

# Análisis representacional de cuatro laboratorios remotos para la enseñanza de la física

## Representational analysis of four remote laboratories for Physics teaching

Ignacio Idoyaga<sup>1</sup>, Carlos Arguedas-Matarrita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, Junín 956, Buenos Aires, Argentina. CONICET.

<sup>2</sup>Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría de Investigación, Laboratorio de Experimentación Remota, San Pedro de Montes de Oca, CP 474-2050, San José, Costa Rica.

\*E-mail: iidoyaga@ffyb.uba.ar

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

### Resumen

Este trabajo presenta un estudio de carácter descriptivo y exploratorio sobre algunos aspectos representacionales de cuatro laboratorios remotos para la enseñanza de la física. Los laboratorios remotos permiten la realización de actividades experimentales reales a través de una interfaz que presenta un complejo circuito de representaciones visuales. Estas representaciones deben considerarse parte del entorno de aprendizaje. La metodología incluyó el uso de una guía de observación especialmente diseñada. Los resultados dan cuenta de la variedad de representaciones visuales, de las actividades cognitivas y del procesamiento gráfico requeridos. Como reflexión final se plantean las potencialidades simbólicas de estos recursos educativos y la necesidad de seguir investigando.

**Palabras clave:** Laboratorio remoto; Representaciones visuales; Enseñanza de la física.

### Abstract

This work presents an exploratory and descriptive study regarding four remote laboratories for physics teaching. Remote Laboratories allow to perform real experimental activities through an interface that holds a complex arrangement of visual representations. These representations must be considered within the learning environment. The methodology involved the use of a specially designed guide for observation. Results account for the variety of visual representations, cognitive activities and graphic processing required. Symbolic potentialities and the urge to keep researching about these educational resources is the final contemplation in the study.

**Keywords:** Remote Laboratory; Visual Representations; Physics teaching.

## I. INTRODUCCIÓN

La pandemia causada por el virus de la COVID-19 y las consecuentes medidas sanitarias obligaron a instaurar una enseñanza remota de emergencia (ERE) en todos los niveles educativos (García-Peñalvo *et al*, 2020). Esta enseñanza se ha sostenido en diversas plataformas y aplicaciones digitales. En gran medida, los esfuerzos generados se concentraron en sostener la comunicación entre profesores y estudiantes de modo de garantizar la continuidad educativa.

La enseñanza de la física, en particular, y de las ciencias naturales, en general, enfrentan desafíos específicos en entornos digitales. En este sentido, la realización de actividades experimentales, como estrategia tradicionalmente privilegiada para promover el aprendizaje de determinados procedimientos (Lorenzo, 2020) y la toma de conciencia

[www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF](http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF)

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. 2 (2021)

285

*La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la XIV Conferencia Interamericana de Educación en Física*

de ciertos fenómenos naturales, deben considerarse muy especialmente. Es más, luego de la incertidumbre inicial, producto de la rápida *remotización* de la educación, es necesario revisar las planificaciones priorizando la incorporación de actividades experimentales y reconociendo sesgos hacia aproximaciones librecas (Carrascosa, Gil Pérez y Vilches, 2006).

La realización de prácticas experimentales en entornos digitales requiere considerar resultados de investigación recientes que, en tiempos de ERE, dieron lugar a modelos como el de *laboratorio extendido* (Idoyaga *et al.*, 2020) que propone el uso didáctico y sistémico de distintos dispositivos que actúan de manera sinérgica para maximizar las posibilidades de ocurrencia de aprendizajes de conceptos, procedimientos y valores relacionados al quehacer experimental. Dentro de este modelo el uso de laboratorios remotos (LR) cobra particular importancia.

Los LR son un conjunto de tecnologías *hardware* y *software* que permite a profesores y estudiantes llevar a cabo actividades experimentales reales y que posibilitan el trabajo riguroso con la complejidad e incertidumbre del dato empírico (Hernández-de-Menéndez, Vallejo Guevara y Morales-Menéndez, 2019). La manipulación del equipamiento se realiza a distancia (desde cualquier parte del mundo y en cualquier momento) mediatizada por una interfaz que presenta un complejo circuito de representaciones visuales (RV). Estas representaciones, que los estudiantes deben procesar (Pozo, 2017) y que son insumo para diversas actividades cognitivas (Duval, 2017) definen el entorno de aprendizaje (Perales, 2006) cuando se usan estos dispositivos.

