

Adaptación de un laboratorio remoto de SDR para analizar desigualdades digitales en educación de comunicaciones inalámbricas en Latinoamérica

Adapting a Remote SDR Lab to Analyze Digital Inequalities in Wireless Communications Education in Latin America

Adaptação de um laboratório SDR remoto para analisar desigualdades digitais na educação em comunicações sem fio na América Latina

Marcos Inoñán

University of Washington,
Seattle, EE.UU.

minonan@uw.edu

 <https://orcid.org/0000-0003-2688-5727>

Pablo Orduña

LabsLand

San Francisco, EE.UU.

pablo@labsland.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4024-3624>

Rania Hussein

University of Washington,
Seattle, EE.UU.

rhussein@uw.edu

 <https://orcid.org/0000-0002-2859-9401>

Recibido – Received – Recebido: 10/09/2023 Corregido – Revised – Revisado: 06/11/2023 Aceptado – Accepted – Aprovado: 09/11/2023

DOI: <https://doi.org/10.22458/iev.v25iespecial.4920>

URL: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/4920>

Resumen: La introducción de herramientas tecnológicas en la educación ha generado entornos que simplifican la transmisión de conocimiento hacia el estudiantado. Sin embargo, no todas las personas tienen igualdad de acceso a estas herramientas y diversos estudios han investigado sobre los factores de esta brecha digital. Específicamente en el ámbito de la educación de ingeniería, los laboratorios remotos están ganando terreno, al ofrecer la oportunidad de experimentar con equipos especializados de manera remota desde cualquier sitio por medio del Internet. A medida que estos laboratorios se integran cada vez más en los planes de estudio universitarios, también pueden generar desigualdades digitales entre el estudiantado debido a su avanzado requerimiento de conocimiento en hardware y software. Por lo tanto, el propósito fundamental de este ensayo es adaptar el Laboratorio de Ingeniería Remota para Acceso Inclusivo (RELIA, por sus siglas en inglés) que opera dispositivos de la tecnología de radio definida por software (SDR, por sus siglas en inglés), al contexto latinoamericano, con el fin de abordar y estudiar en el futuro las desigualdades digitales que los laboratorios remotos generan en la educación de radiofrecuencia en América Latina. Para lograr esto, se ha empleado una metodología que identifica las necesidades de la audiencia latinoamericana, a través de una revisión bibliográfica que explora la literatura existente sobre las desigualdades digitales en los Estados Unidos y América Latina. Además, como objetivo futuro, se planea comparar estos hallazgos con investigaciones similares y encuestas realizadas en los Estados Unidos.

Palabras claves: Desigualdad digital, acceso igualitario, laboratorio remoto, radio definida por software (SDR); comunicaciones inalámbricas, RHL-RELIA.

Abstract: The introduction of technological tools in education has generated environments that simplify the transmission of knowledge to students. However, not everyone has equal access to these tools and several studies have investigated the factors of this digital divide. Specifically, in engineering education, remote laboratories are gaining ground by offering the opportunity to experiment with specialized equipment remotely from anywhere via the Internet. As these labs become increasingly integrated into university curricula, they can also generate digital inequalities among the student body, due to their advanced hardware and software knowledge requirements. The main purpose of this paper is to adapt the Remote Engineering Laboratory for Inclusive Access (RELIA), which operates Software Defined Radio (SDR) technology devices, to the Latin American context, to address and study in the future the digital inequalities that remote laboratories generate in radio frequency education in Latin America. To achieve this, a methodology has been employed that identifies the needs of the Latin American audience through a literature review that explores the existing literature on digital inequalities in the United States and Latin America. In addition, as a future objective, it is planned to compare these findings with similar research and surveys conducted in the United States.

Keywords: Digital inequality, equal access, remote laboratories, Software Defined Radio (SDR), wireless communications, RHL-RELIA.

Resumo: A introdução de ferramentas tecnológicas na educação gerou ambientes que simplificam a transmissão do conhecimento aos discentes. Porém, nem todos têm acesso igual a estas ferramentas e vários estudos pesquisaram os fatores desta exclusão digital. Especificamente, no campo do ensino de engenharia, os laboratórios remotos estão ganhando espaço ao oferecer a oportunidade de experimentar equipamentos especializados remotamente de qualquer lugar na Internet. À medida que estes laboratórios se tornam cada vez mais integrados nos currículos universitários, também podem gerar desigualdades digitais entre os estudantes, devido às exigências avançadas de conhecimentos de hardware e software. O propósito fundamental deste ensaio é adaptar o Laboratório de Engenharia Remota para Acesso Inclusivo (RELIA, siglas em inglês), o qual opera dispositivos de tecnologia de Rádio Definido por Software (SDR, siglas em inglês), ao contexto latino-americano, com o fim de abordar e estudar no futuro as desigualdades digitais que os laboratórios remotos geram no ensino de radiofrequência na América Latina. Para isso, uma metodologia que identifica as necessidades do público latino-americano foi utilizada, por meio de uma revisão bibliográfica que explora a literatura existente sobre desigualdades digitais nos Estados Unidos e na América Latina. Além disso, como objetivo futuro, iremos comparar estes achados com pesquisas semelhantes e com enquetes realizadas nos Estados Unidos.

Palavras-chave: Desigualdade digital, igualdade de acesso, laboratórios remotos, Rádio Definido por Software (SDR), comunicações sem fio, RHL-RELIA.

