



UNLAR CIENCIA

REVISTA CIENTÍFICA

EDICIÓN N°52

Año 26 - #001 - Julio 2026

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

revistaelectronica.unlar.edu.ar

ISSN IMPRESO: 1515-5005

eISSN : 2362-4329

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas



UNLaR
Universidad Nacional de La Rioja

Secretaría de
Ciencia y Tecnología

Índice

Autoridades	3
Información UNLaR Ciencia	3
Editorial	4

Artículos

Determinación del espesor de la Cuenca al Este de la Ciudad de La Rioja	5
Diseño, implementación y evaluación de un escape room STEM en educación secundaria: un estudio de caso desde la extensión universitaria	15
Análisis de la eficiencia técnica y de escala de los recursos sanitarios provinciales en Argentina mediante Data Envelopment Analysis (DEA) y métricas per cápita	29
La enseñanza e-learning de Análisis Matemático I: Experiencia en el uso de estrategias digitales y su impacto en el rendimiento académico	46
Evaporación de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en la ciudad de Aimogasta, La Rioja, Argentina	60
El Museo de la UNLaR, mucho más que una exhibición	72
¿Cómo publicar en UNLaR Ciencia?	75

AUTORIDADES

RECTORA

Dra. Natalia Albarez Gómez

VICERRECTOR

Ing. Luis Oscar Oviedo

Departamento de Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Producción, al Medio ambiente y al Urbanismo: Luis Cabrera Villafañe

Departamento de Salud: Cecilia Sara Feryala

Departamento de Ciencias Aplicadas: Luis Alfredo Cabrera

Departamento de Ciencias Humanas y de Educación: Cynthia Fernández

Departamento de Sociales: María Inés Peralta

Departamento de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: Miguel Ángel Molina

Sede Regional Chepes: Nancy Lucero

Sede Regional Chamental: Stella Maris Quintero

Sede Regional Aimogasta: Luis Luna Mercado

Sede Regional Catuna: Gladys Viviana Muñoz

Sede Regional Villa Unión: Luis Ángel Brac

Revista Científica de la Universidad Nacional de La Rioja

Editor General

Nicolás Azzolini

Administración

Romina Carrizo Bosetti

Diseño y Compaginación

Rodolfo Dematte

Promoción y Difusión

Miqueas Blanco y Yamile Amaya

Corrección de Estilo

Daniel Portugal Nahum

3

La Revista UNLAR CIENCIA es una publicación de la Universidad Nacional de La Rioja, de convocatoria abierta y permanente, que tiene como objetivo la publicación de trabajos científicos de relevancia nacional e internacional dentro de las cuatro grandes áreas de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales, Ciencias de la Salud, Ciencias Sociales, Ciencias Humanas y de la Educación, Ciencias Agrarias, de la Ingeniería y de los Materiales y otras áreas afines.

<https://revistaelectronica.unlar.edu.ar/index.php/unlarciencia>

Catálogo Latindex: <https://latindex.org/latindex/ficha/>

©All Rights Reserved

República Argentina

Presentamos una nueva edición de la Revista UNLaR Ciencia, una publicación que reafirma el compromiso de la Universidad Nacional de La Rioja con la producción, difusión y transferencia del conocimiento científico como pilares fundamentales para el desarrollo de nuestra comunidad.

En un contexto en el que la ciencia y la tecnología enfrentan importantes desafíos, en esta edición se manifiesta el trabajo sostenido de nuestros investigadores, docentes, becarios y equipos interdisciplinarios, quienes, desde distintas áreas del conocimiento, generan aportes que responden a problemáticas concretas de nuestra provincia, de la región y del país.

Editorial

Astrid Mercado*

Los artículos reunidos en este número muestran la diversidad y la riqueza de las líneas de investigación que se desarrollan en nuestra Universidad. Se presentan experiencias innovadoras en educación mediada por tecnologías digitales, estudios sobre la eficiencia de los sistemas sanitarios, propuestas pedagógicas para la enseñanza de las disciplinas STEM, investigaciones orientadas al cuidado del ambiente mediante el tratamiento de efluentes industriales y aportes de la geofísica para una mejor comprensión del territorio

riojano. En conjunto, estos trabajos evidencian el carácter interdisciplinario de la investigación universitaria y su capacidad para generar conocimiento con impacto científico, social y productivo.

En esta edición se destaca el artículo del Ing. Manuel Mamani, a quien reconocemos como impulsor de la creación de la revista UNLaR Ciencia y una de las figuras fundamentales en el fortalecimiento de la actividad científica de nuestra Universidad. Su visión trascendió la generación de un espacio editorial: promovió con convicción la formación de investigadores, alentó a estudiantes y graduados a incorporarse a proyectos científicos y consolidó equipos de trabajo comprometidos con la academia y el desarrollo regional. Su legado continúa vigente en cada iniciativa de investigación que hoy impulsa nuestra institución. Como Secretaria de Ciencia y Tecnología, expreso un sentido homenaje post mortem a quien dedicó su vida a sembrar conocimiento y a fortalecer la cultura científica de la Universidad Nacional de La Rioja.

4

Desde la Secretaría de Ciencia y Tecnología continuamos impulsando políticas que promuevan el crecimiento de la investigación, la formación de recursos humanos y la consolidación de redes de cooperación académica e institucional. En este marco, la revista UNLaR Ciencia constituye un espacio de encuentro para visibilizar los avances científicos que se generan en nuestra institución y fomentar el intercambio de conocimientos entre investigadores, estudiantes y la sociedad.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los autores por confiar sus trabajos a esta publicación, a los evaluadores por la rigurosidad y el compromiso con el proceso editorial, y al equipo de la revista por su permanente dedicación para garantizar la calidad académica de cada edición.

Invito a nuestros lectores a recorrer estas páginas con la certeza de que cada artículo representa no solo una contribución al conocimiento, sino también el esfuerzo colectivo de una Universidad Pública comprometida con la generación de soluciones, la innovación y el desarrollo sostenible. Estoy convencida de que la ciencia constituye una herramienta indispensable para transformar realidades, construir una sociedad más justa y proyectar un futuro con mayores oportunidades para todos.

* Especialista en Docencia Universitaria. Ingeniera Agorindustrial.
Secretaria de Ciencia y Tecnología Universidad Nacional de La Rioja

Determinación del espesor de la Cuenca al Este de la Ciudad de La Rioja

5

Mamani, Manuel Jesús*

(*) Instituto de Energías Naturales Renovables
Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CENIIT)
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Universidad Nacional de La Rioja
Email: ienar.ceniit@unlar.edu.ar

UNLaR Ciencia
Revista Científica
Universidad Nacional de La Rioja
Edición N.º 52 - Vol. 1 - Núm. 1 - Año 22 - Julio. 2026
e-ISSN: 2362-4329 / ISSN: 1515-5005

Determinación del espesor de la Cuenca al Este de la Ciudad de La Rioja

Resumen

La cuenca sedimentaria ubicada al este de la ciudad de La Rioja, perteneciente al margen de las Sierras Pampeanas, presenta aún incertidumbres en cuanto a sus mecanismos de formación y deformación. Para avanzar en la comprensión de su evolución y geometría, resulta necesario aplicar técnicas de exploración geofísica de mayor alcance en profundidad, comparando los nuevos datos con la información existente.