Los LR pueden clasificarse en laboratorios en tiempo real (LTR) y laboratorios diferidos (LD). En los LTR, los estudiantes acceden y manipulan el equipamiento en forma sincrónica. En cambio, los LD están basados en un conjunto de experiencias grabadas llevadas a cabo en un laboratorio real. Así, la interfaz de un LD permite al estudiante tener la misma experiencia que en un LTR (Narasimhamurthy *et al.* 2020).

La situación de ERE incrementó el uso y la investigación sobre los LR en educación. Publicaciones recientes dan cuenta de que los LR son una innovación prometedora para mejorar la enseñanza de la física en todos los niveles de la educación (Aramburu *et al.*, 2020, Moussa *et al.*, 2020, Arguedas-Matarrita *et al.*, 2019). Debido a que permite accionar conocimientos prácticos en contextos reales, brinda oportunidades para aumentar la autonomía de los estudiantes, resuelve cuestiones de acceso y disponibilidad y permite repetir y la modificar las actividades experimentales para autorregular el aprendizaje.

La necesidad de repensar las prácticas educativas en ciencias naturales, en tiempos de ERE y para el futuro, obliga a considerar la investigación y desarrollo de LR. Si bien, desde hace unos años, se pueden encontrar reportes sobre cuestiones técnicas, es necesario incluir otras dimensiones de análisis, en particular, las que tengan en cuenta las RV de la interfaz como condicionantes del aprendizaje.

El carácter eminentemente representacional y gráfico de la interfaz de los LR exige la consideración de las actividades cognitivas ligadas a la *semiosis* que deben realizarse en el marco de la actividad experimental remota (Duval, 2017). Así, dependiendo del diseño del LR, los estudiantes deberán realizar actividades de tratamiento o expansión informacional para llevar adelante operaciones o mediciones con gráficos u otras RV. En la misma línea podrían tener que convertir una RV en algún otro registro semiótico como la lengua natural o el álgebra para poder realizar la actividad experimental. Más aún, el trabajo en un LR podría estar orientado a la formación de una nueva representación ya que muchas prácticas de experimentación remota se diseñan teniendo como punto final de la instrucción un gráfico (Wutchana, Emarat y Bunrangsri, 2019)

En concordancia con lo anterior, en un LR, un estudiante debe reconocer el carácter representacional y restricciones semióticas de las RV que se disponen en la interfaz. Estas representaciones pueden ser de distinto tipo (Postigo y Pozo, 2004) incluyendo diagramas, que presentan relaciones conceptuales; ilustraciones, que encierran una intención reproductiva; croquis, que presentan relaciones espaciales y; gráficos, que muestran dependencias cuantitativas entre variables. Los diferentes tipos de RV pueden contener distinta cantidad de información (García, 2005), según la cantidad de elementos informativos y orientativos que presentan (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009) y deben ser procesadas por los estudiantes a niveles crecientes de complejidad. El procesamiento a nivel de la información explícita implica el reconocimiento de elementos presentes; el procesamiento a nivel de la información implícita guarda relación con la identificación de tendencias y regularidades y el procesamiento a nivel de la información conceptual supone la internalización de la representación para resignificarla (Pozo y Flores, 2007).

Lo anterior deja claro que la naturaleza y las características de las RV incluidas en los LR, así como el nivel de alfabetización gráfica de los estudiantes (Idoyaga, Moya y Lorenzo, 2020) serán fuertes condicionantes para el proceso educativo. Es por esto que los profesores deben realizar una vigilancia representacional (Idoyaga y Lorenzo, 2019) sobre los LR como proceso sistémico de obtención de información empírica de las RV incluidas. En consecuencia, este trabajo presenta un primer estudio exploratorio y descriptivo sobre algunas de las características representacionales de la interfaz gráfica y del diseño de cuatro LR para la enseñanza de la física de alto uso en la región.

## II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para describir algunos aspectos representacionales de la interfaz gráfica y del diseño de los LR seleccionados respondió a un enfoque cualitativo e implicó el uso de una guía de observación especialmente diseñada.