INTROUCCIÓN

En los últimos años, el rápido avance de las herramientas tecnológicas en el ámbito educativo, que abarca desde el acceso a Internet hasta las tecnologías de la información y comunicación (TIC), ha planteado un gran desafío, especialmente para el estudiantado que enfrenta dificultades económicas y barreras sociales. Estas desigualdades digitales representan elementos que pueden dificultar de manera significativa la obtención de una educación de alta calidad para el estudiantado por igual (May, 2020). En América Latina, el contexto socioeconómico desempeña un papel crucial en el acceso del estudiantado de la región a la tecnología. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), alrededor del 18% de latinoamericanos de 15 años que provienen de contextos socioeconómicamente desfavorecidos carecen de conexión a Internet en sus hogares y escuelas, en contraste con menos del 2% en promedio en los países miembros de la OCDE (OCDE, 2020).

En el plano específico de los laboratorios remotos (LR), estos han ganado popularidad en las universidades e institutos tecnológicos, principalmente desde las restricciones por la crisis de la COVID-19. Esta coyuntura impulsó a diversos grupos académicos a proponer nuevas alternativas enfocadas en rediseñar las actividades experimentales y que puedan solventar las carencias propias de la enseñanza experimental tradicional (Capuya et al., 2023). Un LR educativo es una herramienta de software y hardware que permite al estudiantado acceder de forma remota a equipos reales ubicados en la universidad (Orduña et al., 2016). El acceso a estos equipos se realiza a través de un servidor que muestra los datos en tiempo real mediante una interfaz web. Una de las ventajas que los LR ofrecen es brindar al estudiantado

una oportunidad conveniente para acceder a equipos las 24 horas del día, los siete días de la semana, sin restricciones de proximidad geográfica (Orduña, 2013; Hussein y Wilson, 2021; Hussein, 2023).

Además de su flexibilidad, los LR también se presentan como una plataforma viable para promover la diversidad, la equidad y la inclusión en la educación en ingeniería (Paul et al., 2023). Asimismo, se ha observado que fomentan la colaboración entre el grupo y mejoran la accesibilidad para estudiantes con discapacidades (Grout, 2015). No obstante, es importante destacar que, a pesar de sus ventajas, los LR también pueden exacerbar las brechas digitales debido a los desafíos tecnológicos que algunas personas estudiantes enfrentan, como lo evidenció un estudio previo llevado a cabo en los Estados Unidos (Inonan, 2023a).

Por lo tanto, abordar la problemática de las desigualdades digitales en los LR requiere enfoques específicos adaptados a cada región. En este contexto, el propósito fundamental de este ensayo radica en la adaptación del LR RHL-RELIA, desarrollado por el Laboratorio Remoto Central (RHL por sus siglas en inglés) (Hussein et al, 2023b) y LabsLand (Orduña et al, 2016), al contexto latinoamericano. Esta contribución permitirá en el futuro evaluar las desigualdades digitales que surgen en dicha región a través de un LR orientado a comunicaciones inalámbricas de radiofrecuencia, como parte de los programas de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

La estructura de este ensayo se organiza de la siguiente manera: en la sección de Antecedentes, se lleva a cabo una exploración de las investigaciones previas que abordan la desigualdad digital en los Estados Unidos, acompañándolos con los resultados de una encuesta realizada a estudiantes universitarios estadounidenses sobre su percepción después de utilizar un LR y el desarrollo de RHL-RELIA; luego, se desarrolla una revisión de la desigualdad digital en el ámbito latinoamericano. La sección de Desarrollo del tema se enfoca en comparar los resultados de la revisión de la literatura con los de la encuesta y presenta el proceso de adaptación de RHL-RELIA al contexto latinoamericano, con versiones en español y portugués, y se presenta la interfaz web de RHL-RELIA. Finalmente, en la sección de Síntesis y reflexiones finales, se presentan las conclusiones de este ensayo y se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones, teniendo en cuenta el contexto latinoamericano.

DESARROLLO DEL TEMA

En esta sección, se abordan cinco puntos fundamentales que contribuyen a comprender, analizar y proponer soluciones para el tema de las disparidades digitales en LR en Latinoamérica. En primer lugar, se lleva a cabo una revisión de estudios publicados con las desigualdades digitales. En segundo lugar, se examina cómo esta realidad se manifiesta en los Estados Unidos. En tercer lugar, se presentan datos relevantes de una encuesta previa acerca de la percepción y experiencia del estudiantado después de completar un curso que incluyó el uso de un LR en circuitos digitales de Ingeniería Electrónica. En cuarto lugar, se muestra una breve descripción del desarrollo del LR RHL-RELIA. Finalmente, se detalla una revisión de estudios sobre las brechas digitales en América Latina.

A lo largo del tiempo, se ha investigado en profundidad la desigualdad digital en educación que enfrenta el estudiantado debido al creciente uso de herramientas tecnológicas. La falta de acceso igualitario y de educación equitativa son las principales consecuencias de esta situación, lo que motiva el estudio de sus determinantes y efectos sociales (Castaño-Muñoz, 2010). Esta disparidad digital está en gran medida influenciada por el país o la región en la que se reside. Además, la variación en los niveles de acceso a la tecnología, la conectividad a Internet, las políticas gubernamentales, la infraestructura tecnológica y la inversión en educación digital es notable entre diferentes países (Sunkel y Trucco, 2012).

Personas investigadoras han categorizado las desigualdades digitales en tres niveles (Hargittai, 2001; Van Deursen y Helsper, 2015). El primer nivel se refiere al acceso desigual a Internet, donde se considera

a quienes tienen acceso a la red, segmentando principalmente por características de la población (Van Dijk, 2006). En este grupo se incluyen personas que no pueden costear el servicio, poseen conexiones lentas o inestables, comparten dispositivos o utilizan principalmente teléfonos inteligentes o tabletas para la conexión (Katz, 2017).

