

# Potenciando la Educación Científica con Tecnología: Laboratorio Remoto para el Estudio de Colisiones Reales

## Empowering Scientific Education with Technology: Remote laboratory for the Study of Real Collisions

Consuelo Escudero Ruiz<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-8770-5243>

Eduardo Jaime Dorgan<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0009-0001-7660-7488>

Daniela Zalazar García<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-4410-1191>

Guillermo Sergio Navas<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0009-0004-6552-5307>

Escudero Ruiz, C. et al. (2025). Potenciando la educación científica con tecnología: Laboratorio Remoto para el estudio de colisiones reales. *Revista Nuevas Perspectivas*. Vol. 4 N.º 7, pp 1-17.

Fecha de recepción: 14/11/2023

Fecha de aceptación: 23/10/2024

**Resumen:** se plantea el desarrollo de un prototipo de laboratorio remoto (LR) para la enseñanza de Física, centrándose en el análisis de relaciones entre magnitudes pertinentes en colisiones reales. Los estudiantes pueden estimar coeficientes de restitución y contrastar variaciones de ímpetu y energía para validar modelos teóricos. La incorporación del LR representa un avance en la enseñanza de ciencias, ofreciendo una oportunidad única para transformar la forma de enseñar y aprender conceptos científicos complejos. Su enfoque pedagógico se basa en el aprendizaje significativo a través

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan. Argentina. Contacto: [cescudero@unsj-cuim.edu.ar](mailto:cescudero@unsj-cuim.edu.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan. Argentina. Contacto: [ejaime@unsj.edu.ar](mailto:ejaime@unsj.edu.ar)

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan. Argentina. Contacto: [daniela.zalazar.garcia@gmail.com](mailto:daniela.zalazar.garcia@gmail.com)

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de San Juan. Argentina. Contacto: [snavas@unsj.edu.ar](mailto:snavas@unsj.edu.ar)

de la experiencia práctica, respaldado por estudios previos. Se describe el proceso de desarrollo del prototipo de LR, incluyendo componentes como motores, sensores piezoeléctricos, una placa Arduino y software. Se ha completado el diseño y la implementación física mecánica para colisiones entre objetos de masas comparables, con pruebas manuales en curso. Aunque no se presentan resultados numéricos, se detalla el proceso de ensamblaje del prototipo, el desarrollo del software asociado y otros aspectos técnicos relevantes. Además, se destaca el potencial del LR como una propuesta didáctica efectiva en la enseñanza de conceptos científicos complejos, respaldado por la literatura académica y organizado mediante una V de Gowin. El desarrollo, funcionamiento y análisis detallado del LR ofrecen una base sólida para evaluar su validez y su potencial como herramienta educativa en el ámbito de las ciencias.

Palabras Clave: experimentación remota, aula híbrida, energía, ímpetu, campo conceptual

**Abstract:** This paper presents the development of a prototype of a remote laboratory (LR) for teaching Physics, focusing on the analysis of relationships between relevant magnitudes in real collisions. Students can estimate coefficients of restitution and contrast variations of momentum and energy to validate theoretical models. The incorporation of the LR represents an advancement in science education, offering a unique opportunity to transform the way complex scientific concepts are taught and learned. Its pedagogical approach is based on meaningful learning through practical experience, supported by previous studies. The development process of the LR prototype is described, including components such as motors, piezoelectric sensors, an Arduino board, and software. The mechanical physical design and implementation for collisions between objects of comparable masses have been completed, with ongoing manual tests. Although numerical results are not presented, the assembly process of the prototype, the development of associated software, and other relevant technical aspects are detailed. Additionally, the potential of the LR as an effective didactic proposal in teaching complex scientific concepts is highlighted, supported by academic literature and organized through a Gowin's V. The detailed development, operation, and analysis of the LR offer a solid foundation for evaluating its validity and potential as an educational tool in the field of sciences.

Keywords: remote experimentation, hybrid classroom, energy, momentum, conceptual field

## Introducción

El proceso de digitalización puso en evidencia la escasez de estrategias y recursos para la enseñanza remota de las ciencias naturales y tecnologías en todos los niveles educativos, especialmente en su faceta práctica como por ejemplo la rama experimental y otras (Franco, Velasco y Riveros, 2017, Sandi-Urena, 2020).

El laboratorio de experimentación requería la presencia física de las personas para la manipulación de los sistemas de control e instrumentos de un laboratorio, en un entorno controlado bajo supervisión. El avance de la tecnología digital de la información y la comunicación (TDIC) está permitiendo que esa práctica experimental se pueda desarrollar con otras modalidades, una de las cuales son los laboratorios reales manipulados en forma remota, que es la situación que se presenta en este trabajo.

Las carreras de Ciencias y Tecnologías en general, y en el caso de carreras tradicionales como las ingenierías, necesitan de propuestas innovadoras en sus aulas. De esa manera puede no sólo atraer a estudiantes a sus claustros, sino que además puede contribuir a que permanezcan en ellos. Y concomitantemente acercarnos a una Industria 4.0, incluso desde los primeros años.

Frecuentemente se considera que las ciencias naturales tienen una asociación estrecha con la medición y el modelado. En Física y su educación se acepta en forma prácticamente unánime que las leyes se basan en observaciones experimentales, donde la medición es fundamental hasta el punto de ser particularmente resaltado por docentes, incluso, en trabajos realizados bajo entorno de pandemia (Ferreira et al 2022).

Diversos autores (Stoelinga, Silk, Reddy y Rahman, 2015; Gross y Gross, 2016; Taylor, 2016) coinciden en la necesidad de proyectos educativos que permitan la integración disciplinar y el desarrollo de habilidades propias del siglo XXI, con el fin de construir una sociedad científica y tecnológicamente alfabetizada, creativa y ética. Sin embargo, específicamente en el contexto latinoamericano, se ha encontrado que desde los organismos gubernamentales se hace poco énfasis en políticas de ciencia y tecnología, lo cual redundaría en que haya más usuarios del conocimiento y la tecnología que transformadores y creadores de estos (Cáceres y Sapuyes, 2019).