En una primera etapa del estudio se realizaron tres perfiles magnetotelúricos (MT): dos con orientación oeste-este, ubicados en el norte ($29^{\circ}15'$ lat. S) y sur ($29^{\circ}33'$ lat. S) de la cuenca, y un tercero con dirección noreste-suroeste (entre $66^{\circ}38'52''$ y $66^{\circ}43'55''$ long. O), que intercepta a los anteriores. En este trabajo se presenta la inversión 2D del perfil MT orientado NE-SO, seleccionado por atravesar una porción significativa de la cuenca, con el objetivo de estimar los espesores sedimentarios y la profundidad del basamento.

Entre los resultados más relevantes se destaca una profundidad de cuenca que varía entre 3250 y 3800 metros, rellena por sedimentos cenozoicos, con variaciones según la latitud. Se interpreta también la presencia de un estrato paleozoico continuo en todo el perfil, con un espesor estimado entre 500 y 600 metros y una profundidad de alrededor de 1200 metros bajo el sondeo N4. En este punto, dicho estrato podría incluir unidades del Paleozoico y del Mesozoico. Además, se identifica una falla inversa con posible buzamiento hacia el este, ubicada entre los sondeos N4 y E4, y se infiere la existencia de un deslizamiento de rumbo hacia el este, que divide a la cuenca en una sección norte y otra sur.

6

Palabras clave:

Magnetotelúrica (MT), cuenca sedimentaria, espesor sedimentario, Sierras Pampeanas

Estimation of Basin Thickness East of La Rioja City, Argentina

Abstract

The sedimentary basin extending east of the city of La Rioja, belonging to the Sas Pampeanas margin, shows uncertainties in the mechanisms of its formation and deformation. To resolve these uncertainties and understand its evolution, geometry, etc., it is necessary to use more in-depth geophysical exploration, applying different methodologies and comparing it with existing information. To this end, three magnetotelluric (MT) profiles were initially drawn: two in a W-E direction, one in the northern part ($29^{\circ}15'$ S lat.) and another in the south of the basin ($29^{\circ}33'$ S lat.). The third profile was drawn in a NE-SW direction ($66^{\circ}38'52''$ - $66^{\circ}43'55''$ Ln. W), intersecting the previous ones. In this article, to obtain the sedimentary thicknesses and depths forming the basin, the 2D magneto-telluric inversion of the NE-SW profile is presented. This profile was selected because it traverses a large portion of the basin. Among the most important results is the basin depth of 3,250–3,800 m, filled with Cenozoic sediments, depending on the latitude within the profile. A Paleozoic stratum is interpreted as covering the entire profile, 500–600 m thick and 1,200 m below borehole N4; the latter could be a Paleozoic-Mesozoic stratum. Likewise, reverse faulting, possibly dipping to the east, is determined between boreholes N4 and E4, and finally, an eastward strike-slip is inferred, dividing the basin into a northern and southern section.

Keywords:

Magnetotellurics (MT), sedimentary basin, sedimentary thickness, Pampean Ranges

Introducción

La zona de estudio se encuentra en la provincia de La Rioja, en el centro-oeste de la República Argentina, y está comprendida entre los 29° 14' y 29° 49' de latitud sur, y los 66° 08' y 66° 56' de longitud oeste.

El desarrollo de La Rioja en los últimos años se ha acompañado de una explotación exhaustiva del agua subterránea, con proyecciones mayores hacia el futuro. Varios autores advirtieron que esta sobreexplotación generaría un desequilibrio en el balance hidrogeológico con la consiguiente caída de los niveles piezométricos. Este consumo progresivo reduciría el volumen almacenado de agua en los niveles superiores, encareciendo los bombeos y proponiendo un futuro cierto de escasez.

El agua precipitada en la sierra y en el cono mismo es escurrida superficialmente y parte es infiltrada a materiales porosos y permeables del cono aluvial de La Rioja. El agua constituye un bien esencial pero quizás escaso para el desarrollo y la vida futura de la ciudad. En los últimos años se inició un desarrollo importante del agro y la industria, acompañado de un consecuente crecimiento demográfico. Esto ha demandado un incremento en la explotación del agua subterránea. A esto se debe sumar planes de explotación futuros que en muy pocos años pretenden duplicar o triplicar el consumo actual.

Las cuencas ubicadas en el margen de las Sierras Pampeanas, como es el caso existente al E de la ciudad de La Rioja, han sido ampliamente estudiadas para caracterizar la distribución y el espesor de los sedimentos cuaternarios debido al interés en la localización de aguas subterráneas, principal recurso para el abastecimiento urbano y agrícola de la región. Desde el NE recibe aporte de los desagües del Salado del río homónimo que forma algunos bañados, pero ya fuera de la zona de influencia del cono aluvial. La quebrada de Los Sauces constituye la fuente de aporte hídrico escurrido y encauzado en el cono hoy colmatada de sedimentos, de allí se derivan importantes caudales para el sector agrícola y la población. Sin embargo, el aspecto estructural, de los mecanismos de formación y deformación no tuvo desarrollo similar. Se plantea en este trabajo el uso de una metodología de exploración geofísica, aportando información para una mejor comprensión de su evolución estructural, geometría y dinámica tectónica.

7

Materiales y Métodos

Antecedentes geológicos

Uno de los eventos geológicos más significativos en la región de estudio fue el levantamiento de las Sierras Pampeanas, incluyendo las Sierras de Velasco. Según Jordan y Allmendinger (1986), este proceso estuvo relacionado con un cambio en la inclinación de la subducción de la placa de Nazca, ocurrido hace aproximadamente 10 millones de años cuando descendía por debajo de Los Andes con una inclinación de 30°, luego, este ángulo tiende a disminuir acercándose a la horizontal lo que provocó un ablandamiento de la corteza, su posterior fracturación, y el consecuente levantamiento de las Sierras Pampeanas.

Entre la elevación de estas montañas y la subsecuente compresión, los valles así formados presentan cuencas quebradas (Jordan; 1995). Sismos ocurridos en el área, confirman que actualmente la región es tectónicamente activa. (Ver catálogos del INPRES; Araujo, et al; 2005).

Desde el aspecto geológico se destaca como elemento notable la presencia de las Sierras de Velasco, se encuentran al O del perfil en análisis, se corresponde con el estilo preponderante de las Sierras Pampeanas, en ellas se debe tener en cuenta, como rasgo estructural, la zona atravesada por fallas con direcciones NNE – SSW, NNW – SSE y en algunos casos W-E. Las primeras se evidencian donde se encuentran los sitios de sondeo, la última es la traza de la quebrada del río de La Rioja, que constituye la zona de descarga del agua superficial proveniente de la alta cuenca de alimentación del cono aluvial; este fallamiento W-E, divide a esta área de la Sierra en dos sectores, norte y sur con diferentes características. Hacia el norte los bloques han tenido mayor levantamiento con un máximo de altura del Co. El Manzano de 2618 m ubicado al N, y el Co. Casa de Piedra 2531 m al W del perfil geofísico, (ver Figura 1) además de ello tienen una magnitud regional probada por los niveles de terrazas respondiendo a los escalones tectónicos, a diferencia de lo que ocurre hacia el sur de la quebrada donde las alturas son menores. A la vertiente E de la Sierra se la reconoce como el Faldeo Oriental con una pendiente abrupta, tiene su origen debido a los movimientos de ascenso que elevaron el bloque de basamento cristalino, inclinados hacia el E con esta pendiente (Sosic, 1967). Este sistema forma escalones tectónicos, a diferencia de la ladera O que tiene una superficie inclinada hacia el NO y SO.