El segundo nivel es más complejo de definir, pero, en esencia, mide la habilidad y el uso de la tecnología de Internet por parte de las personas. Dentro de esta categoría, se encuentran aquellos capaces de crear contenido, denominados actores activos, y los que son principalmente consumidores, es decir, pasivos (Blank y Lutz, 2017). Por ejemplo, en este nivel se encuentran aquellos que tienen dificultades para ajustar configuraciones y usar plataformas de Internet al máximo de su capacidad. Otras personas enfrentan problemas en la comunicación a través de estas herramientas o al buscar ayuda. También se identifica a personas estudiantes no preparadas para generar contenido en entornos digitales (Hargittai y Micheli, 2019).

En cuanto al tercer nivel, podría considerarse una extensión del primero y el segundo (Lutz, 2019). Se refiere a aquellos capaces de generar riqueza a través del uso de Internet, es decir, convertir su acceso en ganancias monetarias (Van Deursen y Helsper, 2015). En el ámbito educativo, es complicado hallar evidencia directa de la brecha digital de este nivel, ya que medir los ingresos del estudiantado no es sencillo (Katz et al., 2021). No obstante, es importante mencionar que investigaciones han demostrado cómo el acceso y las habilidades digitales pueden ampliar las oportunidades laborales como resultado de una participación exitosa en recursos en línea (Helsper y Van Deursen, 2017). La tabla 1 resume los tres niveles de desigualdades digitales identificados por personas investigadoras y describe sus características relevantes.

La clasificación de las desigualdades digitales en tres niveles proporciona una base sólida para entender la complejidad de este fenómeno. A continuación, se analiza esta problemática en función de las regiones, empezando por los Estados Unidos.

En el contexto estadounidense, se evidencia la brecha digital incluso en estados que albergan a muchas de las principales empresas tecnológicas. Según un estudio llevado a cabo por la California Emerging Technology Fund (CETF) y documentado en su informe de 2020, aproximadamente, el 9.6% de personas residentes californianas aún permanecen desconectadas o carecen de acceso a una computadora en sus hogares (California Emerging Technology Fund, 2021). Sin embargo, es importante destacar que se observa un patente impulso hacia la mejora, ya que este mismo estudio reportó en 2019 un porcentaje de personas californianas desconectadas del 13%.

Tabla 1

Resumen de las desigualdades digitales

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Factores de desigualdad digital	<ul style="list-style-type: none"> - No pueden costear el servicio de Internet. - Poseen conexiones lentas o inestables. - Comparten dispositivos. - Utilizan principalmente teléfonos inteligentes o tabletas para la conexión 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen dificultades para ajustar configuraciones y usar plataformas de Internet al máximo de su capacidad. - Enfrentan problemas en la comunicación a través de herramientas de Internet o al buscar ayuda. - No están preparados para generar contenido en entornos digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden limitar oportunidades laborales.

Nota. Elaboración propia basada en la revisión bibliográfica de los tres niveles de desigualdades digitales identificados en la literatura.

Las áreas rurales californianas también padecen una brecha digital. Actualmente, el 89.9% goza de conexiones con velocidades de 10/1 megabits por segundo (Mbps), según un informe de la CPUC para el año 2022 (California Public Utilities Commission, 2023). Sin embargo, la tendencia presenta una mejoría, ya que, en 2018, únicamente el 71.5% de los hogares en zonas rurales contaban con acceso a una infraestructura de banda ancha que permite ofertas de servicios de 10/1 Mbps (Robinson, 2020).

En otro estado estadounidense, como Washington, se observa que el 84.5% del estudiantado de secundaria y graduados de secundaria tienen acceso a Internet de alta velocidad, según un censo realizado por el American Community Survey (ACS) entre los años 2015 y 2019 (Kwakye et al., 2021). Este mismo estudio indica que el 95% de estas personas estudiantes cuentan con una computadora u otro dispositivo electrónico para acceder a Internet. Sin embargo, cuando se analiza la distribución por grupos raciales, se evidencian marcadas diferencias. Por ejemplo, el acceso a Internet de alta velocidad en el hogar es del 85% para estudiantes asiáticos y blancos, mientras que para estudiantes hispanos y nativos americanos/nativos de Alaska, este porcentaje se reduce a alrededor del 72%.

En las zonas rurales estadounidenses, la desigualdad tiene porcentajes mayores, según Hill y Reimer (2020). En una encuesta realizada a 56 personas directoras de tecnología a nivel de distrito en el estado de Minnesota, se encontraron evidencias que las desigualdades geográficas son significativas. Por ejemplo, informaron que cerca de la mitad en algunos distritos no tenía conectividad, ya que los proveedores de servicios de Internet no llegan o las familias no pueden obtener una señal lo suficientemente fuerte como para respaldar el aprendizaje a distancia.

El costo de la instalación en zonas rurales es el principal obstáculo para abordar esta cuestión. Esto conlleva inversiones significativas, como excavaciones a lo largo de distancias considerables, a menudo, en terrenos difíciles.

Además, las comunidades rurales, en muchas ocasiones, no cuentan con una densidad poblacional que garantice altos niveles de demanda. Esto se traduce en un dilema económico para las empresas involucradas, ya que rara vez logran obtener retornos financieros para cubrir los costos de implementación (Robinson, 2020). Sin embargo, es importante destacar que, en cuanto a la conectividad a Internet, la brecha se está reduciendo con el paso de los años. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), la entidad encargada de regular y supervisar las comunicaciones en los Estados Unidos, en su Informe Decimocuarto sobre la Implementación de Banda Ancha (FCC, 2021), sostiene que la brecha entre las áreas urbanas y rurales en todo el país era del 30% a finales de 2016 y del 16% a finales de 2019.