En el contexto de las TDIC se busca diseñar y poner en marcha prototipos de laboratorios remotos (LR) en la UNSJ para realizar experiencias enlazadas a la Red Argentina Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto. En 2021 CONFEDI (Confederación de Decanos de Ingeniería) crea dicha RED (R-LAB) y genera de esta forma un sistema de producción y gestión de LR, con una perspectiva colaborativa e interinstitucional que permita la implementación, ejecución y mantenimiento continuo de las distintas experiencias (CONFEDI R-LAB, 2021; Zanetti, 2021). La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (FI-UNSJ) trabaja desde antes de la Pandemia por Covid-19 y se consolidó como proyecto en 2021 junto a un grupo interdisciplinario local de distintas unidades.

Para poder llevar a cabo estos proyectos en Argentina, la Secretaría de Políticas Universitarias ha estado financiando parcialmente la remotización y el desarrollo de una plataforma. La iniciativa busca utilizar las mejores capacidades instaladas en cada unidad académica para que eso redunde en un producto de calidad para las y los estudiantes de ingeniería, en principio. Este programa resulta revolucionario porque LR existen en otros lugares del mundo, pero son plataformas pagas.

Un laboratorio remoto (LR) es un conjunto de dispositivos físicos reales, situados en determinadas instituciones, dotados de instrumentos, sensores, motores, cámaras de video, etc., de modo que puedan ser manipulados a distancia a través de internet. Es decir, posibilita el uso de la tecnología y la tecnología multimedia en la educación en ciencias (física, etc.), tecnología, ingeniería, matemática, arte – STEAM integrado – como se lo ha interpretado más recientemente.

Denominamos colisión real o parcialmente inelástica a la interacción entre las partes de un sistema donde se conserva el ímpetu lineal, pero donde se pierde energía cinética de forma tal que dicha pérdida no es la máxima posible ( $\Delta E_c < 0$ ). En otras palabras, durante este tipo de colisión, aunque

se mantiene la conservación del momentum, parte de la energía cinética se transforma en otras formas de energía interna o se disipa en el entorno. El modelo físico-matemático asociado es aquel en el que el coeficiente de restitución  $\epsilon$  toma los valores comprendidos entre 0 y 1, es decir:  $0 < \epsilon < 1$ . Mientras los valores de los  $\epsilon$  de los choques plástico (o inelástico) y elástico son 0 y 1, respectivamente. En el primero, se pierde la máxima cantidad posible de energía cinética que permite la conservación del ímpetu ( $\Delta E_{c_{Máx}} < 0$ ). Mientras en el segundo se conservan tanto  $p$  como la energía cinética del sistema ( $\Delta E_c = 0$ ).

Respecto al estado de desarrollo del prototipo de LR, se ha avanzado en su construcción, teniéndose ya la estructura física diseñada por completo, y en breve estaría construida totalmente en su parte mecánica-física. Primariamente se propuso un LR que permitiera determinar coeficientes de restitución, usando para ello colisiones de bolitas de diversas masas y materiales contra “el suelo”, es decir choques contra otra masa relativa no comparable (superficie estática rígida solidaria a la tierra). Pero, durante la fase de desarrollo del equipo (cuya parte mecánica ya fue completada) se planteó la idea de utilizar la misma planta piloto para incluir alternativamente otro experimento: colisiones entre objetos libres (uno suspendido) de masas comparables. Es así que se adecuó lo que ya estaba implementado para poder adosar esa segunda opción. Al finalizar se obtendrá un artefacto (LR) que permita realizar ensayos reales remotos (vía Internet) de dos experiencias distintas: “Determinación por choque de coeficientes de restitución” y “Estudio experimental de choques reales entre objetos de masas comparables”; esta segunda parte permite realizar un estudio y análisis de choques haciendo hincapié en el estudio de la conservación de la cantidad de movimiento lineal y estados energéticos.

Este trabajo muestra el desarrollo de un prototipo de LR para el estudio de las Colisiones reales. Se ha mostrado con rasgos innovadores, pero todavía se encuentra en proceso de prueba. Unos primeros avances se han consignado en Escudero, Bustos y Navas (2022) y en esta oportunidad se progresa en el desarrollo de más novedades.

### **Marco teórico**

A partir del siglo XXI se comenzó a poner énfasis en la búsqueda de la alfabetización científica, tecnológica y digital (Tedesco, 2017). Dada la naturaleza misma del proyecto, una triangulación de marcos teóricos se hace necesaria para analizar los problemas que se manifiestan en la concreción de prácticas educativas desde su génesis.

Atendiendo al carácter situado, complejo y singular que caracterizan a los problemas educativos, ello reclama no sólo reformas sino también ineludibles innovaciones educativas. En este sentido, tomando como modelo al triángulo didáctico que incluye a docentes, estudiantes, contenidos y sus interacciones en contextos particulares cuando intentan construir significados compartidos (Onrubia y Coll, 1996; Edwards y Mercer, 1994; Ausubel, 2002), consideramos el conocimiento intuitivo como un primer abordaje de los problemas y resulta útil en tanto permite interpretar una gran cantidad de fenómenos (Duit y Pfundt, 2009), por un lado; y por otro, el estudio y diseño de LR junto al desarrollo

de la autonomía en los estudiantes donde ambos convergen.

Las representaciones implícitas y simbólicas son muy útiles en situaciones o contextos que requieren respuestas o acciones automatizadas. Las representaciones explícitas, sin embargo, permiten abordar tareas más complejas (Escudero y Jaime, 2007). Se examinará en una primera etapa el conocimiento intuitivo potencial expresado por estudiantes universitarios en la interacción con el laboratorio proyectado.

### **A. Conocimiento previo y concepciones alternativas El conocimiento previo como punto de partida para el aprendizaje**

Durante la década del '60, Ausubel, 1963 y Ausubel et al., 1976 ya había propuesto al conocimiento previo como factor que predominantemente influye sobre el aprendizaje. La identificación de concepciones alternativas y el estudio de los procesos por los cuales las personas aprenden a partir de ellas están en la base de la construcción de conocimiento según la óptica constructivista.