### A. Muestra

La selección de los LR que conformaron la muestra respondió a un muestreo no probabilístico y deliberado. Se seleccionaron los cuatro LR para la enseñanza de la física ofertados por LabsLand, *spin-off* de DesutoTech, de mayor uso en el último semestre en la Universidad de Buenos Aires y en la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. La muestra incluyó los siguientes LR:

- Laboratorio de Boyle, diseñado en el Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.
- Plano inclinado, diseñado por el grupo Remote Experimentation Laboratory (RExLab) de la Universidad Federal de Santa Catarina en Brasil.
- Péndulo, diseñado en el Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas complejos de la Universidad de Zaragoza.
- Virtual Instrument System in Reality (VISIR), diseñado en el Blekinge Institute of Technology (BTH) en Suecia.

Los cuatro laboratorios brindan acceso mediante la plataforma de LabsLand y comparten características y una macroestructura que presenta tres secciones: introducción, configuración (que permite la definición de los parámetros de la actividad experimental) y observación (de la experiencia y/o de los datos de la misma).

### B. Recolección de datos

La metodología ensayada incluyó el diseño de una guía de observación en base a preguntas abiertas y cerradas construidas a partir de la consideración de aportes teóricos provenientes de la didáctica, la semiótica y la informática. En todos los casos la guía solicitaba la justificación de la respuesta y la inclusión de indicadores (elementos textuales o gráficos presentes en la interfaz). Además, la guía permitía el registro de emergentes por parte del observador.

Entre los aspectos observados se destacan:

- Tipo de LR (LD o LTR)
- Tipo de RV presentes en la interfaz (ilustraciones, diagramas, croquis o gráficos). Descripción completa de las RV.
- Sección de la macro estructura del LR donde se inserta.
- Cantidad de información de las RV (cantidad de elementos informativos y orientativos como: etiquetas, código de colores, expresiones algebraicas, entre otros).
  - Tipo de procesamiento requerido o deseable de las RV de la interfaz (explícito, implícito, conceptual).
  - Actividad cognitiva ligada a la *semiosis* vinculada al diseño del LR (actividad de formación de nuevas representaciones, actividad de tratamiento dentro de un mismo registro semiótico, actividades de conversión o cambio de registro semiótico).
  - Sincronía entre distintos tipos de RV y/o entre RV y otras representaciones (Aparición simultánea de diversas representaciones del mismo referente).
  - Identidad entre la experiencia realizada (experiencia real) y experiencia representada (en la interfaz del LR).

### C. Análisis de datos

El análisis de datos consistió en la revisión de las observaciones. Se recorrió a triangulación de investigador. Cada investigador del grupo revisó sus observaciones siguiendo algunos de los postulados teóricos del análisis del contenido de Bardin. Luego se pusieron en común las consideraciones y se resolvió cualquier controversia.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, el Laboratorio de Boyle, diseñado en el Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, es un LD.

En la sección introducción se muestra un video en el que expresamente se indica que el objetivo de la actividad es “verificar el cumplimiento de la Ley de Boyle” y agrega que con los datos debe construirse un gráfico que resultará una

isoterma. En este sentido, queda claro que el punto final de la actividad experimental (punto final de la instrucción) es la construcción, por parte del estudiante, de un gráfico cartesiano de presión en función de volumen, lo que implicaría la actividad cognitiva ligada a la *semiosis* de formación de representaciones. Esto último requiere que los estudiantes manejen las reglas de conformidad (aquellas que permiten la estructuración) del registro gráfico. La aproximación es recurrente e implica una concepción de las representaciones fundamentalmente como herramientas de gestión de datos.

El video también enuncia la Ley de Boyle y presenta algunas RV, todas ilustraciones (fotos y dibujos) de baja cantidad de información y expresiones algebraicas relacionadas. Comenta los materiales que se utilizan para la realización de la actividad, “una columna de aire - jeringa - que se encuentra acoplada a un sensor de presión y a una interfaz”, y muestra una foto todos de estos. El nivel de procesamiento requerido es el de la información explícita, por lo que no representaría mayores desafíos para los estudiantes.

En la sección configuración se puede elegir entre una jeringa pequeña (20mL) y una grande (60mL).