Estas desigualdades digitales se han manifestado de manera clara en el rubro educativo durante la pandemia del COVID-19. El estudiantado universitario ha enfrentado dificultades para mantener una conectividad confiable a Internet, mantener sus dispositivos tecnológicos en funcionamiento, así como establecer relaciones y comunicación efectiva con el profesorado y asistentes de enseñanza (Katz, 2021).

Este resumen sobre las desigualdades digitales en Estados Unidos abarca tanto factores geográficos como étnicos, y si bien se han producido mejoras, aún existen obstáculos significativos en el acceso a la tecnología digital. Ahora, es fundamental examinar el alcance específico de estas brechas digitales en el contexto de los LR, ya que estos requieren un alto nivel de infraestructura tecnológica, tanto en términos de recursos materiales como de conocimientos.

Por lo tanto, se llevó a cabo un estudio a través de una encuesta con el propósito de explorar la percepción de estudiantes estadounidenses que utilizaron un LR como parte de su curso de circuito digital en el año 2022. La muestra del estudio incluyó a 83 de las 85 personas estudiantes que participaron en la encuesta. Este enfoque de investigación empleó métodos mixtos, integrando respuestas cuantitativas y cualitativas, y aplicó un análisis temático para comprender el impacto de los LR desde la perspectiva del acceso equitativo. Para obtener detalles más específicos sobre la investigación en sí, las metodologías

empleadas y el contexto, es posible consultar el trabajo de Inonan et al. (2023a). Los hallazgos más relevantes de este estudio se detallan en la tabla 2.

Al cotejar los resultados de la encuesta con la revisión de artículos sobre desigualdades digitales en Estados Unidos, se evidencia una convergencia en cuanto a la problemática de la conexión a Internet. Sin embargo, no se ha evidenciado una situación en la que el estudiantado no pueda operar el LR.

Tabla 2

Conclusiones de la encuesta para el desarrollo de RHL-RELIA

Rubro	Conclusión
Accesibilidad	Desarrollar laboratorios que estén siempre disponibles, sin importar el día, la hora o la cantidad de personas usuarias conectadas.
Calidad de Internet	Desarrollar laboratorios que no dependan de la calidad del Internet.
Asequibilidad	Crear laboratorios de fácil acceso desde cualquier dispositivo.
Facilidad de uso	Desarrollar laboratorios que no necesiten software sofisticados o muy especializados.

Nota. Elaboración propia basado en (Inonan et al., 2022a).

La tabla 3 presenta una comparación entre la categorización de los tres niveles de desigualdad digital y las respuestas de la encuesta adaptadas a ese contexto. Los límites de la encuesta no permiten identificar desigualdades digitales de tercer nivel, ya que su enfoque se centra en los beneficios que la competencia en el manejo de herramientas de Internet puede proporcionar.

Tabla 3

Comparación de desigualdades digitales (Literatura versus encuesta sobre Laboratorios Remotos) en el contexto estadounidense

Nivel de desigualdad digital	Estudios previos nivel general	Encuesta sobre laboratorios remotos
Primer nivel	Acceso limitado a Internet y dispositivos conectados.	Laboratorios que no dependan de una conexión a Internet.
Segundo nivel	Dificultades para ajustar configuraciones y usar plataformas al máximo de su capacidad.	Laboratorios que no necesiten software sofisticados o muy especializados.
Tercer nivel	Más oportunidades laborales a quienes tienen participación exitosa en recursos en línea.	X

Nota. Elaboración propia basado en los tres niveles de desigualdades digitales y los resultados de la encuesta.

Adicionalmente, los resultados derivados de este estudio de opinión proporcionaron conclusiones importantes en la concepción de RHL-RELIA, el cual está basado en el modelo MELODY. Su finalidad es promover la experimentación remota de comunicaciones inalámbricas para estudiantes de Ingeniería Electrónica y carreras afines. Además, se destaca que uno de los pilares fundamentales de RHL-RELIA es

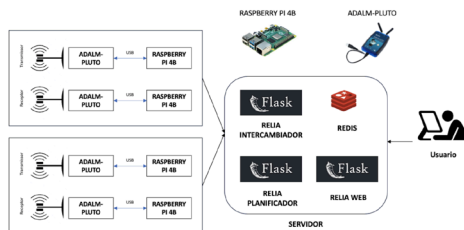
su enfoque decidido en garantizar un acceso equitativo para toda persona usuaria. Entre las cualidades técnicas fundamentales que contribuyen a asegurar esta igualdad en el acceso, se destacan:

- Código abierto. Significa que el código de desarrollo está disponible para la instalación de cualquier persona colaboradora o desarrolladora.
- Escalabilidad. Por su arquitectura y costo (el componente crítico que utiliza, ADALM-PLUTO, cuesta \$400 por unidad, un orden de magnitud inferior a equipos USRP que se utilizan en la literatura), tiene la flexibilidad de aumentar la cantidad de unidades remotas con el fin de facilitar la accesibilidad al tener más unidades.
- Acceso web. Se puede acceder desde cualquier navegador web, lo que facilita su uso, reduce el tiempo de aprendizaje y puede funcionar en cualquier sistema operativo.

La interacción entre usuario y RHL-RELIA está detallada en la figura 1. RHL-RELIA es un LR compuesto por una red de módulos independientes. Cada uno de estos módulos está compuesto por dos ADALM-PLUTO (Digiquey, s.f.) para actuar receptor y transmisor independientemente, y dos computadoras de bajo costo Raspberry-Pi 4B (RPI-4B) (Raspberry Pi, s.f.) para controlarlos. En cada RPi-4B, se instalan las librerías de código abierto que permiten el control de los ADALM-PLUTO. Esta conexión RPi-4B/ADALM-PLUTO permite versatilidad y soporte gracias a la activa comunidad de soporte que respalda ambas tecnologías. El sistema se completa con un servidor que recibe los datos de cada módulo y los envía a la computadora de la persona usuaria para ser graficado en una página web.