Para el Cenozoico el Cuartario más superficial, consiste de arenas y gravas, estos sedimentos fueron depositados en las series de abanicos aluvionales adyacentes al límite O, más elevado de la cuenca (E del Velasco) y se extienden en el área como potentes arenas. Bajo los estratos Cuartarios fue mapeado el Terciario dentro de la cuenca, por ejemplo, al NO de la Sa. del Velasco y en una cuenca estructural separada, el estrato terciario sería mayor a 3000 m de espesor y de edad Plioceno y Mioceno (Sosic, 1972).

Del Mesozoico no hay publicaciones que reporten su existencia, sólo en áreas cercanas fueron identificados algunos depósitos localizados de esta edad. Por lo tanto, esto mostraría la posible existencia en la cuenca. Al N de La Rioja, en la Prov. de Catamarca se identificaron intercalaciones de basaltos de 131 Ma (Rossello et al, 1999). Estos depósitos cretácicos yacerían a una distancia de 200 km de la cuenca riojana, sumado a ello las líneas sísmicas de los sondeos de YPF de Salinas Grandes lo interpreta basado en sus afloramientos como secuencias del Mesozoico localizados (Alvarez et al, 1989). Al S de La Rioja, las rocas Cretácicas fueron estudiadas por Schmidt et al (1995), al SE de las Sas Pampeanas en dos rangos separados. El primero en la región al S de la Sa. de Valle Fértil, cerca de San Luis (67° W a 68° W y 31° S a 32,5° S). El segundo lugar en las Sas. Pampeanas al Este de Sa. Chica (64° W y 39° S a 33° S), esta cuenca con tendencia N-S. Ambas cuencas, se identificaron con una geometría rift (Cretácicas) elongadas N-S, con fallamientos buzando al E. (Schmidt et al, 1995).

Con respecto a los depósitos paleozoicos del NO argentino, la secuencia Patquía- De La Cuesta superior cubriría enteramente la región riojana en la época de depositación Paleozoica (Fernandez-Seveso and Tankard, 1995). De acuerdo a estos autores surge el interrogante de que estas secuencias pueden haberse erosionado completamente en algunas áreas de la cuenca e incrementado en otras. Según Fisher dentro de la cuenca existen dos regiones, una al N de La Rioja y otra al S de la misma, donde encontramos depósitos mesozoicos localizados, al E del fallamiento inverso (bloques hundidos) mostrado en la Figura 1, al E del Velasco, estas fallas si bien tienen la misma dirección de rumbo, se localizarían a distancias variables del Velasco, la del N a una Longitud más al E que la del S, ambas ocurrieron durante el Terciario. Estos depósitos conformarían, como quedo dicho, una geometría de rift con un espesor variable. También interpreta que los sedimentos paleozoicos forman estratos de espesores semejantes en la cuenca (600m).

Antecedentes Geofísicos

Un antecedente importante, desde la óptica geofísica, tiene un ámbito de aplicación destinado a la investigación estructural, por las profundidades alcanzadas que comprende todo el espesor sedimentario, similar a los resultados de MT, son los datos que corresponden a perfiles sísmicos transversales a la cuenca y con dirección aproximada O – E y que fueron reprocesados en la Universidad de Cornell USA, donde muestran resultados que fueron interpretados por Fisher N.D. (2001). Según estos registros la mayoría de la cuenca estaría cubierta por sedimentos cuaternarios que impiden la observación directa del Terciario y estratos más viejos. Sin embargo a partir de los afloramientos cercanos, se estima una información general y algunos rangos de profundidades en la cuenca

El método MT utilizado consiste en registrar y luego comparar, en un mismo lugar, las componentes horizontales simultáneas del campo eléctrico y magnético naturales, el valor de la relación obtenida depende de la estructura electromagnética del subsuelo y su análisis permite obtener ese dato (Pous, Marcuello, 1989). Esta metodología de exploración, (MT), usa como fuente de excitación las perturbaciones electromagnéticas naturales que alcanzan la superficie de la tierra y sirven, para determinar la distribución de conductividad eléctrica en el subsuelo. Una pequeña parte de la onda electromagnética incidente penetra verticalmente difundiéndose en el medio y generando las corrientes telúricas. Las características de la fuente permiten alcanzar profundidades considerables en zonas donde otros métodos geo eléctricos tienen limitaciones en equipamiento y potencia.

En nuestro caso las señales, en el rango de 0.057 s. hasta 300 s., fueron registradas mediante el equipamiento Electromagnetic Instruments (EMI) donde las series temporales son registradas en ventanas de 512 puntos. Se midieron cinco señales en el sitio de sondeo (Ex, Ey, Hx, Hy, Hz), E es el campo eléctrico, H el magnético, todas las señales son preamplificadas, filtradas y postamplificadas, para ser digitalizadas y luego procesadas. La inversión de los datos de campo y la obtención de una estructura resistiva a partir

9

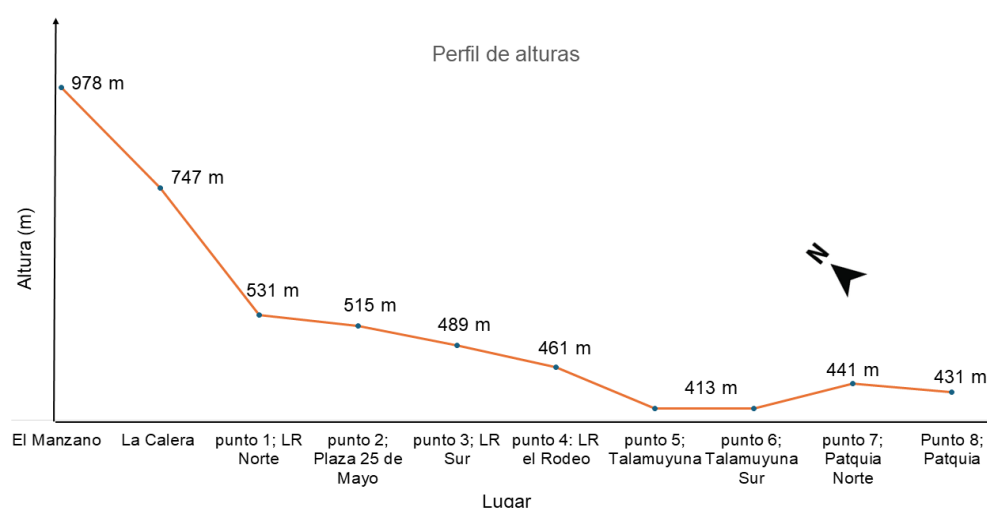


Figura 1: Sitios geográficos de la vertiente oriental de la Sierra de Velasco.

de los mismos, fue implementada en los programas de EMI por un algoritmo de regresión (Meju, M. 1992) para el cálculo de la solución óptima.). Luego se realizó el análisis espectral de las series temporales registradas a través del programa de procesamiento robusto de M-estimadores y otros métodos numéricos (Egbert, G.D., Booker, J.R. and Schultz, A., 1986; Chave, 1987). Como resultado del análisis espectral se obtuvieron dos pares de curvas por sondeo, correspondiente a la resistividad y fase en dirección principal de las estructuras y perpendicular a ellas, en función de la profundidad, así como otra información como lo son el “strike”, “skew”, “tipper”, diagramas polares, etc. En una etapa posterior se llevó a cabo la inversión 2D de estos resultados, a través del programa de inversión RRI (Torquil Smith and John Booker, 1991). Por último, se realizó un análisis minucioso de todos los resultados, seguida de su interpretación 2D.

