observadas en estudiantes con baja visión durante las prácticas de laboratorio.

10 respuestas



*Nota:* Elaboración propia a partir de las respuestas al cuestionario.

El 60% de los docentes señaló a su vez que el uso de instrumentos de medición (balanzas, termómetros, probetas) es la principal barrera, mientras que un 20% destacó problemas de seguridad, un 10% dificultades para identificar materiales y otro 10% problemas con la lectura de instrucciones. Estos hallazgos indican las áreas clave para enfocar estrategias de apoyo y adaptación tecnológica en laboratorios inclusivos.

### ***Hallazgos sobre el sujeto de estudio antes de la utilización de la estación científica***

El estudiante, con más de dos años de experiencia en laboratorio y una frecuencia aproximada de dos veces al mes, reportó sentirse cómodo en este entorno, aunque identificó dificultades en:

- Mediciones de peso, volumen y temperatura.
- Uso limitado de apoyos como lupa, zoom en computadora y acompañamiento docente.

Entre sus expectativas de mejora destacó la necesidad de guías en letra más grande, sensores con alertas sonoras, iluminación adecuada y contraste para favorecer una participación más autónoma y segura. El estudiante expresó:

“Quiero creer que soy bueno en la teoría de los laboratorios, me gustaría también ser más activo en la práctica de los mismos, en lo físico. También, fluir de manera más eficiente a pesar de mis dificultades por la baja visión.”

El diagnóstico inicial confirmó que la falta de herramientas adaptadas limitaba su autonomía y aumentaba la dependencia del docente para verificar resultados experimentales.

### ***Hallazgos de los docentes expertos en Arduino***

Dos docentes expertos en Arduino participaron en entrevistas semiestructuradas para aportar información sobre los sensores más efectivos, dificultades técnicas, posibles mejoras y la adaptabilidad de la estación científica.

**Tabla 5** *Respuestas comparativas de los docentes expertos en Arduino*

<b>Categoría</b>	<b>Experto 1 (enfoque técnico)</b>	<b>Experto 2 (enfoque pedagógico)</b>
<b>Rol en el desarrollo</b>	Diseño técnico e integración de sensores con Arduino, garantizando datos confiables y accesibles.	Asegurar la usabilidad y comprensión de la retroalimentación para estudiantes con baja visión.
<b>Sensores más efectivos</b>	Sensor ultrasónico + buzzer para retroalimentación auditiva y sensor de peso para precisión en mediciones.	Buzzer como recurso clave de accesibilidad, reforzado por el uso del sensor ultrasónico.
<b>Dificultades técnicas</b>	Calibración de los sensores para obtener lecturas estables en laboratorio.	Traducción de datos técnicos en señales fáciles de interpretar; ajustes en tiempos e intensidad del sonido.
<b>Mejoras</b>	Implementar almacenamiento automático de datos y reforzar la carcasa protectora de los sensores.	Añadir interfaz de voz y desarrollar módulos intercambiables según la práctica.
<b>Adaptabilidad a otros contextos</b>	Viable en Física (calorimetría) y Biología (monitoreo de microorganismos y condiciones ambientales).	Viable en Biología, especialmente en prácticas con líquidos y temperaturas.

*Nota:* Elaboración propia.

Posteriormente, se implementó el prototipo de estación científica incorporando sensores de peso y volumen con retroalimentación auditiva y visual (Figuras 4 y 5).

**Figura 4** *Utilización de la estación científica, uso sensor de peso.*



Nota: Consentimiento uso de imagen firmado por responsables legales del menor de edad.

**Figura 5** *Utilización de la estación científica, uso sensor ultrasónico.*



Nota: Consentimiento uso de imagen firmado por responsables legales del menor de edad.

### ***Hallazgos del sujeto de estudio después de la utilización de la estación científica***

La implementación de la estación científica basada en Arduino, equipada con sensores de peso y volumen, permite al estudiante interactuar con las mediciones mediante retroalimentación auditiva y visual simultánea.