Figura 1

Configuración del sistema RHL-RELIA.



Nota. Diagrama propio basado en las especificaciones técnicas del sistema RHL-RELIA.

La figura 2 muestra la instalación real de RHL-RELIA con sus módulos y servidores. La figura 3 muestra la interfaz web de RHL-RELIA para una comunicación de fase/cuadratura. Como se ve en la interfaz, RHL-RELIA cuenta con ventanas llamadas widgets que permiten modificar dinámicamente los parámetros del experimento en línea. Además, la persona usuaria puede reorganizar los datos próximos de manera personalizada.

Figura 2

Sistema RHL-RELIA instalado.

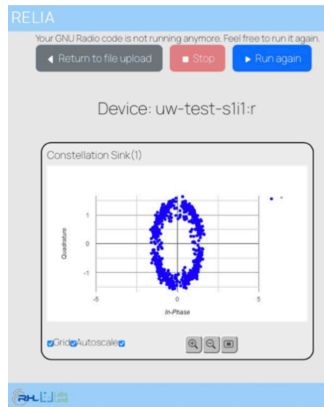


Nota. La imagen ha sido extraída del sistema RHL-RELIA, de autoría del equipo de RHL.

Por ejemplo, RHL-RELIA dispone de herramientas como zoom in, zoom out, pausa/ejecución, promedio, nivel de ruido, etc. Para obtener detalles técnicos más específicos, consultar Inonan et al. (2023b).

Figura 3

Resultado de una transmisión en cuadratura.



Nota. La imagen ha sido extraída del sistema RHL-RELIA, de autoría del equipo de RHL.

Hasta este punto, se ha seguido una secuencia que comienza con el problema de las desigualdades digitales en los Estados Unidos, pasando por encuestas para medir su impacto en un LR de diseño digital de Ingeniería Electrónica, cuyos resultados han contribuido al desarrollo del laboratorio RHL-RELIA. Ahora, surge la interrogante de si este nuevo laboratorio ayudará a mitigar en parte las condiciones de desigualdad en América Latina. Para explorar esta cuestión, se realiza una revisión del estado actual de las brechas digitales en la región.

América Latina se caracteriza por su vasto territorio y población, donde la sobrepoblación en áreas urbanas, la dispersión poblacional, el acceso desigual a la tecnología y diversas dinámicas demográficas dan forma a realidades diversas (Cerdá-Suárez et al., 2021). Además, varios estudios hacen referencia a una transformación digital que ha impactado en la educación, de tal manera que su evaluación no se limita únicamente a una perspectiva tecnológica, sino que abarca una visión sistémica que considera aspectos sociales e institucionales (Seres, 2018). Esto es de suma importancia, debido a que, a pesar de que los países de la región comparten aspectos culturales, presentan situaciones y desafíos singulares.

Un país ejemplo que se destaca por mantener uno de los niveles más bajos de desigualdad digital en la región es Uruguay. Con una predominancia urbana del 95% (Naciones Unidas, 2019), el país ha impulsado proyectos estatales desde la década de 2000 para reducir la brecha digital (Robinson, 2020). Entre estos proyectos, se encuentran los telecentros de Espacios de Inclusión Digital, en colaboración con la empresa estatal ANTEL, que provee equipos, programas y mobiliario, acceso a Internet, formación y mantenimiento de los dispositivos informáticos (Rivoira y Escuderb, 2021).

Una realidad distinta es Perú, donde existe una considerable población rural que está más expuesta a la pobreza estructural. Las poblaciones rurales enfrentan menos oportunidades económicas y acceso a servicios educativos. Además, considerando su estatus como minorías lingüísticas que hablan lenguas indígenas en lugar de español (el idioma utilizado por el estado peruano para sus servicios), hacen aún más compleja la desigualdad con estas poblaciones (Robinson, 2020).

Para entender esta dinámica en el contexto peruano, Huanca-Arohuana et al. (2020) llevaron a cabo un estudio que involucró a personas estudiantes universitarias. El objetivo central fue explorar la relación entre el lugar de origen de estudiantes y su acceso a Internet. Los resultados revelaron que aquellos

provenientes de provincias y zonas rurales enfrentan mayores obstáculos en comparación con sus contrapartes que residen en áreas urbanas.

De manera similar, en otros países, se ha observado que existe una variación en las suscripciones a telefonía móvil según la densidad poblacional. Por ejemplo, naciones con una menor proporción de población rural, como Brasil, México y Argentina, presentan un mayor número de suscripciones, mientras que países como Guatemala, Ecuador, Perú, Paraguay y Panamá muestran un menor número de suscripciones (Barrantes et al., 2020).

En este sentido, personas investigadoras argumentan que las estrategias y programas deben dirigirse especialmente a las comunidades de acceso limitado, simultáneamente abordando necesidades esenciales en ámbitos como lo social, lo económico y lo político. Una aproximación ideal implicaría la colaboración estrecha y activa con personas miembros de estas comunidades. Esto garantizaría que las soluciones digitales sean concebidas de manera inclusiva, respetando la diversidad de contextos. De este modo, no solo se atenderían las carencias materiales, sino que también se contribuiría al esfuerzo por aliviar la sensación de aislamiento social o territorial que puede surgir debido a un acceso insuficiente a recursos digitales y educativos (McMahon, 2020).