En la sección observación se puede visualizar el armado del aparato (figura 1). Se muestra al mismo tiempo la jeringa (donde se puede leer el volumen), el sensor de presión y el monitor donde se puede leer la presión en kPa. Un botón que indica “decrementar” permite reducir el volumen (de a 5mL en el caso de la jeringa grande y de a 2mL en el caso de la pequeña). Al hacer clic en el botón se ve como el embolo de la jeringa se mueve y se puede leer la nueva presión en el monitor. Luego de repetir este proceso varias veces se puede liberar la presión haciendo clic en el botón diseñado a tal efecto. Esto guarda relación con el requerimiento de construcción de un gráfico. Es decir, el LR está diseñado para poder manipularse (decrementando el volumen de modo cuantizado) y detenerse para tomar nota del par ordenado presión volumen.

En el caso de este LR el grado de identidad entre la experiencia real y lo representado en la sección observación es muy alto. De hecho, puede incluso percibirse la dificultad para disminuir el volumen a medida que aumenta la presión.



**FIGURA 1.** Se muestra la interfaz de la sección observación del Laboratorio de Boyle ofertado por LabsLand y diseñado en el Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.

En segundo lugar, el Plano Inclinado desarrollado por el grupo RExLab (Remote Experimentation Laboratory) de la Universidad Federal de Santa Catarina de Brasil es un LR que se presenta en dos versiones, como LTR o como LD.

En la sección introducción se indica que el equipo permite a los estudiantes elegir la inclinación angular de una rampa de sesenta centímetros dotada de seis sensores colocados cada 10 centímetros y determinar el tiempo en el que una bola que cae pasa por cada sensor. Además, se incluye un video sin audio donde se presenta una ilustración (fotografía) de los materiales que utiliza la experiencia y distintos diagramas tendientes a representar el modo en el que se definen los parámetros de la experiencia. En esta misma sección se incluyen materiales que presentan distintos gráficos cartesianos, con gran cantidad de elementos informativos, y/o tablas, tendientes a la construcción de otros gráficos. Esto da cuenta de la doble intención de que los estudiantes procesen a todos los niveles gráficos con el fin de construir significados y que realicen distintas actividades cognitivas ligadas a la *semiosis* como la formación de nuevas representaciones (nuevos gráficos), el tratamiento de los mismos (para calcular determinados parámetros) y la conversión (de datos tabulados al registro cartesiano).

En la sección configuración (figura 2) se presenta una rueda de ángulos y una ilustración esquemática del aparato que se deben manipular para definir la inclinación deseada. Una vez elegido el ángulo se puede proceder a soltar la bola. Por ende, la definición de los parámetros experimentales requiere el procesamiento al menos explícito de una RV y una actividad de tratamiento.

En la sección observación se puede visualizar el aparato completo adoptando la inclinación elegida y posteriormente, a medida que cae la bola, se construye de manera sincrónica una tabla que muestra distancia y tiempo para cada sensor. Esto refuerza la direccionalidad de la experiencia tendiente a obtener pares ordenados que podrían dar lugar a gráficos.

La identidad de la experiencia y de lo representado es alta. Sin embargo, este LR entrega los datos ya tabulados, sin que el proceso de obtención empírica quede del todo representado.



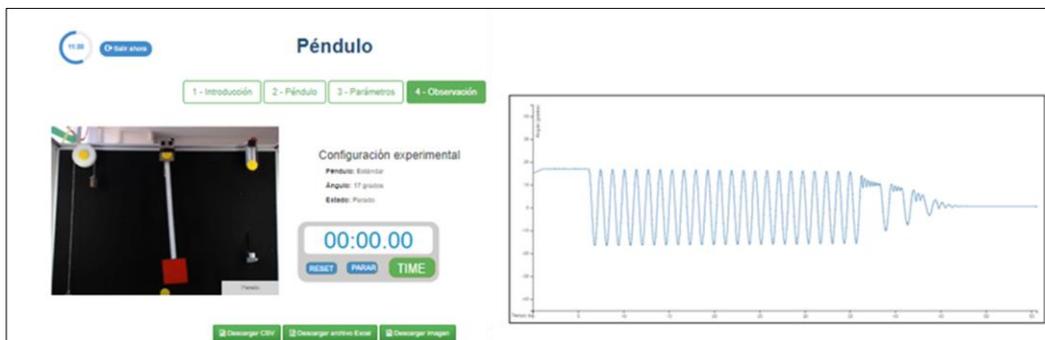
**FIGURA 2.** Se muestra la interfaz de la sección configuración del Plano Inclinado ofertado por LabsLand y diseñado por el grupo RExLab (Remote Experimentation Laboratory) de la Universidad Federal de Santa Catarina de Brasil

En tercer lugar, el Péndulo, diseñado en el Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas complejos de la Universidad de Zaragoza, es un LD en el que se trabaja con un péndulo simple de longitud constante.