Para evaluar su impacto, se compararon los registros pre y post intervención (Tabla 6).

**Tabla 6.** *Comparación del desempeño del estudiante antes y después de la intervención.*

<b>Indicador</b>	<b>Antes de la estación</b>	<b>Después de la estación</b>	<b>Variación</b>
Mediciones realizadas de forma autónoma	2 de 10 (20%)	10 de 10 (100%)	+80%
Tiempo promedio por práctica	50 minutos con apoyo docente	25 minutos sin asistencia	50%
Precisión en registro de datos	Alta dependencia visual y verbal del docente	Validación auditiva mediante sensor de peso y buzzer	Mejora significativa
Nivel de confianza reportado (escala 1–5)	2/5	4/5	+2 puntos

**Nota:** Datos obtenidos a partir de observaciones en dos sesiones experimentales.

Durante la práctica experimental de pesaje y medición de líquidos, por ejemplo, el estudiante completó el procedimiento en 25 minutos sin asistencia, mientras que previamente requería 50 minutos con apoyo constante del docente.

**[Nota de observación, minuto 15]:** “No necesito ayuda del profesor para saber el peso.”

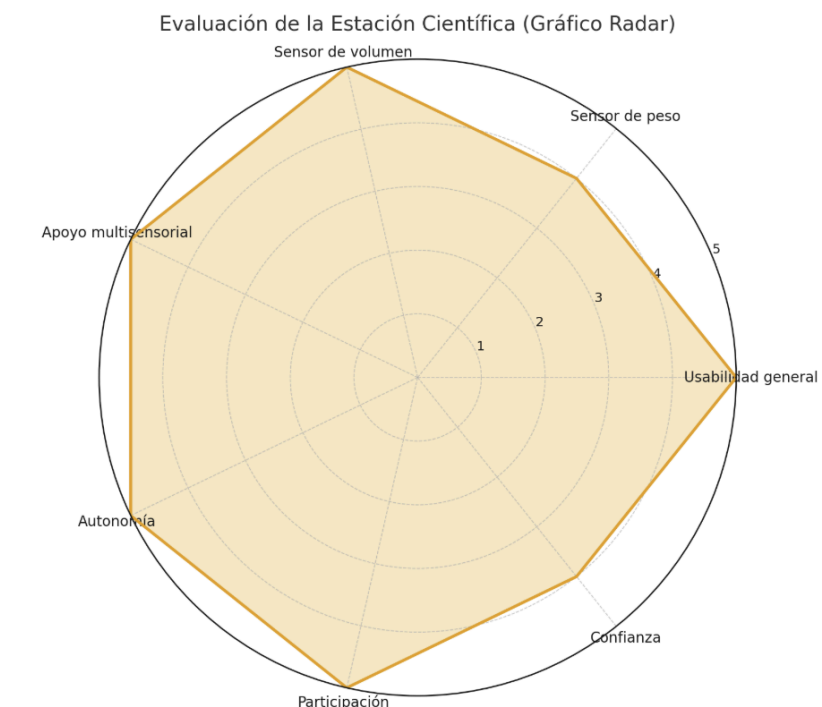
**[Registro de implementación]:** “Se evidenció que el estudiante confiaba plenamente en la señal auditiva como fuente principal de información, prescindiendo de la confirmación del docente.”

**[Entrevista final]:** “Antes dependía de que alguien me leyera los datos y resultados; ahora yo puedo tener el control de esto.”

Estos resultados reflejan un incremento en la autonomía, confianza y eficiencia del estudiante al realizar prácticas experimentales.

Para visualizar de manera integral el desempeño de la estación científica, la figura 6 presenta las dimensiones evaluadas por el estudiante: usabilidad, sensor de volumen, apoyo multisensorial, autonomía, participación, sensor de peso y confianza.

**Figura 6** Evaluación de la estación científica (Gráfico Radar)



Nota: Elaboración propia.