Para cumplimentar el objetivo, en una primera etapa se realizaron tres perfiles magnetotelúricos (MT), dos en dirección O-E, uno en la parte norte (29°15' Lat. S) y otra en el sur de la cuenca (29°33' Lat. S). El tercer perfil se trazó en dirección NE-SO (66° 38' 52" - 66° 43' 55" Long. W), interceptando los anteriores. En este trabajo se presentan los resultados de la inversión 2D y la interpretación del último perfil debido a que es el que atraviesa toda la cuenca y el primero detalladamente estudiado hasta el momento. La distribución desde el N hacia el S: a) S.4Norte; b) S.4Este; c) S.3Este; d) S.2Este; e) S.1Este; f) S.3Sur, las distancias entre ellos: a - b: 9349m; b - c: 3760m; c - d: 4423m; d - e: 3202m; e - f: 13961m. Para la inversión 2D y su subsiguiente interpretación se consideraron seis sondeos MT registrados, denominados de N a S como: N4, E4, E3, E2, E1 y S3 (Figura 2).

Resultados Obtenidos

Como se puede observar en la Figura 3, luego del procesamiento e inversión 2D se llegó a interpretar una profundidad para la cuenca sobre el perfil magnetotelúrico NE-SO. Los sedimentos cuaternarios presentes en toda la cuenca, forman una capa constante a lo largo de la misma, con un espesor de 500 m y una resistividad eléctrica de 17-20 Ω m. Bajo estos sedimentos subyacen los sedimentos Terciarios (perteneciente al Cenozoico) conformando un potente estrato subdividido en distintas capas con resistividades variables, entre (4 -12 Ω m) y un espesor de (2750 -3300m), dependiendo a la latitud a la cual se trate, comparable con lo interpretado por Fisher. Seguidamente a estos sedimentos se interpreta un estrato paleozoico con espesor constante para la sección S del perfil de 500-600m y un espesor variable para la parte N de 500 a 1200m.

El fallamiento inverso interpretado en el norte del perfil, entre los sondeos N4 y E4, podría tratarse del interpretado por Fisher (2001) al E, como se indica en color marrón en la figura 2. Dicho fallamiento estaría involucrando hasta parte del terciario. Si observamos la Figura 2, podemos notar que el perfil MT, aquí interpretado marca una falla inversa casi paralela a la dirección de rumbo de la falla interpretada por Fisher, Podría estar pasando dos cosas: una que esta falla corresponde asociada al fallamiento interpretado al E, con un buzamiento al E ó que la falla interpretada anteriormente, estuviera interceptando al perfil y tuviese una dirección muy cercana a lo paralelo, quedando el N4 al oeste y los E4, E3 y E2, al E de ella.

Si observamos en la Figura 3, los estratos del sondeo N4 pertenecerían al bloque hundido de la falla, como se indica en la Figura 1 con respecto al Este de la misma y los estratos E4, E3, E2, corresponderían al bloque elevado (como ocurre con el área al O de la falla, según la Figura 1). Entre los sondeos E2 y E1 observamos un cambio en las profundidades de los diferentes estratos, al pasar de un sondeo al otro,

producto de un evento ocurrido en tiempos posteriores al fallamiento mencionado en el párrafo anterior. Si observamos la geología de superficie, observamos que la Sa. del Velasco se abrió en su sección norte y se quebró hacia el E, aproximadamente desde la latitud de La Rioja hacia el N. Esto seguramente generando presión sobre la cuenca provocando un deslizamiento hacia el E, de la mitad N de la Cuenca en épocas aún del Terciario, deslizamiento que dejó en contacto una región N levantada (por el fallamiento ocurrido con anterioridad) con otra región S hundida, posiblemente por el mismo fallamiento. Pero debido a que la cuenca se profundiza hacia el Norte, el rechazo en este desplazamiento no es tan grande (ver Figura 3, trazado en líneas cortadas).

Otro punto notable de la interpretación de la Figura 3, es que en el sector N del perfil, en la región hundida observamos un fuerte engrosamiento de la capa interpretada como Paleozoico, pero con resistividad menor que él. Con los antecedentes geológicos mostrados al principio, podría pensarse en un estrato el cual podría no ser solamente paleozoico, sino que estaríamos frente a un paquete de sedimentos mesozoico más Paleozoico. Este interrogante aún no está totalmente resuelto para este perfil, que estimamos será dilucidado cuando se complete el procesamiento y la interpretación de los otros dos perfiles restantes. En conjunto disminuirán la incertidumbre de la cuenca.

Conclusiones

El presente trabajo permitió caracterizar con detalle la estructura geológica de la cuenca de La Rioja a partir de datos magnetotélúricos procesados e interpretados en dos dimensiones. A través del análisis de los resultados se identificó un estrato cuaternario de espesor constante, del orden de los 500 metros, que refleja un período de estabilidad geológica sin grandes modificaciones estructurales. Por debajo, se delimitó un paquete sedimentario correspondiente al Cenozoico (Cuaternario más Terciario), cuyo espesor alcanza profundidades de hasta 3800 metros hacia el NE del perfil, evidenciando una cuenca que se profundiza en esa dirección.

11

Asimismo, se reconoció la presencia de una unidad paleozoica de espesor variable, entre 500 y 600 metros, aunque en el sector correspondiente al sondeo N4 esta unidad alcanzaría los 1200 metros, sugiriendo la posible superposición de sedimentos mesozoicos, lo que introduce una hipótesis relevante para futuras investigaciones en la zona. Uno de los aportes principales de este trabajo es la identificación de una falla inversa entre los sondeos N4 y E4, estructura que explicaría el engrosamiento de las unidades suprabasamentales en el bloque correspondiente al N4, ya sea por una menor erosión o por la acumulación diferencial de sedimentos antiguos.

Además, se infiere un deslizamiento de rumbo con dirección este, a la altura de los sondeos E1 y E2, que implicaría una partición de la cuenca en dos dominios estructurales con comportamientos diferenciados: uno al norte y otro al sur. Este hallazgo aporta una clave interpretativa para entender la evolución tectónica reciente de la región. El fallamiento WE mostraría el eje de rotación del sector N de la Sierra que se desplazó hacia el W como consecuencia de los esfuerzos de la evolución magmática.

Finalmente, es importante destacar que todos los resultados obtenidos muestran una coherencia notable con los datos sísmicos reprocesados previamente, lo cual valida y refuerza la metodología empleada. El estudio no solo contribuye a esclarecer aspectos estructurales profundos de la cuenca, sino que también ofrece insumos significativos para futuras evaluaciones hidrogeológicas, considerando el rol estratégico del agua subterránea en un contexto de creciente presión demográfica y productiva en la región.