El término concepciones alternativas fue cambiando a lo largo de los años con distintas variedades. De manera general refiere a ideas previas o conocimiento intuitivo que las personas tienen sobre cómo funciona el mundo: hipótesis implícitas muy acotadas sobre fenómenos, o de algún aspecto del universo. Estas concepciones en general son contrastables y puestas en discusión por medio de evidencia empírica y modelos científicos. Una de las características particulares es su resistencia al cambio: se ha observado que las personas tienden a proponer hipótesis auxiliares para “salvar” sus creencias implícitas (Pozo et al., 1992). Dicha resistencia implica que pueden volver a expresarse en diferentes situaciones, aun cuando la instrucción colabore con modificarlas parcialmente en determinados contextos.

En el área de la física se han identificado una gran cantidad de sentidos comunes. Por ejemplo, una concepción alternativa frecuente es confundir calor con temperatura: se tiende a pensar que los objetos metálicos son inherentemente fríos o calientes dependiendo del contexto, o que los objetos pesados se hunden y los livianos flotan (sin tener en cuenta la densidad de los mismos). O bien, conceptualizar el choque como intercambio de velocidades: se tiende a pensar en los choques así antes que como un intercambio de cantidad de movimiento. Autores como Weil Barais y Vergnaud, 1990 señalan la desconsideración de su conservación, mientras Escudero, 2009 y Escudero et al. 2016 indica la reducción de dos propiedades: ímpetu lineal y energía al balance de una de ellas (energía).

Estos son algunos ejemplos de concepciones alternativas que circulan en la creencia colectiva y suelen ser el punto de partida en intervenciones pedagógicas en ciencias naturales.

En este sentido, invocar y atender las concepciones alternativas de los estudiantes puede ser usado como punto de partida para avanzar hacia el conocimiento científico (Silveira, 1989), mediado por el laboratorio también (Jaime et al, 2011). Una innovación educativa no solo dependerá de la tecnología utilizada, sino del diseño didáctico integral con el que se acometa, emprenda.

En el aula de física, por ejemplo, esto se expresa en los análisis que hacen los estudiantes sobre determinados fenómenos: aun partiendo de descripciones correctas, se evidencian ciertas inconsistencias o contradicciones en comparación con la interpretación desde la perspectiva formal o teórica de la física. Este tipo de conocimiento nunca desaparece, sino que el conjunto de situaciones en los que se utiliza se reduce notablemente y con la instrucción se integra a una estructura de conocimiento más abarcativa.

Si bien el ser humano desde muy pequeño se encuentra en contacto e interactúa con palabras cuyos significados remiten a la física, el gran paso que se da al representarlos y luego operar con ellos, constituye una construcción completamente intencional y guiada. Se produce una mixtura de componentes escolares y sociales.

### **B. Laboratorios (Hand On, Virtuales y Remotos)**

El contexto de aislamiento durante la pandemia de los años 2020 y 2021 exigió considerar formas de experimentación no presenciales. Los laboratorios físicos más conocidos como *Hand on (LF)*, son aquellos que cuentan con infraestructura y equipos, como mesas especiales, tubería para gas y agua (caso de laboratorios de ciencias naturales), equipos de medición (temperatura, pH, velocidad, etc.), equipos de electrónica y robótica (caso de laboratorios mecatrónica), etc. Mientras que los denominados laboratorios virtuales (*LV*), permiten realizar lo antes mencionado, pero desde un enfoque virtual o digital, requiriendo únicamente una computadora o dispositivo móvil. Tiene ventajas como ser portátil y accesible, el aprendizaje se puede realizar en cualquier momento y en cualquier lugar porque está equipado con un software acorde a la movilidad del usuario. (Muhajarah y Sulthon, 2020)

Así los LR, corresponden a un conjunto de tecnologías que permite a profesores y estudiantes, realizar una actividad experimental a distancia en un laboratorio ubicado en algún lugar del mundo (no es una simulación) (Hernández, Vallejo y Morales, 2019). Los estudiantes realizan la actividad de manera individual o grupal y comparten su proceso de aprendizaje entre pares y con su equipo docente, promoviendo el desarrollo de habilidades transversales para un uso crítico y creativo de las tecnologías digitales (Arguedas-Matarrita y otros, 2019).

Es decir, los LR son *aquellos que tienen equipos físicos que realizan los ensayos localmente, pero en los que el usuario accede en forma remota a través de una interfaz que está implementada mediante software* – cuando citan a Marchisio, Lerro & Von Pamel (2010) –, similar al manejo de *una simulación*, con la diferencia que, *en lugar de usar un software en su totalidad, se hace un uso mixto, entre equipo real de laboratorio (sensores, mecanismos, etc.) y un software (...) previo el debido acceso de usuario dado* (Arguedas-Matarrita y otros, 2016). Como bien resaltan estos autores, en los LR el usuario realiza prácticas reales sin la necesidad de desplazarse a un recinto de laboratorio.

En general, la función del “laboratorio” ya sea *Hand on*, virtual o remoto, es la de potenciar la capacidad investigativa de quienes los usan, tanto estudiantes como profesores, acercando, sobre todo a los primeros, a experiencias que eventualmente podrían desarrollar en un contexto real, de

investigación; o bien, laboral. Aunque existen también otros tipos de laboratorio como el denominado diferido o ultra concurrente, no nos vamos a ocupar por ahora.

Por otra parte, permitirían cobertura de demandas educativas como deserción, desgranamiento y/o desmotivación de los estudiantes, atención a la heterogeneidad en la formación previa de los estudiantes buscando una aproximación a lo que es posible y lo que no dentro de un sistema.

En estos nuevos escenarios con gran predominio de lo digital, el modelo de laboratorio extendido (Idoyaga, 2022) que considera la inclusión de prácticas experimentales diversas es una alternativa potente a tener en cuenta.