La mayoría de las dimensiones obtuvieron la calificación máxima (5/5), evidenciando un impacto positivo en la experiencia de aprendizaje. Sin embargo, el sensor de peso alcanzó 4/5, lo que indica áreas de mejora en la calibración y precisión auditiva del buzzer.

**[Nota de observación, minuto 23]:** *“El estudiante sostuvo los instrumentos y completó las mediciones sin esperar confirmación del docente.”*

**[Entrevista final]:** *“Sentí que el laboratorio era apto para mí, que podía hacerlo todo”*

El estudiante sugirió aumentar la sensibilidad y el volumen del sonido para distinguir con mayor claridad los intervalos de peso, recomendación que resalta la necesidad de ajustes iterativos en el diseño. Esto concuerda con lo señalado por Rodrigues da Silva et al. (2023), quienes destacan que los procesos de diseño iterativo permiten optimizar los prototipos a partir de la retroalimentación de los usuarios.

El alto puntaje en dimensiones como usabilidad y participación refuerza la eficacia del enfoque multisensorial, alineado con lo planteado por Ghai et al. (2022) sobre el impacto de las tecnologías adaptativas en la accesibilidad de laboratorios científicos.

### ***Síntesis interpretativa***

Los resultados evidencian que la estación científica adaptativa incrementó la autonomía operativa del estudiante en un 80 %, redujo el tiempo de ejecución en un 50 % y mejoró la confianza y precisión en la recolección de datos. Estas mejoras demuestran la efectividad del diseño multisensorial basado en Arduino, que promueve un aprendizaje autónomo, seguro y accesible para estudiantes con baja visión.

### ***Análisis y discusión***

Los resultados reflejan una necesidad urgente de incrementar la accesibilidad en los laboratorios de Ciencias en Costa Rica, tanto desde la perspectiva de los docentes como del estudiante con baja visión. Las principales barreras identificadas —instrumentos de medición, lectura de guías y accesibilidad limitada del equipo— coinciden con lo planteado por la Universidad de Costa Rica (2023) y Villacrez (2017), quienes destacan que la experimentación científica tradicional exige habilidades perceptuales que pueden excluir al estudiantado con discapacidad visual.

La implementación de la estación científica adaptativa generó un cambio sustancial: los sensores de peso y ultrasónico, junto con la retroalimentación auditiva y visual, mejoraron la seguridad, autonomía y comprensión de los procedimientos. Este hallazgo respalda lo

expuesto por Ghai et al. (2022) sobre el potencial transformador de las tecnologías multisensoriales en entornos prácticos, y operacionaliza el principio de “múltiples medios de representación” del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) (CAST, 2023; MEP, 2023).

Asimismo, los resultados amplían lo planteado por Navarro (2023), al evidenciar que la combinación de estímulos auditivos y visuales amplificadas puede ser tan efectiva como las adaptaciones táctiles. El menor puntaje obtenido por el sensor de peso (4/5) resalta la importancia de la calibración y la sensibilidad sonora, subrayando el carácter iterativo del diseño adaptativo (Rodrigues da Silva et al., 2023).

Las limitaciones técnicas —calibración, dependencia eléctrica y costo de componentes— no comprometen la validez del modelo, pero sugieren oportunidades para futuros desarrollos más portátiles y sostenibles, como propone la OCDE (2025).

En síntesis, la estación científica adaptativa se consolidó como una herramienta que favorece la inclusión, la participación y la comprensión conceptual, confirmando los objetivos de diseño, implementación y evaluación de un entorno experimental accesible.

## **Conclusiones**

Los hallazgos de esta investigación confirman que la accesibilidad en los laboratorios de Ciencias sigue siendo un desafío pendiente en el sistema educativo costarricense. Las principales dificultades detectadas —precisión instrumental, lectura de guías y escasez de apoyos tecnológicos— justifican la necesidad de desarrollar recursos adaptativos basados en tecnologías inclusivas.

En cuanto al objetivo general, se comprobó que la estación científica adaptativa promueve la participación y autonomía del estudiante con baja visión, ofreciendo una alternativa segura y funcional para la ejecución de prácticas experimentales.