En la sección introducción se presenta un video sin audio que muestra cómo configurar el trabajo en el LD y una serie de documentos con tablas vacías para el registro de datos experimentales. Además, aparece una ilustración esquemática del péndulo y una fotografía del mismo dotada de algunas etiquetas. El procesamiento requerido de estas representaciones no excede el nivel de la información explícita.

La sección configuración está dividida en dos ventanas tituladas “péndulo” y “parámetros”. Estas ventanas presentan una serie de RV (fotografía, rueda de ángulos y una representación esquemática) cuya manipulación permite configurar la experiencia en términos de ángulo inicial y masa. Al igual que en el caso anterior esto requiere el manejo del nivel de la información explícita y una actividad de tratamiento.

En la sección observación se visualiza el experimento ejecutándose, con un alto nivel de identidad, y, de forma simultánea, se muestra cómo se va construyendo punto a punto un gráfico cartesiano de ángulo en función del tiempo. Esta concordancia entre experiencia representada y la representación de los datos experimentales tiende a que los estudiantes puedan asociar una con otra. Esto requiere el procesamiento a todos los niveles de información del gráfico (figura 3). Adicionalmente, el LD brinda la posibilidad de descargar los datos experimentales en formatos CSV y Excel, sugiriendo la intención de un posterior tratamiento que podría implicar la formación de una nueva representación.



**FIGURA 3.** Se muestra la interfaz de la sección observación del Péndulo diseñado en el Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas complejos de la Universidad de Zaragoza.

En cuarto lugar, el LTR denominado VISIR y diseñado en el Blekinge Institute of Technology (BTH) está enfocado, según se indica en la sección introducción, en electrónica analógica. Su diseño permite abordar contenidos como ley de Ohm, transistores, filtros pasivos y activos. En esta misma sección hay un video sin audio que muestra la manera

de configurar el laboratorio recurriendo, principalmente, a RV. Además, se puede acceder a documentos (manuales y propuestas experimentales) donde abundan distintos tipos de RV, que operan de manera sinérgica con otros registros en un discurso híbrido, fundamentalmente ilustraciones de los materiales que se utilizan en las actividades experimentales y croquis de circuitos eléctricos (con gran cantidad de elementos informativos como referencias y etiquetas) y recursos de orientación. Esto, muestra la especificidad de dominio de este tipo de representaciones e impone la necesidad de comprender sus reglas y restricciones para procesarlas en todos los niveles en pos de realizar la experiencia. En este sentido, la actividad cognitiva de tratamiento aparece especialmente considerada, ya que se requiere realizar operaciones sobre las RV para encontrar los parámetros de la actividad experimental.

En este LR, las secciones de configuración y observación están integradas y diseñadas para emular la experiencia de trabajo en una mesa de electrónica analógica. A partir de RV se accede a una placa para el armado de circuitos y a diferentes dispositivos de medición (osciloscopio, fuente de alimentación, generador de funciones y multímetro) que aparentemente se controlan de manera remota (figura 4). El diseño permite manipular y recoger directamente los datos de la medición de las representaciones de los instrumentos. Sin embargo, todo esto no es más que un espejismo representacional. Según se desprende de una revisión minuciosa de la misma plataforma, la identidad de la experiencia real y de la experiencia representada es nula. Si bien todos los datos son reales y se obtienen en tiempo real, no surgen de los instrumentos representados. De la misma manera, el circuito no se construye de la forma que se representa. En realidad, los diferentes circuitos e instrumentos se conectan mediante una matriz de conmutación, es en esta donde se generan las conexiones físicas entre los componentes y entre los componentes y los instrumentos (figura 5).