Se trata de utilizar al máximo los medios tecnológicos actuales, que respondan a temas que presentan dificultades de aprendizaje y que además procuren flexibilidad para ser aplicados en distintos cursos y niveles educativos.

### **Desarrollo de un LR en Física sobre Colisiones reales**

Para poder simular fuerzas de impacto, es preciso especificar un valor para el coeficiente de restitución  $\varepsilon^5$ . El *conocimiento tecnológico per se* es central en este diseño y desarrollo interdisciplinar. El caso en progreso implica que el segundo cuerpo de dos que chocan frontalmente está en reposo y que su masa es muy grande comparada con la del primero. Precisa que se modele la situación identificando aunadamente las condiciones de contorno y que se determine la velocidad de cada cuerpo después de la colisión; o bien, se midan otras variables oportunas indirectamente, siendo el valor de la variación de la energía cinética:

$$\Delta Ec = \frac{1}{2}mv_1^2(\varepsilon^2 - 1) \text{ donde: } \varepsilon = \frac{v_2}{v_1} \text{ y } \varepsilon = \sqrt{\frac{h_f}{h_i}}$$

Pero, además, también puede ser función del tiempo:  $\varepsilon = f(t)$

A la fecha, se ha conseguido desarrollar localmente un sistema, que consta de un sensor piezoeléctrico y una placa Arduino Nano, que conectados a una PC pueden medir tiempo e intervalos de tiempo entre rebotes (de una esfera) del orden de los milisegundos o menores, con una buena precisión. Se utilizan esferas de distintos materiales (acero inoxidable, vidrio, madera, PVC, etc.)

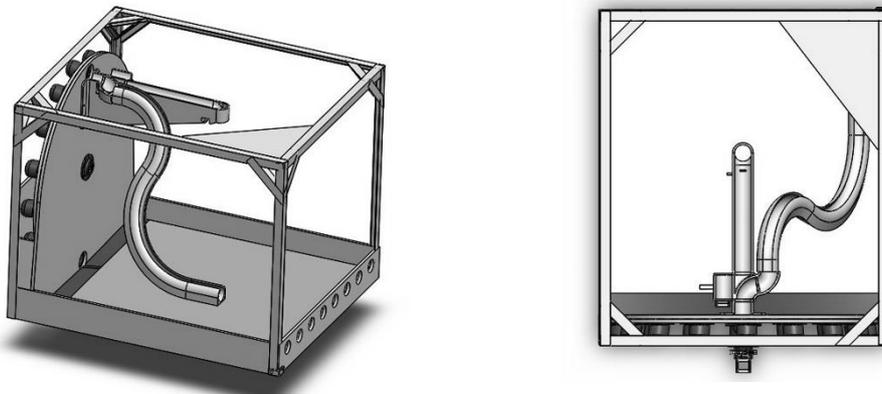
Por otra parte, en lo relativo al funcionamiento, el ciclo completo desde el inicio parte de la carga completa de esferas distintas en la mitad de la noria, es decir todas las copas de su parte media, en la zona que entrarán en el sentido de giro.

Hecho eso, la primera bolita, en el orificio de la parte superior, entra en el canal de salida y allí queda hasta su lanzamiento, retenida por un tope móvil comandado por un motor; se puede entonces enfocar con la cámara y saber con qué bolita se hará el ensayo.

<sup>5</sup> El símbolo del coeficiente de restitución que se adopta en este trabajo es “ $\varepsilon$ ” en vez de “ $e$ ” para evitar la confusión con la base del logaritmo natural  $e$ .

El tope mantiene la esfera en esa *posición inicial*. Ahí inicia el ensayo.

Seguidamente se elige qué ensayo se hará, el primero (coeficiente de restitución) o el segundo (choque con el péndulo). Para el primero el canal sigue en línea recta, para el segundo toma una derivación de la ruta que seguirá la esfera, proveyéndole un camino alternativo hacia el choque con el péndulo. Los casos de ambos caminos de las esferas o bien el tope de la misma son comandados por un motor (figura 1).



**Figura 1.** Vistas principales que caracterizan a objetos del prototipo. (a) Vista en perspectiva del equipo de LR sobre Colisiones Reales. (b) Vista superior del mismo equipo. Fuente: Elaboración propia.

Luego de escogido el ensayo, indicado en el párrafo anterior, la esfera sigue uno de dos cursos, realiza rebotes en el piso, o choque con el péndulo, según corresponda, de ellos se adquieren datos, procesan digitalmente y muestran en pantalla resultados. Toda la situación es vista y filmada.

En cualquier caso, la esfera, una vez que cae al piso, retorna al orificio inferior y recarga la copa *que ya está vacía*. El motor paso a paso vuelve a hacer un giro de 22 grados – aproximadamente – y por el orificio superior sale la siguiente pelotita (2da en el orden) quedando posicionada, expuesta a la vista y sujeta por el tope superior. En tal posición se iniciará un nuevo ciclo para un nuevo ensayo.

Siguiendo con el funcionamiento, cuando la bolita golpea el piso, la vibración se transmite al sensor que transfiere impulso a un cristal piezoeléctrico. El cristal genera una diferencia de potencial, dependiente de la carga, que se transmite a una computadora a través de un amplificador como puede consultarse en Escudero, Bustos y Navas (2022).

El diseño del prototipo ha estado enfocado a la innovación que permite visualizar adecuadamente la filmación del experimento del LR mediante la instrumentación estructural y funcionalmente posicionada para medir las señales de los impactos. El diseño también debe contener los planos de conjunto y vistas principales que caracterizan a cada objeto del prototipo.

El desarrollo ha implicado combinación de varios campos de conocimiento. (a). Construcción de planta que implica transporte en noria, diseño de un circuito que permita la circulación de bolitas con cambios de nivel en la vertical, insuflar aire para impulsión, motores, impresión 3D, etc. Las bolitas van a seguir

el canal de conducción y van a tener dos alternativas: (a.1) Caída libre desde altura conocida y su rebote y (a.2) cambio de canal de conducción, rodamiento e impacto con otro cuerpo de masa comparable que cuelga a modo de péndulo. (b). Hardware y Software que recoge la señal, prueba su eficiencia, lleva los valores a tablas y software de procesamiento y graficación.