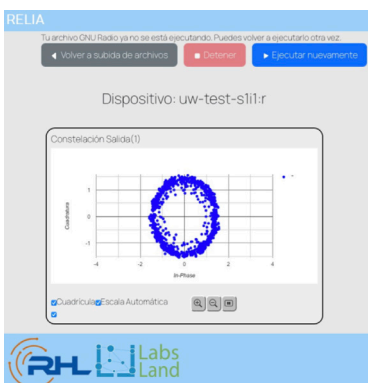
Debido a las diferentes situaciones presentes en varios países latinoamericanos, resulta un desafío el desarrollo de un LR con un diseño y enfoque estandarizado que se adapte a todas estas variaciones. Por lo tanto, para facilitar la realización de investigaciones sobre el impacto de las desigualdades digitales, se ha decidido expandir el desarrollo de RHL-RELIA al ofrecer versiones del LR en español y portugués. Esta iniciativa contribuirá a una cobertura más amplia en las regiones donde el estudiantado universitario no posee un sólido dominio técnico del idioma inglés.

Esta ampliación cobra relevancia a la luz del panorama presentado por la Escuela de Idiomas de la Universidad de las Américas en Ecuador. Dicha institución plantea que la oferta de cursos de inglés competitivos en colegios ecuatorianos es escasa, lo cual origina brechas que dificultan una etapa de aprendizaje óptima. Por consiguiente, al acceder a instituciones de educación superior, las personas estudiantes se encuentran con desafíos significativos relacionados con la competencia lingüística necesaria para lograr su graduación (Merino, 2019).

La figura 4 ilustra interfaces de RHL-RELIA en español y la figura 5 en portugués. Estas nuevas variantes no solo serán más accesibles para estudiantes, sino que también beneficiarán a personas instructoras, al facilitar una retroalimentación más amplia y precisa para evaluar y comparar sus percepciones.

Figura 4

Interfaz de RELIA en español

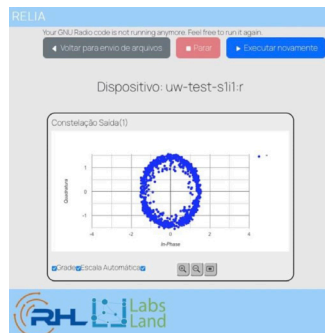


Nota. El gráfico ha sido obtenido de la interfaz del sistema RHL-RELIA en su versión en español, y es de autoría del equipo de RHL.

Al estar en un diseño web, su facilidad de uso permitirá llegar a una mayor audiencia dirigida a estudiantes de educación secundaria. Un ejemplo palpable del interés por estudiar estos conceptos en secundaria es el proyecto COSMOS (Skrimponis et al., 2020), el cual brinda al estudiantado la oportunidad de asimilar conceptos fundamentales en comunicaciones.

Figura 5

Interfaz de RELIA en portugués



Nota. El gráfico ha sido obtenido de la interfaz del sistema RHL-RELIA en su versión en portugués, y es de autoría del equipo de RHL.

En este contexto, RHL-RELIA con versiones disponibles en español y portugués exhibe un atractivo potencial al hacer que la comprensión sea más accesible para estudiantes de secundaria, quienes en su mayoría poseen un menor dominio del lenguaje técnico en inglés en comparación con el estudiantado universitario. Además, esta herramienta puede incluirse en esta lista de oportunidades, las posibilidades de contar con ofertas interculturales, dado que se puede contar con personal docente invitado y estudiantado de otros países (Umaña-Mata, 2020).

SÍNTESIS Y REFLEXIONES FINALES

La desigualdad digital, un problema social de gran complejidad, va más allá del simple acceso a la tecnología, abarcando una amplia gama de dimensiones, como se evidencia en el análisis sobre cómo esta brecha se manifiesta en Estados Unidos y Latinoamérica. A pesar de las similitudes observadas en ambas regiones, no es posible realizar generalizaciones. En el ámbito educativo latinoamericano, se ha observado un aumento reciente en la búsqueda de educación superior, especialmente entre jóvenes procedentes de entornos socioeconómicos desfavorecidos (Avitabile, 2017). Esto se debe a que la obtención de una educación superior es crucial para mejorar las oportunidades laborales en el sector formal de la economía, lo que, a su vez, abre posibilidades para aumentar los ingresos individuales (OECD, 2018).

Dentro del ámbito de los LR, la encuesta a estudiantes estadounidenses expuesta en este ensayo pone de manifiesto ciertas brechas digitales específicas, las cuales pueden ser enmarcadas dentro de los tres niveles de desigualdad digital previamente definidos en la literatura. Entre las desigualdades del primer nivel identificadas, destaca el hecho de que el estudiantado que proviene de familias de bajos ingresos busca alternativas para los recursos de LR que no dependan de una conexión a Internet. Esto adquiere relevancia al considerar que, en el 2020, la tasa de conectividad a Internet en Estados Unidos se situaba en un 90.9%, en contraste con el 73.9% en Latinoamérica durante el mismo período (Our World in Data, 2023). De esta manera, se puede inferir que una conclusión análoga podría aplicarse a América Latina.

No obstante, se anticipa que la brecha digital en la región experimentará una disminución en los años venideros, gracias a los dinámicos procesos globales vinculados al desarrollo de la sociedad de la información en expansión (Tomczyk, 2019). A pesar de ello, es crucial resaltar que el mero acceso a Internet en Latinoamérica no garantiza por sí solo la reducción de la brecha digital, siendo imperativos programas de apoyo gubernamentales, como los implementados en Uruguay. Por lo tanto, es necesario un análisis más profundo para comprender las causas de las brechas digitales en la región.