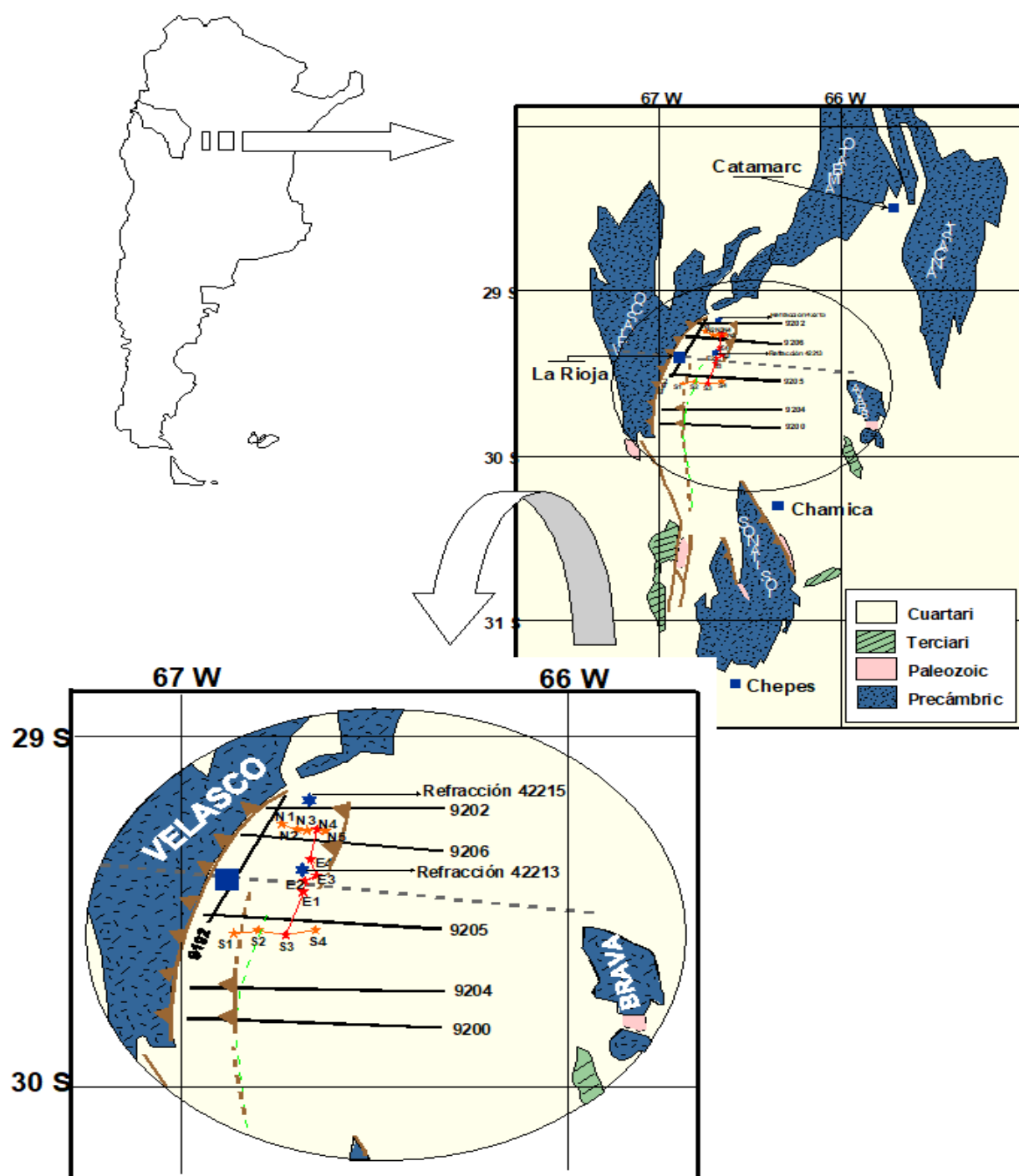


Figura 2: Ubicación de los sondeos magnetotelúricos MT: N1,N2,N3,N4,N5,E1,E2,E3,E4,S1,S2,S3 yS4, en colores rojos y naranjas. Líneas llena en negro traza de líneas sísmicas.

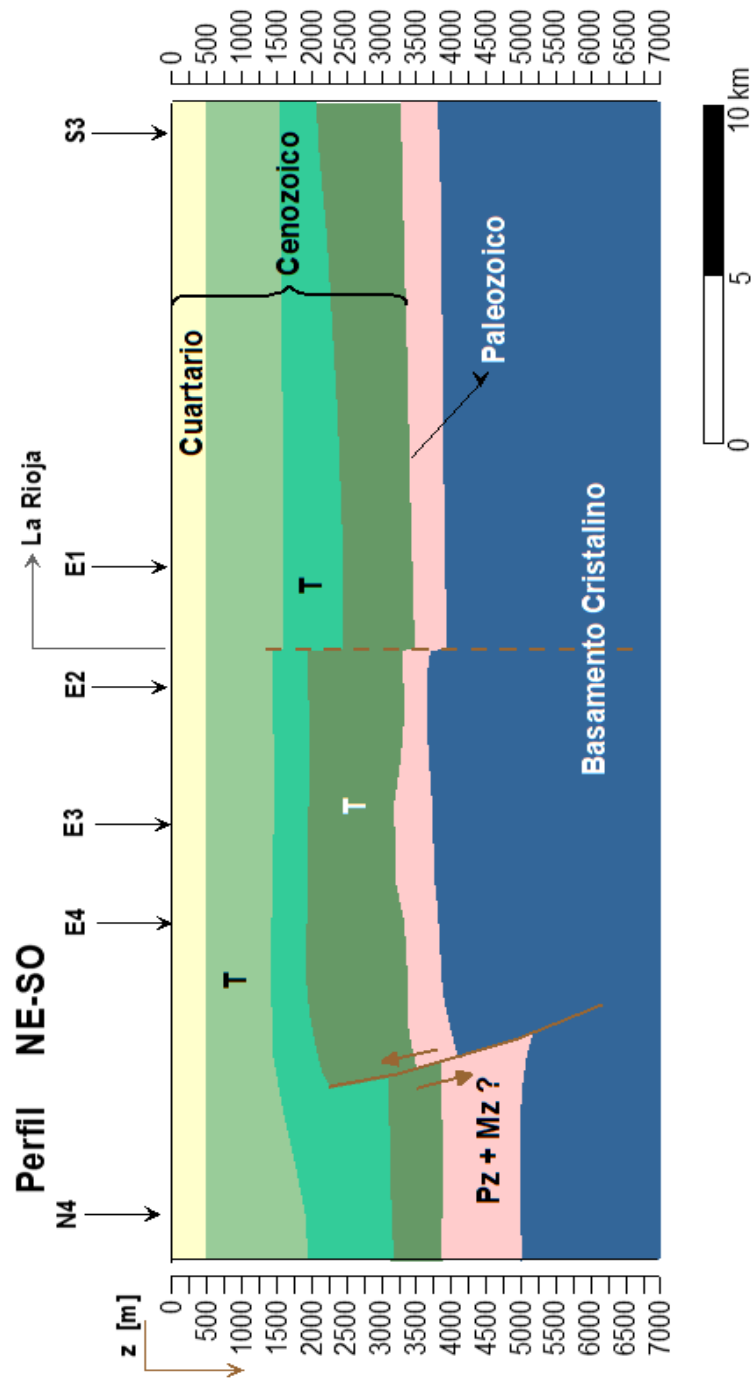


Figura 3: Interpretación de la Inversión Magnetotelúrica 2D. Trazo con línea cortada corresponde a un deslizamiento de rumbo de Oeste a Este. Línea llena corresponde a un fallamiento Inverso con posible buzamiento Este.