En resumen, los estudiantes tienen dos opciones de línea de trabajo:

1. *Medición indirecta del coeficiente de restitución.* Dejar caer bolitas en caída libre desde altura medida. Circulación de bolitas cuyo impacto permite determinar el tiempo entre rebotes a partir del desarrollo de software para muestreo, cálculo y graficado obteniéndose representaciones de intensidad de la perturbación elástica, específicamente Intensidad de perturbación (medido por el sensor piezoeléctrico) vs tiempo (El caso de impacto sobre la superficie estática es conocido como difícil de conceptualizar dado su  $m \rightarrow \infty$ ).

2. *Teoremas de conservación en colisiones.* Las bolitas siguen por canal de conducción y ruedan impactando a otro cuerpo de masa comparable. Se contrastan variaciones de ímpetu ( $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  y  $\Delta p_{sist}$ ) y energía ( $\Delta E$ ) e impulsos. Se validan modelos teóricos con evidencias experimentales. Proceso lento, pero que posibilita autorregular el conocimiento y las habilidades necesarias. Se solicitan cálculos básicos de error que contribuyen desde un proceso reflexivo con la conceptualización.

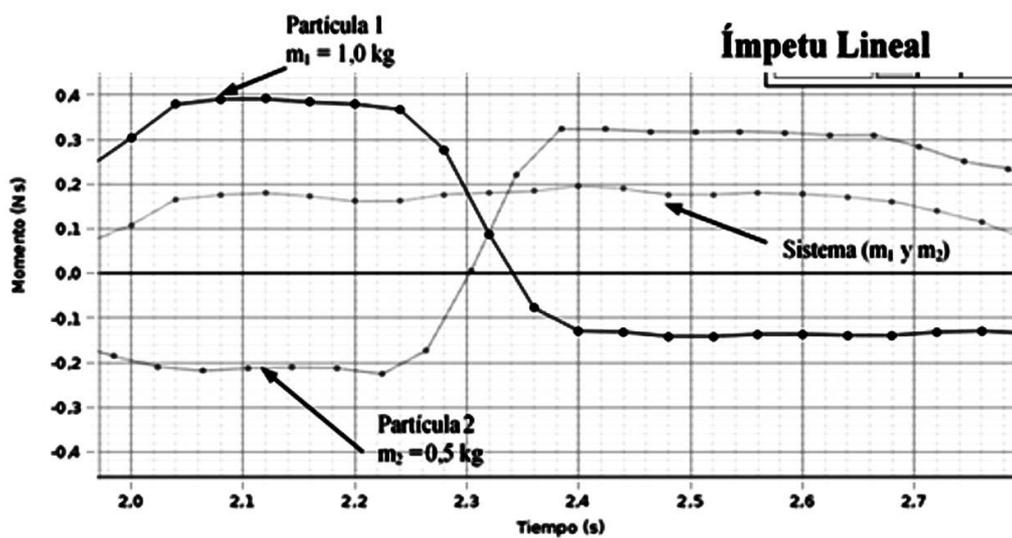
Se tienen dos experimentos en un mismo LR que contribuyen a enriquecer la conceptualización de  $p$ ,  $E$  y sus conservaciones. Como también la importancia de su medición para dar cuenta de propiedades de los materiales. Su desconsideración introduce error.

En esta segunda parte se ha aprovechado el equipamiento ya diseñado agregando en forma modular una rampa curva que permite el descenso de la bolita que en la base impacta con otra de diferente masa que pende de un hilo como un péndulo (ver figura 1). Se pasa de masas que no se pueden comparar en la primera parte (una de ellas es muchísimo mayor que la otra) a masas comparables que también impactan.

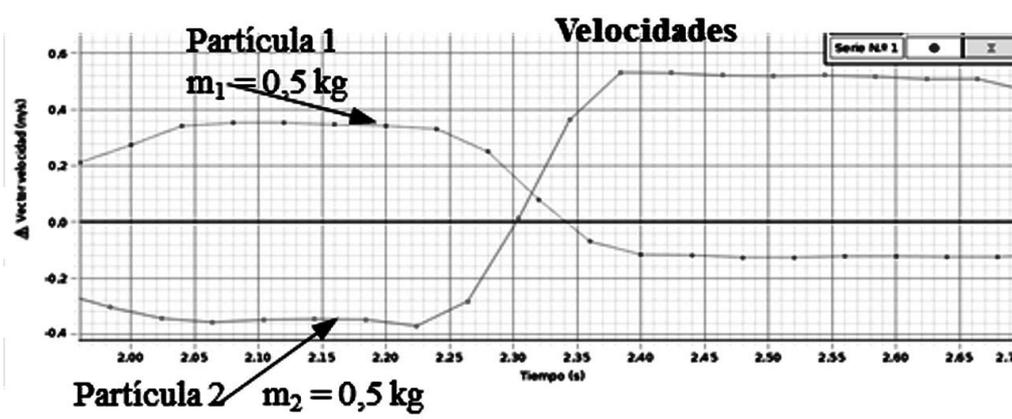
Se miden variaciones de cantidad de movimiento de cada partícula y del sistema formado por ambas y de sus impulsos, así como de sus velocidades y variaciones de velocidad  $\Delta v$ . Se proveerá software para analizar videos que cada usuario podrá recibir. Se busca validar teoremas de conservación y confrontar ideas previas desde bases epistemológicas (figura 2) por modelado teórico y registro de datos experimentales y sus transformaciones, así como afirmaciones de conocimiento y de valor en relación con el cuerpo teórico adoptado. La comparación sistemática como metodología permitiría la autorregulación y consolidación del nuevo conocimiento, principios programáticos bien conocidos. Emerge la necesidad del parámetro asociado a su significado. Precisamente el coeficiente  $\epsilon$  se constituye en un indicador fehaciente del funcionamiento de ese sistema.