Respecto a los objetivos específicos, se lograron avances concretos:

- Identificación de necesidades: validó las barreras más críticas y orientó el diseño.
- Diseño del prototipo adaptativo: confirmó la eficacia de Arduino como herramienta inclusiva y de bajo costo (Ghai et al., 2022; Valenzuela-Ramírez, 2023).

- Implementación de la guía accesible: fortaleció la comprensión de los procedimientos mediante tipografía ampliada y lenguaje claro.
- Evaluación del impacto: mostró un aumento en la independencia y confianza del estudiante, consolidando la pertinencia del modelo.

El estudio aporta al campo de la educación inclusiva costarricense al:

1. Documentar por primera vez una estación científica adaptativa con Arduino en laboratorios de secundaria.
2. Demostrar la viabilidad del uso de tecnologías multisensoriales de bajo costo.
3. Proponer un protocolo replicable de diseño iterativo, sustentado en la Investigación Basada en Diseño (IBD) y el estudio de caso.

En el plano teórico, amplía la comprensión del aprendizaje multisensorial y su relación con el DUA; en el metodológico, evidencia la utilidad de la IBD como enfoque flexible; y en el práctico, ofrece un modelo accesible, escalable y adaptable a distintas disciplinas científicas.

Finalmente, la experiencia confirma que la verdadera inclusión no consiste solo en adaptar materiales, sino en reconfigurar el entorno de aprendizaje desde la diversidad sensorial y tecnológica. La estación científica adaptativa representa un paso concreto hacia la democratización del conocimiento científico y hacia una educación más equitativa, innovadora y universal.

## Referencias

- Admin. (2024). *Enseñanza multisensorial*. Fundación Querer.  
<https://www.fundacionquerer.org/ensenanza-multisensorial/>
- Alfaro Vargas, A. (2023). *Manual de seguridad para laboratorios de la Universidad de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/>
- Arroyo-Rodríguez, A., Amezcua, M., & Orkaizagirre-Gómara, A. (2023). Diez claves para la elaboración de un estudio de caso cualitativo. *Index de Enfermería*, 32(2), 153–157.  
<https://dx.doi.org/10.58807/indexenferm20235871>
- Asamblea Legislativa. (2016). *Ley para la promoción de la autonomía personal de las personas con discapacidad (Ley 9379)*.  
[https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82244&nValor3=105179&strTipM=TC](https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82244&nValor3=105179&strTipM=TC)
- Consejo Nacional de Personas con Discapacidad (CONAPDIS). (2023). *Informe sobre la situación de las personas con discapacidad en Costa Rica*. <https://conapdis.go.cr/>
- Fernández, Y. (2022). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. *Xataka*.  
<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Ghai, G., Raj, R., & Kaur, R. (2022). An inclusive science laboratory for visually impaired students. *Journal of Engineering Education Transformations*, 36(2), 87–100.  
<https://doi.org/10.16920/jeet/2022/v36i2/22157>
- González-Juárez, M. del C. (2022). La entrevista cualitativa como técnica de investigación en el estudio de las organizaciones. *New Trends in Qualitative Research*, 14, e571.  
<https://doi.org/10.36367/ntqr.14.2022.e571>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana.  
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez,%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). *País tiene 18,2% personas en situación de discapacidad.*

<https://inec.cr/noticias/pais-tiene-182-personas-situacion-discapacidad>

Martinenco, R. M., García-Romano, L., & Martín, R. B. (Comps.). (2025). *Investigación basada en diseños: Experiencias y proyecciones en el campo de la educación.* UniRío Editora.

Ministerio de Educación Pública de Costa Rica. (2023). *Diseño universal de aprendizaje. Folleto diseño universal del aprendizaje.*

<https://drea.mep.go.cr/sites/default/files/publicaciones-anexos-2023/09.%20Folleto%20Dise%C3%B1o%20Univesal%20del%20Aprendizaje.pdf>

Ministerio de Educación Pública de Costa Rica. (2022). *Lineamientos para la educación inclusiva de estudiantes con discapacidad visual.* MEP.