En relación con las desigualdades del segundo nivel identificadas en la encuesta, el estudiantado busca soluciones de LR que no requieran software sofisticado o altamente especializado. Este problema puede deberse tanto a la complejidad del software como a los costos de las licencias necesarias para utilizar los LR que exigen un alto nivel de competencia tecnológica.

Impulsado por este resultado, RHL-RELIA se desarrolla bajo una filosofía de código abierto, lo que permite reducir costos y fomentar la colaboración entre instituciones educativas. Además, RHL-RELIA emplea receptores y computadoras de bajo costo (alrededor de \$400 por unidad), lo que posibilita su escalabilidad de acuerdo con las necesidades de cada institución. En adición a esto, la persona usuaria puede operar RHL-RELIA a través de un navegador web, gracias al desarrollo basado en librerías de código lenguaje de marcas de hipertexto (HTML por sus siglas en inglés). Esto no solo facilita la utilización de tecnologías simples y familiares para el estudiantado, sino que también disminuye los gastos de implementación, simplificando así la colaboración entre instituciones y permitiendo que otras adopten este laboratorio.

Finalmente, como complemento a lo anterior, se amplía RHL-RELIA al ofrecer versiones en español y portugués, con el propósito de adaptarse al contexto latinoamericano. Esto permitirá a personas investigadoras en la región latinoamericana llevar a cabo estudios pedagógicos y analizar la equidad en el acceso mediante reportes académicos, material didáctico, encuestas y entrevistas con personas usuarias. De esta forma, se proporcionarán herramientas remotas que ayudan a reducir las disparidades digitales, allanando el camino hacia un acceso más inclusivo y equitativo, sentando las bases para un futuro prometedor en el ámbito educativo de la región latinoamericana.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto RHL-RELIA cuenta con el respaldo de la National Science Foundation (NSF) bajo la subvención 2141798

REFERENCIAS

- Avitabile, C. (2017). The rapid expansion of higher education in the new century. En M. Ferreyra, C. Avitabile, J. Botero, Paz, F. (Eds.), *At a crossroads. higher education in Latin America and the Caribbean* (pp. 47-75). World Bank Publications. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1014-5_ch1
- Barrantes, R., Agüero, A., y Aguilar, D. (2020). *Digitalización y desarrollo rural: ¿hasta qué punto van de la mano?* Instituto de Estudios Peruano. <https://repositorio.iep.org.pe/handle/IEP/1182>
- Blank, G., y Lutz, C. (2017). Representativeness of social media in great britain: investigating Facebook, LinkedIn, Twitter, Pinterest, Google+, and Instagram. *American Behavioral Scientist*, 61(7), 741-756. <https://doi.org/10.1177/0002764217717559>

- Capuya, F., Montero-Miranda, E., Arguedas-Matarrita, C., y Idoyaga, I. (2023). Laboratórios Remotos: Um recurso para aprender sobre gases em cursos universitários massivos na Argentina durante a pandemia da COVID. *Revista Innovaciones Educativas*, 25(38), 246-262. <http://dx.doi.org/10.22458/ie.v25i38.4121>
- Castaño-Muñoz, J. (2010). La desigualdad digital entre los alumnos universitarios de los países desarrollados y su relación con el rendimiento académico. *RUSC, Universities & Knowledge Society*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v7i1.661>
- Cerdá-Suárez, L. M., Núñez-Valdés, K., y Quirós y Alpera, S. (2021). A systemic perspective for understanding digital transformation in higher education: Overview and subregional context in Latin America as evidence. *Sustainability*, 13(23), 12956. <https://doi.org/10.3390/su132312956>
- California Public Utilities Commission. (2023). *2022 annual report california advanced service fund*. California Public Utilities Commission. <https://www.cpuc.ca.gov/-/media/cpuc-website/industries-and-topics/reports/2022-casf-annual-report.pdf>
- California Emerging Technology Fund. (2021). *Internet Adoption and the "Digital Divide" in California*. Recuperado el 25 de noviembre de 2023 de <https://www.cetfund.org/action-and-results/statewide-surveys/2021-2/>
- Digikey. (s.f.). ADALM-PLUTO. Recuperado el 27 de noviembre de 2023 de <http://www.digikey.com/en/product-highlight/a/analog-devices/adalm-pluto>
- Federal Communications Commission. (2021). *Fourteenth Broadband Deployment Report*. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-21-18A1.pdf>
- Grout, I. (2015, February). Supporting access to STEM subjects in higher education for students with disabilities using remote laboratories. En *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (pp. 7-13). IEEE.
- Hargittai, E. (2001). Second-level digital divide: Mapping differences in people's online skills. *First Monday*, 7(4). <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>
- Hargittai, E., y Micheli, M. (2019). Internet skills and why they matter. En M. Graham, W. H. Dutton y M. Castell (Eds.), *Society and the internet: How networks of information and communication are changing our lives* (pp.109-124). Oxford University Press <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843498.003.0007>
- Helsper, E. J., y Van Deursen, A. J. (2017). Do the rich get digitally richer? Quantity and quality of support for digital engagement. *Information, Communication & Society*, 20(5), 700-714. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1203454>
- Hill, J., y Reimer, T. (2022). Crossing the digital divide and the equity expanse: Reaching and teaching all students during the pandemic. *Journal of Leadership, Equity, and Research*, 8(1), 71-86. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1343266.pdf>
- Hussein, R., Maloney, R. C., Rodriguez-Gil, L., Beroz, J. A., y Orduna, P. (2023a). RHL-BEADLE: Bringing Equitable Access to Digital Logic Design in Engineering Education. En *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*. <https://peer.asee.org/44147>
- Hussein, R., Chap, B., Inonan, M., Guo, M., Monroy, F. L., Maloney, R., Ferreira, S. A., Kalisi, J. (2023b). Remote Hub Lab-RHL: Broadly Accessible Technologies for Education and Telehealth. En *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV*.
- Hussein, R., y Wilson, D. (2021, Julio). Remote versus in-hand hardware laboratory in digital circuits courses. En *2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access*.
- Inonan, M., Paul, A., May, D., y Hussein, R. (2023a). RHLab: Digital Inequalities and Equitable Access in Remote Laboratories. En *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*.