Al analizar las concepciones implícitas de los estudiantes, más precisamente los aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones; cuya calidad y organización influyen notablemente en los procedimientos que desarrollan al intentar resolver las situaciones, las preguntas de los estudiantes se inclinan – con frecuencia – a pensar el choque como un intercambio de velocidades antes que de

cantidad de movimiento. Un leve cambio de esta idea puede conducir a una interpretación física correcta. Debido a eso justificamos la presencia de la gráfica de  $v = f(t)$  en la figura 2 en el diseño de la secuencia en busca de incrementar su autonomía, entre otras. En futuros trabajos se desarrollarán mejor estas ideas, en una etapa ya implementada.



(a)



(b)

**Figura 2.** (a) Ímpetu lineal para las partículas  $m_1$  y  $m_2$  y para el sistema de partículas formado por ambas, en función del tiempo. (b) Velocidades para otras partículas  $m'_1$  y  $m'_2$  en función del tiempo.

Ambas partes del laboratorio de Colisiones son complementarias bajo distintos aspectos: ponen en juego múltiples tipos de razonamiento, conceptos, formas de registro y análisis, argumentaciones, etc., buscando la conceptualización de dichos principios desde lo predicativo y lo operatorio mancomunadamente desde la perspectiva de Vergnaud (2009).

## Análisis y discusión de resultados

Para la primera parte (determinación de coeficiente de restitución) la construcción físico-mecánica y la automatización se encuentra en un estimado avance del 80% de desarrollo; está basada en cuatro motores (paso a paso y servos), sensores piezoeléctricos (Sensor Piezoeléctrico 20mm Zumbador Altavoz 3.3v - 5v), placa de control Arduino uno, PC y elaboración del correspondiente software elaborado en lenguaje de programación (con diseño original) para ser manejado con placa uno de Arduino.

El diseño de la segunda parte ha sido recientemente terminado, al igual que su implementación física mecánica. Entrando luego en fase de pruebas manuales y verificación de funcionamiento de partes y conjunto, eventualmente alguna corrección si fuere necesario, para luego pasar al desarrollo de la automatización. Para esta última se ha optado por usar visión artificial para la determinación de las velocidades de los objetos que chocarán, este recurso tecnológico agrega además una plusvalía en términos pedagógicos.

Los aspectos clave de la propuesta de enseñanza necesitan ser presentados explícitamente. Se indican las características de los LR utilizados, y también cómo se suman a la propuesta innovadora. El sólo hecho de ser remoto (como cualquier otro laboratorio) no implica necesariamente su potencialidad para el desarrollo de dicha conceptualización, vista ésta como RP y formación de conceptos integrando las caras de una misma moneda. Hay que asegurarse que se los trabaje integralmente en el aula.

El procedimiento en específico seguido contiene las siguientes etapas:

### **1er experimento:**

- 1.- Se definen y ejecutan condiciones de inicio luego de realizar un ensayo de prueba. Esta puesta de inicio servirá para ambos experimentos.
- 2.- Se deja caer una esfera desde una altura determinada por diseño desde el reposo para impactar contra una placa vinculada a la Tierra ( $m = \infty$ ).
- 3.- Se miden intervalos de tiempo  $\Delta t$  entre impactos sucesivos para relacionar esta magnitud con el coeficiente de restitución  $\epsilon$  mediante un modelo físico - matemático.
- 4.- Los datos para discusión se obtienen de forma indirecta desde un pre-procedimiento donde se incluirán materiales didácticos específicamente diseñados.
- 5.- ¿Es predecible que el coeficiente  $\epsilon$  sea igual para todos los materiales? Explique por qué.

### **2do experimento:**

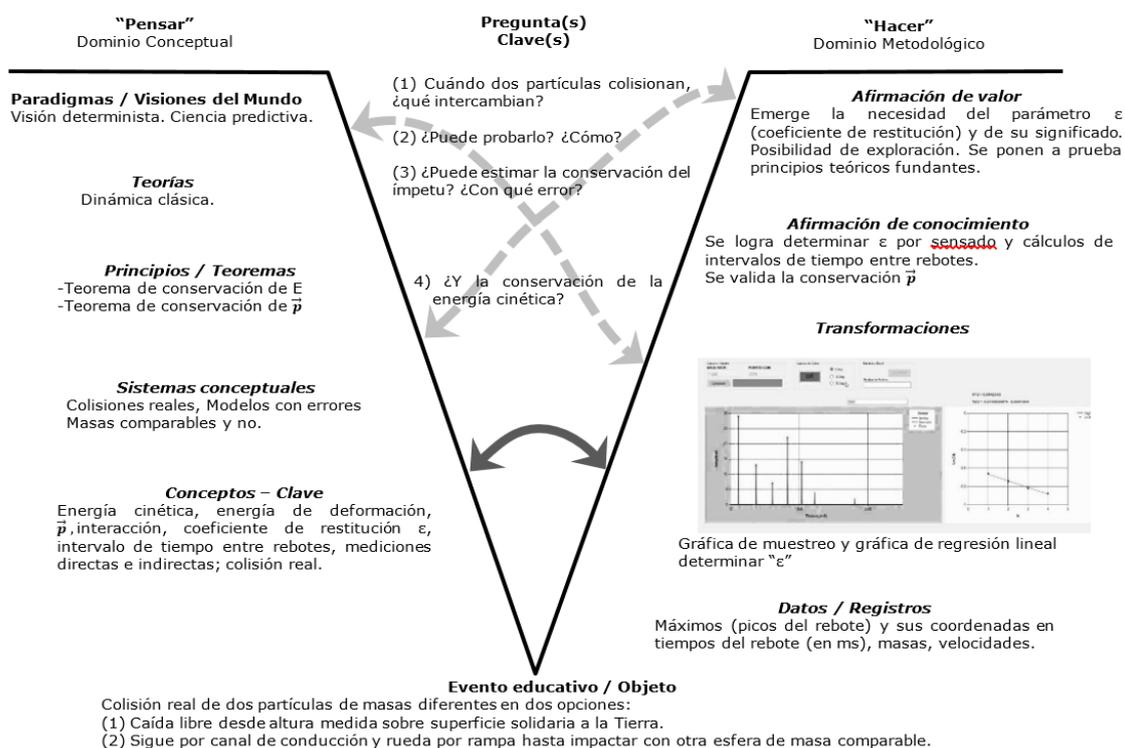
- 1.- Se muestra cómo se “masan” los distintos objetos intervinientes.
- 2.- Mediante una variación de energía potencial se entrega energía cinética al sistema antes que ocurra el choque correspondiente. La masa pendular inicialmente está en reposo.
- 3.- Registro y análisis por software de imágenes que se dará a los usuarios.