Referencias

- Alvarez, L., Fernandez Seveso, F., & Perez, M. A. (1989). Interpretación del subsuelo en los bolsones de Sierras Pampeanas en base a la información geofísica disponible y geología de superficie. Informe no publicado, YPF.
- Chave, A. D., Thomson, D., & Ander, M. (1987). On the robust estimation of power spectra, coherences, and transfer functions. *Journal of Geophysical Research*, 92(B1), 633–648. <https://doi.org/10.1029/JB092iB01p00633>
- Egbert, G. D., Booker, J. R., & Schultz, A. (1986). Robust estimation of power spectra, coherences, and transfer functions. *Journal of the Royal Astronomical Society*, 87, 173–194.
- Fernandez Seveso, F., & Tankard, A. J. (1995). Tectonics and stratigraphy of the Late Paleozoic Paganzo Basin of western Argentina and its regional implications. In A. J. Tankard, R. Suárez Soruco, & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum basins of South America* (AAPG Memoir 62, pp. 285–304). American Association of Petroleum Geologists.
- Fisher, N. D. (2001). [Master's thesis]. Cornell University.
- Jordan, T. E., & Allmendinger, R. W. (1986). The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286, 737–764.
- Jordan, T. E. (1995). Retroarc foreland and related basins. In C. Busby & R. Ingersoll (Eds.), *Tectonics of sedimentary basins* (pp. 331–362). Blackwell Scientific Publications.
- Meju, M. (1992). An effective ridge regression procedure for resistivity data inversion. *Computers & Geosciences*, 18(2–3), 99–118.
- Pous, J., & Marcuello, A. (2003). El método magnetotelúrico: Descripción y aportaciones en investigaciones de ámbito regional. *Boletín Geológico y Minero*, 114.
- Rossello, E. A., Mozetic, M. E., & López de Luchi, M. G. (1999). El basalto La Puerta de San José (Belén, Catamarca): Un nuevo testimonio del rifting cretácico en el noreste argentino. XIV Congreso Geológico Argentino (Salta), 194–196.
- Schmidt, C. J., Astini, R. A., Costa, C. H., Gardini, C. E., & Kraemer, P. E. (1999). Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation, and Neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. In A. J. Tankard, R. Suárez Soruco, & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum basins of South America* (AAPG Memoir 62, pp. 341–358). American Association of Petroleum Geologists.
- Sosic, M. V. J. (1972). Descripción geológica de la hoja 14D, Tinogasta (Boletín No. 129). Ministerio de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería, Dirección Nacional de Geología y Minería.
- Smith, T., & Booker, J. (1991). Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data. *Journal of Geophysical Research*, 96(B3), 3905–3922. <https://doi.org/10.1029/90JB02462>

14

Agradecimientos

A Josefina Huespe por las correcciones; Rodolfo Dematte por su ayuda.

Diseño, implementación y evaluación de un escape room STEM en educación secundaria: un estudio de caso desde la extensión universitaria

15

Dematte, Rodolfo (1,3)

Alba, Martin (2),

Avila, Laura (2);

Flores, Mercedes (2),

Delgado, Nicolas (2);

Huespe Josefina (3),

(1) Instituto de Energías Naturales Renovables. CENIIT. SECyT.
Universidad Nacional de La Rioja, Argentina

(2) DACEFyN. Universidad Nacional de La Rioja, Argentina

(3) Grupo IEMI. Facultad Regional Mendoza. Universidad
Tecnológica Nacional

Diseño, implementación y evaluación de un escape room STEM en educación secundaria: un estudio de caso desde la extensión universitaria

Resumen

La enseñanza de las disciplinas STEM en el nivel secundario enfrenta desafíos vinculados a la baja motivación estudiantil y a la predominancia de enfoques tradicionales que dificultan el aprendizaje. El presente trabajo analiza la implementación y evaluación de un escape room educativo con enfoque STEM en el nivel secundario, desarrollado en el marco de un proyecto de extensión universitaria. El estudio adopta un diseño exploratorio basado en un estudio de caso de carácter educativo, a partir de una intervención didáctica aplicada en dos instituciones de la ciudad de La Rioja, una de gestión pública y otra de gestión privada, con la participación de estudiantes de cuarto año. La propuesta se diseñó en coherencia con el currículo vigente y se orientó a promover la participación activa, el trabajo colaborativo y el aprendizaje significativo. Entiéndase como aprendizaje significativo, según la teoría de Ausubel, donde la estructura previa de conocimientos condiciona los nuevos conocimientos y experiencias. Para la recolección de datos se emplearon instrumentos que permitieron relevar percepciones de los estudiantes sobre la experiencia, la motivación y el proceso de aprendizaje. Los resultados evidencian una valoración positiva de la propuesta y un alto nivel de involucramiento. Se concluye que los escape rooms educativos constituyen una estrategia pertinente para la enseñanza STEM en educación secundaria y un dispositivo valioso en el marco de la extensión universitaria.

Palabras clave:

salas de escape educativas, educación secundaria, educación STEM, metodologías activas de aprendizaje, extensión universitaria

16

Design, Implementation, and Evaluation of a STEM Escape Room in Secondary Education: A University Extension Case Study

Abstract

Teaching STEM disciplines at the secondary school level faces several challenges, particularly those related to low student motivation and the predominance of traditional approaches that hinder learning. This study analyzes the implementation and evaluation of an educational STEM escape room at the secondary level, developed within the framework of a university extension project. The research adopts an exploratory design based on an educational case study, derived from a teaching intervention conducted in two institutions in the city of La Rioja, Argentina—one public and one private—with the participation of fourth-year students.

The proposal was designed in accordance with the current curriculum and aimed to promote active participation, collaborative work, and meaningful learning. Meaningful learning is understood, according to Ausubel's theory, as a process in which prior knowledge structures condition and support the incorporation of new knowledge and experiences. Data collection was carried out using instruments that captured students' perceptions regarding the experience, their motivation, and the learning process. The results show a positive evaluation of the proposal and a high level of student engagement. It is concluded that educational escape rooms represent a relevant strategy for STEM teaching in secondary education and a valuable tool within the framework of university extension.

Keywords:

educational escape rooms, secondary education, STEM education, active learning methodologies, university extension.

Introducción

En el campo de la investigación educativa actual, el uso de estrategias didácticas basadas en el juego ha adquirido una relevancia creciente, particularmente en los enfoques de enseñanza y aprendizaje vinculados a las áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática). En este marco, las salas de escape educativas se consolidan como una línea emergente de estudio, al integrar dinámicas lúdicas con objetivos pedagógicos claramente definidos. En el contexto universitario es ampliamente utilizado aumentando el rendimiento en el aprendizaje, con una diferencia más sustancial en el entorno gamificado y se observan cambios positivos en la motivación autónoma, la autoeficacia y la experiencia de juego (Ortiz-Rojas et al 2025). Lathwesen y Belova (2021) desarrollan un análisis exhaustivo sobre el potencial de estas propuestas, señalando que el juego y el aprendizaje mantienen una relación estrecha y que los escape rooms educativos constituyen una tendencia actual dentro de la comunidad educativa STEM, con especial proyección en el nivel secundario.