National Center for Biotechnology Information. (2022). *Cite this page.* NCBI Bookshelf.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK45610/>

National Eye Institute. (2022). *Cómo funcionan los ojos.*

<https://www.nei.nih.gov/espanol/aprenda-sobre-la-salud-ocular/vision-saludable/como-funcionan-los-ojos>

Navarro, A. (2023, agosto 10). *Adaptan instrumentos de laboratorio para trabajo de estudiantes ciegos o con baja visión.* Universidad Técnica Federico Santa María.

<https://usm.cl/noticias/adaptan-instrumentos-de-laboratorio-para-trabajo-de-estudiantes-ciegos-o-con-baja-vision/>

Organización Mundial de la Salud. (2023). *Ceguera y discapacidad visual.*

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD). (2025). *Marco para las ciencias correspondiente a PISA 2025.*

[https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/arg\\_spa/](https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/arg_spa/)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD). (2025). *Marco científico de PISA, ciclo 2025.*

[https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/crj\\_spa/](https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/crj_spa/)

- Piña Rodríguez, L. M. (2024). Análisis de datos en las investigaciones cualitativas: El reto frente al investigador. *Revista Aula Virtual*, 5(13), 168-177.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2542-30882024000100168](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882024000100168)
- Rodrigues da Silva, N., Costa, R., Orlandi Honório Locks, M., & Fabiane Sebold, L. (2023). Design thinking: Un enfoque para la investigación y la innovación en enfermería. *Cogitare Enfermagem*, 28, e93168. <https://doi.org/10.1590/ce.v28i0.93168>
- Ruiz Arroyo, K. (2024). *Experiencias del estudiantado en condición de discapacidad visual*. Universidad Nacional de Costa Rica.  
<https://repositorio.una.ac.cr/bitstreams/fe1ac060-f1bf-470c-ba88-4f10a1743f9e/download>
- UNESCO. (2023). *La inclusión en la educación*.  
<https://www.unesco.org/es/education/inclusion>
- Urías Arbolaez, G. de la C., & Pino Torrens, R. E. (2024). La educación inclusiva ante los desafíos contemporáneos. *EDUMECENTRO*, 16.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-28742024000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742024000100006)
- Valenzuela-Ramírez, S. G. (2023). Práctica sensor ultrasónico y buzzer con Arduino. *Ingenio y Conciencia*, 10.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/plugins/generic/pdfJsViewer/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frepository.uaeh.edu.mx%2Frevistas%2Findex.php%2Fsahagun%2Farticle%2Fdownload%2F11728%2F10839%2F>
- Valderrama Maguiña, I., & Pease Dreibelbis, M. E. (2024). Educación e investigación cualitativa: Aproximaciones a la práctica educativa como objeto de investigación. *Desde el Sur*, 16(1), e0016.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2415-09592024000100016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2415-09592024000100016&script=sci_arttext)
- Villacrez, M. V. V. (2017). La experimentación como estrategia pedagógica para fortalecer las habilidades de pensamiento creativo en ciencias naturales y educación ambiental. *Revista Dialnet*, 76. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8736248>

World Health Organization. (2023). *Blindness and vision impairment*.  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-vision-impairment>

World Health Organization. (2019). *World report on vision*.  
<https://www.redalyc.org/journal/440/44070055040/44070055040>

Yektyastuti, R., Amril, L. O., Nurlaela, R. S., & Prasetyo, Y. D. (2024). Exploring science learning strategies for visually impaired and blind students in higher education inclusive class. In E. Yuliyanto et al. (Eds.), *Proceedings of the 2nd Lawang Sewu International Symposium on Humanities and Social Sciences 2023 (LEWIS HUSO 2023)* (pp. 224–236). Atlantis Press. [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-267-5\\_18](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-267-5_18)