4.- Su análisis estará apoyado por material didáctico específicamente diseñado.

5.- ¿Podría obtener el coeficiente  $\epsilon$  (aquí obtenido) de forma convencional y como parte del análisis de sus datos?

A continuación, para visualizar las distintas transformaciones llevadas a cabo en la concepción del LR de colisiones reales ayudaría mostrar las relaciones entre elementos conceptuales y metodológicos involucrados en la producción de conocimientos a través de una Ve de Gowin (figura 3). Los conceptos-clave y los sistemas conceptuales utilizados generan principios, que a su vez dan origen a teorías que tienen paradigmas subyacentes. En el vértice se encuentran eventos y/o objetos relacionados con los fenómenos de interés. Se hicieron registros, transformaron en datos, sufriendo varios cambios metodológicos embebidos en un sólo sistema de medición por opción constituyendo una ventaja adicional al ofrecer respuesta a las preguntas-clave.

La figura 3 se muestra en la página siguiente.



**Figura 3.** Una Ve de Gowin sobre capacidades necesarias en un R-LAB centrada en colisiones reales de partículas con hardware y software como instrumento de sensado y graficación de variables de utilidad.

Los contenidos abordados se vieron parcialmente modificados. Si bien no se abandona el peso puesto en el análisis algebraico, comienza a tomar importancia el análisis de significados conceptuales, a partir del análisis de modelos. En este sentido, el LR y sus complementos contribuiría en la construcción conjunta de los modelos que subyacen a los fenómenos estudiados; en este sentido los estudiantes

pueden hacer explícitas sus concepciones e ir modificándolas, a partir del trabajo con el otro, para acercarse gradualmente al modelo científico.

Durante la interacción entre los objetos (utilizados) podemos suponer que la energía cinética se transforma en energía de deformación que luego se puede recuperar parcial o totalmente como energía cinética; conservándose la energía total y con la idea en mente de que la energía cinética sola no basta para conceptualizar el proceso complejo que está ocurriendo al producirse una colisión.

Una competencia significativa crítica a desarrollar en su implementación es la experticia asociada a la capacidad de proyectar conceptos en una amplia variedad de situaciones donde la novedad se sitúa centralmente.

Este LR representa una oportunidad de realizar un aprendizaje interactivo, autónomo, dinámico, asincrónico y personalizado. Se ha buscado trascender el aprendizaje mecánico y aproximarnos a un aprendizaje que valore los significados con un diseño cuidado. Que el alumno pase de ser repetidor a elaborador, asumiendo el desafío de llevarlo a cabo, con el conocimiento disponible.

### **A modo de reflexión**

El proceso de digitalización puso en evidencia la escasez de estrategias y recursos para la enseñanza remota de las ciencias naturales en todos los niveles educativos, especialmente en su rama experimental, asomando como área de vacancia. Así podemos afirmar que el diseño en contexto y en un marco interdisciplinar se constituye en línea de investigación.

El laboratorio de colisiones reales no se trata de un LR elemental. Se han presentado desarrollos parciales avanzados. Se prevén adaptaciones para escuela secundaria con beneficios para la educación provincial buscando contribuir a la educación en ciencias naturales y matemática a través del estudio e implementación de innovaciones educativas asociadas a modelos mixtos integrando aportes de diversos campos de conocimiento para sustentar el diseño y la construcción de diversos instrumentos y dispositivos tecnológicos de bajo costo y alto valor educativo.

Complementar un LR de Diseño Integral planteado como escenario 4.0 de resolución de situaciones problema en ambiente tecnológico que utilizan sensores, interfaces, software y hardware libres para adquirir datos en tiempo real y en contexto, y así puedan ser de utilidad al avanzar en el logro de aprendizaje significativo crítico a través de la acción crítica. Tanto sea en la enseñanza presencial como a distancia, son los profesores quienes llevan adelante las propuestas didácticas. La formación de profesores en inicial y en servicio se torna de suma trascendencia.

La remotización de todo el conjunto ya automatizado será la etapa final para la puesta en función del LR propuesto tecnológicamente hablando. En ese sentido también está prevista la construcción de un OVA (Objeto Virtual de Aprendizaje) que se vincule, provea información del tema e interactúe con el LR.

Este trabajo en todo su acervo se propone contribuir al campo de la didáctica de la física, en un momento histórico en donde los LR y las tecnologías digitales desempeñan un papel sin precedentes en la formación y el desarrollo del potencial humano.

Los laboratorios remotos son tecnologías prometedoras para la enseñanza de la física a nivel universitario. Sin embargo, cabe aclarar que el impacto de una innovación educativa no solo depende de la tecnología utilizada, sino también del diseño didáctico con el que se aborde (Arias Navarro et. al. (2024).

En cuanto a las perspectivas teóricas, acordamos que, si bien algunas líneas se consolidaron más sólidamente que otras, los avances técnicos y tecnológicos sumados al advenimiento de corrientes intelectuales renovadas, entre ellas la modalidad STEAM, imprimen una transformación en los modos de abordar la tarea, tanto que nos permitimos avizorar horizontes multi e interdisciplinarios para este campo intrínsecamente adherido a las disciplinas científicas involucradas.