En el ámbito de las escuelas secundarias, diversos estudios destacan que el diseño de salas de escape educativas debe responder a criterios pedagógicos rigurosos. Veldkamp et al. (2020) sostienen que estas experiencias deben estar alineadas con el currículo vigente y estructurarse de manera tal que los estudiantes movilicen conocimientos y habilidades disciplinares para alcanzar los objetivos de aprendizaje propuestos. Asimismo, advierten que las diferencias individuales en los niveles de comprensión y razonamiento hacen necesaria la incorporación de sistemas de apoyo, como pistas preestablecidas, que permitan sostener la progresión del aprendizaje sin reducir el nivel de desafío. Otros aspectos relevantes señalados por estos autores incluyen la construcción de una narrativa significativa, la reutilización de los contenidos de las pruebas, el uso de materiales sostenibles y flexibles, y la garantía de una participación activa y equitativa dentro de los equipos de trabajo.

17

Desde una perspectiva de innovación educativa, Veldkamp et al. (2020) también enfatizan la importancia de la co-creación de estas propuestas junto al público objetivo, bajo condiciones educativas claramente delimitadas. Proponen, además, el desarrollo de espacios de aprendizaje híbridos que integren contenidos curriculares con múltiples perspectivas, considerando de manera articulada los roles del estudiante, del jugador y del educador. En términos de evaluación, recomiendan implementar ciclos sistemáticos de retroalimentación mediante encuestas posteriores a la experiencia y el uso de instrumentos específicos que permitan analizar tanto el desarrollo de la actividad como sus resultados pedagógicos.

En relación con la evaluación de este tipo de propuestas, Lathwesen y Belova (2021) señalan que la efectividad del aprendizaje no debe limitarse a la medición de resultados cognitivos mediante pruebas estadísticas, sino que resulta fundamental incorporar enfoques cualitativos que permitan analizar dimensiones tales como la motivación, el interés, la activación y el compromiso del estudiante. En esta línea, Rivard (2025) aporta estrategias concretas para el diseño e implementación de salas de escape educativas, mientras que Grepperud (2025) realiza una revisión crítica del uso de juegos en diversos contextos educativos y formula recomendaciones generales para el diseño de experiencias lúdicas. No obstante, estos autores coinciden en señalar la persistencia de una brecha en la investigación empírica respecto de los beneficios y desafíos de la aplicación de estas estrategias en el nivel secundario.

En el contexto normativo argentino, la Ley de Educación Nacional N° 26.206 establece la obligatoriedad del nivel secundario pero las provincias implementan las políticas y currículas específicas. En la provincia de La Rioja, lo regula el Régimen Académico de la Educación Secundaria del Ministerio de Educación, Ciencia

y Tecnología y de la Dirección General de Educación Secundaria, el cual habilita la implementación de propuestas pedagógicas alternativas orientadas a diversificar los modos de apropiación de los saberes, ampliar los espacios y tiempos de aprendizaje y promover la participación activa de los estudiantes. Estas políticas educativas favorecen el desarrollo de experiencias innovadoras que enriquecen la enseñanza, fortalecen el vínculo pedagógico entre docentes, estudiantes y saberes, y posibilitan la incorporación de actores externos a la institución escolar.

Estado del arte sobre el uso de escape rooms educativos en educación STEM

Diversos estudios han analizado el potencial de las salas de escape rooms educativas como estrategias didácticas innovadoras en el nivel secundario, particularmente en el campo de la educación STEM. La literatura coincide en señalar su impacto positivo en el desarrollo de habilidades cognitivas, sociales y motivacionales, así como en el incremento del compromiso y la participación estudiantil.

En este sentido, Bartlett y Anderson (2019) destacan que los escape rooms implementados en escuelas secundarias favorecen la colaboración, la comunicación y la adquisición de conocimientos disciplinares. Resultados similares son reportados por Babazadeh y Frigerio (s. f.), quienes subrayan que el valor pedagógico de estas propuestas se potencia cuando se integran de manera intencional y coherente al currículo escolar.

Desde una perspectiva centrada en el diseño pedagógico, diversos autores proponen concebir los escape rooms como experiencias de diseño iterativo. Lim (2024) y Eukel et al. (2021) coinciden en la necesidad de transitar etapas de planificación, pilotaje, evaluación y rediseño, con el objetivo de garantizar la coherencia pedagógica y la efectividad del aprendizaje. Asimismo, identifican principios de diseño clave, tales como la construcción de un contexto narrativo, la definición clara de reglas, la alineación con los objetivos de aprendizaje, el planteo de tareas auténticas, el compromiso activo de los estudiantes y la transferencia de los conocimientos a nuevas situaciones.

18

No obstante, la literatura también advierte sobre desafíos asociados a la implementación de estas estrategias. Stohlmann (2023), en el marco de escape rooms digitales, señala que la presión temporal puede limitar la reflexión y el aprendizaje profundo, recomendando la incorporación de instancias de debriefing (interrogación), puntos de control y retroalimentación formativa. Además, destaca la elevada carga de trabajo que implica el diseño de estas experiencias para el profesorado, sugiriendo la reutilización de recursos y la realización de pruebas piloto antes de su implementación a mayor escala.

Otro aspecto recurrente en la literatura refiere a la participación equitativa de los estudiantes dentro de los equipos. Diversos estudios señalan que, sin una organización adecuada, pueden generar desigualdades en la implicación de los participantes. En este marco, se recomienda la asignación de roles específicos, la división de tareas paralelas y el uso de instrumentos de evaluación y monitoreo —como rúbricas y listas de cotejo— que permitan explicitar objetivos, criterios de evaluación y sistemas de puntuación.

En el ámbito específico de la enseñanza de las ciencias, Giammatteo y Wrigley (2023) analizaron la implementación de un escape room educativo alineado con el currículo británico en estudiantes de 14–15 años, observando un aumento en la motivación y la participación. Si bien identifican desafíos operativos, concluyen que estas propuestas resultan viables y efectivas para mejorar los aprendizajes en el aula de ciencias. De manera consistente, Ross y Bell (2019) también destacan el potencial motivador

de los escape rooms educativos. Por su parte, Rocha y MacMullen (2024) aplicaron esta estrategia en una academia militar, evidenciando mejoras en el trabajo en equipo, el compromiso con los contenidos y la comprensión conceptual, más allá de la mera ejecución de procedimientos. Su estudio refuerza la idea de que los escape rooms favorecen aprendizajes significativos cuando están cuidadosamente diseñados y contextualizados, en tanto promueven la interacción sustantiva y no arbitraria entre los nuevos contenidos y los conocimientos previos de los estudiantes, así como una predisposición para aprender basada en el interés, condiciones centrales del aprendizaje significativo desde la visión clásica de Ausubel y sus desarrollos posteriores (Moreira, 2020).

Desde una mirada integradora, García-Tort y Monsalve-Lorente (2024) realizaron una revisión sistemática sobre el uso de escape rooms como metodología activa en educación STEM, concluyendo que existe evidencia consistente sobre el aumento de la motivación, el trabajo colaborativo, la vocación científica y el rendimiento académico. Sin embargo, advierten que factores como el tiempo requerido, la formación docente y la complejidad logística limitan su adopción generalizada.

Finalmente, Senka Borovac et al. (2024) analizan el impacto de la gamificación en los dominios cognitivo, afectivo y conductual, evidenciando una optimización de los resultados de aprendizaje. Un aporte relevante de este estudio es el uso de la escala GAMEX para evaluar la experiencia gamificada, lo que pone de relieve la importancia de contar con instrumentos válidos y confiables para la evaluación de estas propuestas. En esta línea, la escala desarrollada por Parra-González y Segura-Robles (2019) constituye una referencia clave para la evaluación sistemática de experiencias gamificadas.