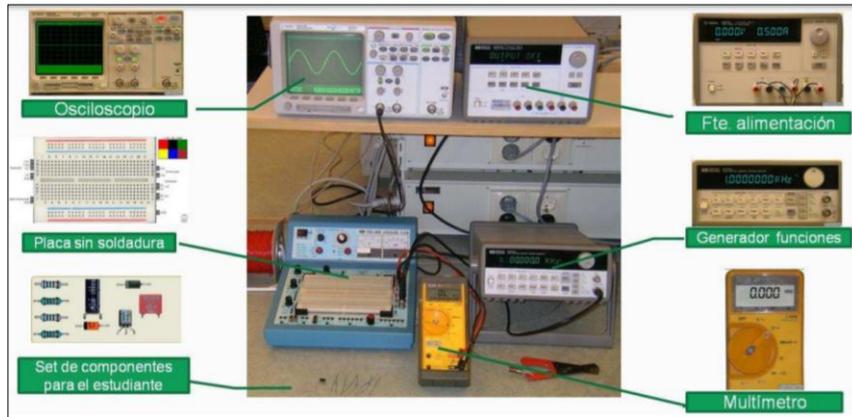


FIGURA 4. Componentes representados en el LR VISIR.

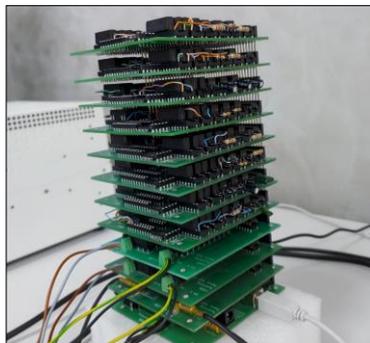


FIGURA 5. Matriz de conmutación del LR VISIR.

El VISIR es un caso paradigmático. En este LR queda de manifiesto la naturaleza simbólica de la experimentación remota. En la interfaz, intencionalmente se elige emular una experiencia diferente a la real que oficia como puente entre el dato empírico y su significación. Esto explica la dedicación puesta en el diseño de un entorno gráfico que reúne RV diversas y permite simular la experiencia de trabajo sin simular los datos que siguen siendo reales y se obtienen en el preciso momento de la actividad experimental.

#### IV. CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

Este primer estudio, más allá de su carácter exploratorio, permite comenzar a describir y documentar algunos aspectos representacionales del diseño y la interfaz de laboratorios remotos. En este sentido, representa un aporte que suma complejidad y riqueza al análisis de las prácticas de experimentación remota en educación.

En primer término, los resultados resaltan la necesidad, comentada en la introducción, de considerar a las características representacionales como posibles condicionantes de los aprendizajes y a la interfaz y el diseño de los LR como parte fundamental del entorno de aprendizaje cuando se proponen actividades experimentales remotas. En este sentido, el estudio de los LTR y LD seleccionados permite reconocer distintos elementos visuales, diferentes tipos de RV con variada cantidad de información, en los LR estudiados que requerirían determinado grado de alfabetización gráfica por parte de los estudiantes para ser procesados dentro de la actividad. El reconocimiento de los niveles de procesamiento requeridos para las RV presentes en los LR y el conocimiento sobre las posibilidades de cada grupo de estudiantes permitirá al profesorado anticipar y trabajar sobre problemas de aprendizaje. Esto es parte vital de la Vigilancia Representacional postulada en el primer apartado.

En segundo término, son múltiples y diversas las actividades cognitivas ligadas a la *semiosis* que se deben desplegar para trabajar en los LR analizados. Es notable como, en al menos tres de los cuatro casos contemplados, existe una dirección clara hacia la formación de una nueva representación a partir de los datos empíricos. Esto hace vital el trabajo previo en las reglas de conformidad del registro particular. De igual manera, el profesorado debería ser consciente de las actividades de tratamiento necesarias para poder operar los LR y las posibles actividades y de la conversión, que en la lógica de la enseñanza con representaciones son particularmente potentes.

En tercer término, es menester detenerse en dos casos particulares. Por un lado, la concordancia entre la representación de la experiencia del péndulo y la construcción del gráfico con los datos empíricos puede ser usada en el marco de la enseñanza para trabajar la correspondencia entre medición, organización e interpretación de datos. Sin embargo, debe considerarse la carga cognitiva que esto podría demandar. Por otro lado, la falta de identidad entre la experiencia real y la experiencia representada en el LR VISIR marca la potencialidad del carácter simbólico de la experimentación remota. La idea de poder emular experiencias diversas con datos reales y en tiempo real abre un abanico para el diseño de diversas prácticas educativas en física y en otras ciencias naturales.