- Inonan, M., Chap, B., Orduna, P., Hussein, R., y Arabshahi, P. (2023b). RHLab Scalable Software Defined Radio (SDR) Remote Laboratory. En *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV*.
- Katz, V. S. (2017). What it means to be “under-connected” in lower-income families. *Journal of Children and Media*, 11(2), 241-244. <https://doi.org/10.1080/17482798.2017.1305602>
- Katz, V. S., Jordan, A. B., y Ognyanova, K. (2021). Digital inequality, faculty communication, and remote learning experiences during the COVID-19 pandemic: A survey of US undergraduates. *Plos one*, 16(2), e0246641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246641>
- Kwakye, I., Kibort-Crocker, E., Lundgren, M., y Pasion, S. (2021). *The Digital Divide: Examining High-Speed Internet and Computer Access for Washington Students*. Education Insights. Washington Student Achievement Council.
- Lutz, C. (2019). Digital inequalities in the age of artificial intelligence and big data. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 141-148. <https://doi.org/10.1002/hbe2.140>
- May, D. (2020). *Cross reality spaces in engineering education—online laboratories for supporting international student collaboration in merging realities*. International Association of Online Engineering. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v16i03.12849>
- McMahon, R. (2020). Co-developing digital inclusion policy and programming with Indigenous partners: Interventions from Canada. *Internet Policy Review*, 9(2), 1-26. <https://doi.org/10.14763/2020.2.1478>
- Merino, S. R. P. (2019). El Inglés, Barrera en el Acceso a la Educación Superior. *Revista Educación*, 43(2), 1-15.
- OECD (2018). Education at a glance 2018: OECD indicators. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/eag-2018-en>
- Orduña, P. (2013). *Transitive and scalable federation model for remote laboratories* [Tesis de Doctorado, Universidad de Deusto]. Repositorio institucional. https://weblab.deusto.es/pub/dissertation_pablo.pdf
- Orduña, P., Rodríguez-Gil, L., García-Zubia, J., Angulo, I., Hernández, U., y Azcuenaga, E. (2016, October). LabsLand: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories maintainability, sustainability and adoption. En *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2020). *Aprovechar al máximo la tecnología para el aprendizaje y la formación en América Latina*. <https://doi.org/10.1787/ce2b1a62-en>
- Our World in Data. (2023, 25 de agosto). Share of Individuals Using the Internet. In Internet Usage Data. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-individuals-using-the-internet>
- Paul, A., Moran, M. J. I., Hussein, R., y May, D. (2023, June). Exploring diversity, equity, and inclusion in remote laboratories. En *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Raspberry Pi. (s.f.). Raspberry Pi 4 Model B. Recuperado el 28 de noviembre de 2023 de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Robinson, L., Schulz, J., Dodel, M., Correa, T., Villanueva-Mansilla, E., Leal, S., Magallanes-Blanco, C., Rodríguez-Medina, L., Dunn, H. S., Levine, L., McMahon, R., Khilnani, A. (2020). Digital inclusion across the Americas and Caribbean. *Social Inclusion*, 8(2), 244-259. <https://doi.org/10.17645/si.v8i2.2632>
- Rivoira, A. L., y Escuderb, S. (2021). Desigualdad digital y usos de Internet en telecentros públicos: dilemas y desafíos de los Espacios de Inclusión Digital en Uruguay. *Information*, 26(1), 246-279. <https://doi.org/10.35643/Info.26.1.13>

- Seres, L., Pavlicevic, V., y Tumbas, P. (2018). Digital transformation of higher education: Competing on analytics. En *INTED2018 Proceedings* (pp. 9491-9497). IATED. <http://dx.doi.org/10.21125/inted.2018.2348>
- Skrimponis, P., Makris, N., Rajguru, S. B., Cheng, K., Ostrometzky, J., Ford, E., Kostic, Z., Zussman, G., & Korakis, T. (2020). COSMOS educational toolkit: Using experimental wireless networking to enhance middle/high school stem education. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 50(4), 58-65. <https://doi.org/10.1145/3431832.3431839>
- Sunkel, G., y Trucco, D. (Eds.). (2012). Las tecnologías digitales frente a los desafíos de una educación inclusiva en América Latina: Algunos casos de buenas prácticas. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fb02bc5b-c2c7-4a10-be4e-7a4a6c139a82/content>
- Tomczyk, Ł., Eliseo, M. A., Costas, V., Sánchez, G., Silveira, I. F., Barros, M. J., Amado-Salvatierra, H. R., & Oyelere, S. S. (2019, June). Digital Divide in Latin America and Europe: Main characteristics in selected countries. En *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1-6). IEEE.
- Umaña-Mata, A. C. (2020). Educación superior en tiempos de COVID-19: oportunidades y retos de la educación a distancia. *Revista Innovaciones Educativas*, 22, 36-49. <http://dx.doi.org/10.22458/ie.v22iespecial.3199>
- Van Deursen, A. J., y Helsper, E. J. (2015). The third-level digital divide: Who benefits most from being online?. En *Communication and information technologies annual* (pp. 29-52). Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S2050-206020150000010002>
- Van Dijk, J. A. (2006). Digital divide research, achievements and shortcomings. *Poetics*, 34(4-5), 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.poetic.2006.05.004>