**Referencias bibliográficas:**

- Arguedas Matarrita, C., Concari, S., Villalobos, M., Sottile, R., y Herrero-Villarreal, D. (2016). El uso de un Laboratorio Remoto de mecánica en la enseñanza de la física en dos modalidades de educación superior. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 305-312.
- Arguedas-Matarrita, C.; Orduña, P.; Concari, S.; Elizondo, F.U.; Rodríguez Gil, L.; Hernández, U.; Carlos, L.M.; Conejo-Villalobos, M.; da Silva, J.B.; García Zubia, J.; et al. Remote experimentation in the teaching of 17 Physics in Costa Rica: First steps. En: *Proceedings of the 2019 5th Experimental International Conference*, Madeira, Portugal.
- Arias Navarro, E.; Moya, C. N.; Lizano-Sánchez, F.; Arguedas-Matarrita, C.; Mora Ley, C.; Idoyaga, I. Study of Free Fall Using an Ultra-Concurrent Laboratory at the University. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*; Año: 2024 vol. 20 p. 4 – 15.
- Ausubel, D. P. (1963). *Psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., Hanesian, H., et al. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognitivo* (Vol. 3). Trillas México.
- Ausubel, D. P. (2002) *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Ed. Paidós.
- Cáceres, N. M., & Sapuyes, N. B. (2019). La educación STEM/STEAM como alternativa para las reformas educativas: una aproximación a su estado del arte desde la perspectiva filosófica. En G. Castillo (Ed.), *Educación: Stem /Steam. Apuestas hacia la formación, impacto y proyección de seres críticos* (pp. 13-27). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés.
- CONFEDI R-LAB (2021) *Acta Fundacional de Creación Red Argentina Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto*. Comité Coordinador, 14/04/21.
- Duit, R., & Pfundt, H. (2009). *Bibliography Students' Alternative Frameworks and Science Education*. Kiel: IPN.
- Edwards, D. y Mercer, N. (1994) *El conocimiento compartido: El desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós.
- Escudero; C. y Jaime, E. (2007) *La comprensión de la situación física en la resolución de problemas: Un estudio en dinámica de las rotaciones*. REEC, 6 (1), 1-19.
- Escudero, C. (2009) *Leyes de conservación en el mundo físico: un estudio de caso desde la teoría de los campos conceptuales*. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Ext, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2239-2245.
- Escudero, C.; Jaime, E. y González, S. (2016) *Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico*. *Enseñanza de las Ciencias*, 34 (3), 203-220.
- Escudero, C.; Bustos, D. A. y Navas, S. (2022) *Mediciones experimentales de acceso remoto para la generación de conocimiento*. 1° Congreso Latinoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad, pp. 458-461. UNSJ-UCC-GobSJ, 8-11 Nov.
- Ferreira, M. Reflexões a partir da experiência de uma disciplina ministrada de forma remota., *Rev. Enseñanza La Física*. 34 (2022). <https://doi.org/10.29276/redapeci.2021.21.316068.68-68>.

- Franco, R., Velasco, M. A., y Riverosfra, C. (2017). Los trabajos prácticos de LABORATORIO en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas (2012-2016). *Tecné, Episteme y Didaxis*, 41, 37- 56.
- Gross, K., & Gross, S. (2016). Transformation: Constructivism, design thinking, and elementary STEAM. *Art Education*, 69(6), 36-43.
- Hernández, M., Vallejo, A. y Morales, R. Virtual reality laboratories: a review of experiences. *Int J Interact Des Manuf*, 13, 947–966 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00558-7>
- Idoyaga, I. J. El Laboratorio Extendido: rediseño de la actividad experimental para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de divulgación de STEM de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*; Año: 2022 vol. 4 p. 20 - 49
- Jaime, E. y Escudero, C. (2011) El trabajo experimental en enseñanza de la física como generador de conocimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (3), 371-380.
- Marchisio, Lerro & Von Pamel (2010) Posibilidades didácticas del “Laboratorio remoto de Física Electrónica”. Resultados de una primera evaluación en uso con estudiantes. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18326>
- Muhajarah, K., & Sulthon, M. (2020). Development of a virtual laboratory as a learning media: Opportunities and challenges [Pengembangan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran: Peluang dan tantangan]. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 77-83. <https://doi.org/10.31764/justek.v3i2.3553>
- Onrubia, J., & Coll, C. (1996). La construcción de significados compartidos en el aula: actividad conjunta y dispositivos semióticos en el control y seguimiento mutuo entre profesor y alumnos. *Enseñanza, aprendizaje y discurso en el aula: Aproximaciones al estudio del discurso educacional*, 53-73.
- Pozo, J. I., del Puy Pérez, M., Sanz, A., & Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y aprendizaje*, 15(57), 3-21.
- Sandi-Urena, S. (2020). Experimentation skills away from the chemistry laboratory: Emergency remote teaching of multimodal laboratories. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3011–3017. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00803>
- Silveira, F. L. d. (1989). A filosofia de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência. *Caderno catarinense de ensino de física*. Florianópolis. Vol. 6, n. 2 (ago. 1989), p. 148-162.
- Stoelinga, S. R., Silk, Y., Reddy, P., & Rahman, N., (2015). Final evaluation report: Turnaround arts initiative. Washington, DC: President's Committee on the Arts and the Humanities. Retrieved from <http://pcah.gov>
- Tedesco, J. C. (2017). *Perfiles Educativos*, 39(158), 206-224.
- Vergnaud, G. (2009). The theory of conceptual fields. *Human Development*, 52(2), 83-94. <https://doi.org/10.1159/000202727>
- Weil Barais, A. y Vergnaud, G. (1990). students' conceptions in Physics and Mathematics: bases and helps. En Caverni, J. P.; Fabre, J. M. y González, M. (Eds.) *Cognitive Biases*. North Holand. Elsevier Science Publishers, 69-84.

---

Zanetti, P. A. (2021). Laboratorios remotos en la Formación por Competencias como instrumento didáctico en innovación educativa en asignaturas de carreras de Ingeniería - VI Congreso Internacional Sobre Aprendizaje, Innovación y Cooperación (CINAIC, 250–255. <https://doi.org/10.26754/cinaic.2021.0049>