En último término, queda clara la necesidad de seguir investigando y de realizar estudios más amplios con instrumentos validados y muestreos probabilísticos, que permitan definir perfiles representacionales para los LR que faciliten la vigilancia representacional y doten de principios de diseño que permitan desarrollos remotos adecuados para distintos contextos educativos.

#### REFERENCIAS

Aramburu Mayoz, C., Da Silva Beraldo, A., Villar-Martinez, A., Rodriguez-Gil, L., Moreira de Souza Seron, W., Oliveira, T., Orduña, P. (2020). FPGA Remote Laboratory: Experience in UPNA and UNIFESP. En: Auer M., May D. (eds) *Cross Reality and Data Science in Engineering. REV 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1231. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_9)

Arguedas-Matarrita, C., Orduña, P., Concarí, S., Elizondo, F.U., Rodríguez Gil, L., Hernández, U., Carlos, L.M., Conejo-Villalobos, M., da Silva, J. B., García Zubia, J., et al. (2019). Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps. *Proceedings of the 2019 5th Experiment@ International Conference (exp.at'19)*, Madeira, Portugal, 12 al 14 de junio de 2019.

Carrascosa, J., Gil Pérez, D. y Vilches, A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157–181.

Duval, R. (2017). *Understanding the mathematical way of thinking-The registers of semiotic representations*. Switzerland: Springer International Publishing.

García, J. J., (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 181-199.

García-Peñalvo, F. J., Corell, A., Abella-García, V. y Grande, M. (2020). La evaluación online en la educación superior en tiempos de la covid-19. *Education in the Knowledge Society*, 21(12), 1-26. <http://dx.doi.org/10.14201/eks.23086>

- Hernández-de-Menéndez, M., Vallejo Guevara, A. y Morales-Menéndez, R. (2019). Virtual reality laboratories: a review of experiences. *Int J Interact Des Manuf*, 13, 947–966 <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00558-7>
- Idoyaga, I. Vergas-Badilla, L., Moya, C. N., Montero-Miranda, E. y Garro-Mora, A. L. (2020). El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental. *Campo Universitario*. 1(2), 4-26.
- Idoyaga, I. y Lorenzo, M. G., (2019). Las representaciones gráficas en la enseñanza y el aprendizaje de la física en la universidad (Tesis inédita de doctorado). UBA, Argentina.
- Idoyaga, I., Moya, C. N. y Lorenzo, M. G. (2020). Los gráficos y la pandemia. Reflexiones para la educación científica en tiempos de incertidumbre. *Revista de Educación en Ciencias Biológicas*, 5(1), 1-18.
- Lombardi, G., Caballero, C., y Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, 33(66), 147-186.
- Lorenzo, M. (2020). Revisando los trabajos prácticos experimentales en la enseñanza universitaria. *Aula Universitaria*, (21). <https://doi.org/10.14409/au.2020.21.e0004.->
- Moussa M., Benachenhou A., Belghit S., Adda Benattia A., Boumehdi A. (2020). An Implementation of Microservices Based Architecture for Remote Laboratories. En: Auer M., May D. (eds) *Cross Reality and Data Science in Engineering. REV 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1231. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_12)
- Narasimhamurthy K. C., Orduña P., Rodríguez-Gil L., G. C. B., Susheen Srivatsa C.N., Mulamuttal K. (2020) Analog Electronic Experiments in Ultra-Concurrent Laboratory. En: Auer M., May D. (eds) *Cross Reality and Data Science in Engineering. REV 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1231. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_3)
- Perales, F., (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 13-30.
- Postigo, Y., y Pozo, J. I., (2004). La representación mental de los mapas geográficos: niveles de procesamiento. *Cognitiva*, 16(1), 13-41.
- Pozo, J. I., (2017). Aprender más allá del cuerpo: de las representaciones encarnadas a la explicitación mediada por representaciones externas. *Infancia y Aprendizaje: Journal for the Study of Education and Development*, 40(2), 219-276.
- Pozo, J. I., y Flores, F. (Coords.) (2007). *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid, España: Antonio Machado.
- Wutchana, U., Emarat, N., y Bunrangsri, K., (2019). Paper pop-ups demonstrating 3D vectors in Cartesian coordinates. *Physics Education*, 54(5). [doi:10.1088/1361-6552/ab3150](https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab3150)