Si bien la literatura revisada evidencia el potencial de los escape rooms educativos en contextos STEM, la mayoría de los estudios se desarrollan en marcos institucionales controlados o en experiencias diseñadas e implementadas exclusivamente por el profesorado escolar. En este sentido, se identifica una escasez de investigaciones que analicen estas estrategias en el marco de proyectos de extensión universitaria, entendidos como dispositivos estratégicos de articulación entre la universidad y el nivel secundario. 19

La extensión universitaria introduce particularidades relevantes, tales como la participación de equipos interdisciplinarios, la construcción conjunta de las propuestas, la adaptación a contextos diversos y la integración de las funciones sustantivas de la institución: docencia, investigación y extensión. Desde una perspectiva crítica, esta no se concibe como una función complementaria o puramente asistencial, sino como una dimensión constitutiva y situada del quehacer académico (Holliday, 2022).

Al respecto, Palavecino (2023) advierte que las prácticas extensionistas presentan una marcada heterogeneidad y que aún persiste un enfoque “difusionista-transferencista”, en el cual la universidad es percibida únicamente como proveedora de soluciones unilaterales. Frente a ello, la extensión crítica propone procesos reflexivos, dialógicos y colaborativos, orientados a la co-construcción de conocimiento y al fortalecimiento de la autonomía de los actores territoriales.

Bajo este enfoque, las experiencias de escape rooms educativos desarrolladas en este marco adquieren un valor diferencial. No solo funcionan como estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza STEM, sino que demuestran la viabilidad de transferir contenidos tradicionalmente considerados “duros” y abstractos —como las ciencias físicas y matemáticas— hacia el territorio escolar mediante dispositivos lúdicos. Frente a las metodologías tradicionales que suelen generar frustración o desinterés, esta propuesta busca actuar como un catalizador de vocaciones tempranas,

incentivando a los estudiantes de secundaria a interesarse por carreras del campo de la ingeniería.

Asimismo, el proyecto funciona como una ventana institucional que permite democratizar el acceso al conocimiento, visibilizando ante la comunidad escolar las actividades científicas y tecnológicas que se desarrollan en la Universidad Nacional de La Rioja (UNLaR). De este modo, se fortalece el lazo entre la educación superior y el nivel medio en la región a través de la producción de conocimiento situado. La limitada evidencia empírica sobre este tipo de intervenciones, especialmente en contextos latinoamericanos, refuerza la pertinencia del presente estudio.

En este contexto, el objetivo del trabajo es analizar el impacto pedagógico, motivacional y experiencial de la implementación de un escape room educativo con enfoque STEM en dos escuelas de nivel secundario, desarrollado en el marco de un proyecto de extensión universitaria de la UNLaR, evaluando tanto los aprendizajes promovidos como la participación y la experiencia de los estudiantes.

Materiales y Métodos

El presente estudio se enmarca en un diseño exploratorio de tipo mixto, basado en un estudio de caso de carácter educativo. La investigación se desarrolló como una intervención didáctica aplicada, implementada en el marco de un proyecto de extensión universitaria orientado a fortalecer la vinculación entre la universidad y el nivel de educación secundaria, a través de la incorporación de metodologías activas de aprendizaje.

La experiencia se desarrolló en dos instituciones de educación secundaria de la ciudad de La Rioja: una de gestión pública y otra de gestión privada. En ambos casos participaron estudiantes de cuarto año. En la escuela de gestión pública participaron un total de 40 estudiantes, mientras que en la de gestión privada participó un grupo de 30 estudiantes.

Las instituciones seleccionadas comparten un marco curricular común, regulado por el Ministerio de Educación de la provincia de La Rioja, en consonancia con lo establecido por la Ley de Educación Nacional N.º 26.206 y la Ley de Educación Provincial N.º 8.678, que definen la obligatoriedad del nivel secundario y promueven políticas educativas orientadas a garantizar la inclusión, la permanencia y el egreso de los estudiantes.

En este marco normativo, la educación secundaria obligatoria en la provincia se organiza a partir de distintas orientaciones y modalidades, y establece pautas para la planificación de la enseñanza basadas en el diagnóstico pedagógico de cada grupo, la consideración de los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios (NAP) y los Diseños Curriculares Provinciales. Asimismo, se promueve que los docentes definan estrategias metodológicas y de evaluación coherentes con los aprendizajes prioritarios de cada período lectivo, así como un seguimiento continuo de los procesos de aprendizaje, que permita identificar avances, dificultades y la necesidad de redefinir oportunamente las propuestas de enseñanza.

La intervención didáctica analizada en este estudio se inscribe en dicho marco, buscando contribuir al desarrollo de prácticas pedagógicas innovadoras que favorezcan el aprendizaje significativo y la participación activa de los estudiantes, en consonancia con los principios establecidos por la normativa educativa vigente.

La participación en la investigación fue voluntaria y anónima, garantizándose en todo momento la confidencialidad de las respuestas y el uso de los datos con fines exclusivamente académicos. Previamente a la recolección de la información, los participantes fueron informados sobre los objetivos del estudio, el carácter no obligatorio de su participación y el tratamiento de los datos. En este marco, se obtuvo el consentimiento informado de los participantes, asegurando su conformidad para participar en la investigación, aun cuando los resultados fueran analizados y presentados de manera agregada y anónima.

La investigación se estructuró a partir de una secuencia de tareas y procedimientos metodológicos orientados a la implementación de la intervención didáctica y al posterior análisis de los datos recogidos.

Diseño e implementación de la intervención

Como primera tarea, se diseñó una sala de escape educativa con enfoque STEM, alineada con los contenidos curriculares correspondientes al cuarto año del nivel secundario. El diseño de la actividad contempló la definición de objetivos de aprendizaje, la elaboración de una narrativa contextualizada y la construcción de desafíos interconectados que requerían la aplicación de conocimientos científicos, tecnológicos y matemáticos, así como el trabajo colaborativo.

Diseño de la sala de escape educativa

El diseño de la sala de escape educativa se realizó tomando como referencia los programas y contenidos curriculares correspondientes al cuarto año del nivel secundario, específicamente de las áreas de Física, Matemática, Ciencias Naturales y Química. Estas disciplinas se encuadran dentro del enfoque STEM, dado que Física y Química corresponden al área de Science, Matemática al área de Mathematics, y los contenidos de Ciencias Naturales aportan una perspectiva científica integradora. Si bien no se abordaron contenidos específicos de Ingeniería, la propuesta promovió habilidades propias de este campo, tales como la resolución de problemas, el razonamiento lógico y el trabajo colaborativo. 21

El diseño de la intervención se desarrolló a partir de reuniones de planificación entre el equipo extensionista universitario y los docentes de las instituciones participantes, en las que se definieron los objetivos de aprendizaje, los contenidos a trabajar y la estructura general de la actividad. Posteriormente, se elaboraron los desafíos y materiales necesarios, y se realizaron instancias de ensayo y prueba piloto con estudiantes que no formaron parte de la experiencia investigada, con el fin de ajustar la dificultad de las consignas, verificar la claridad de las instrucciones y estimar los tiempos de resolución.

La sala de escape se organizó en cuatro estaciones de trabajo, cada una asociada a una de las áreas disciplinares, las cuales podían resolverse de manera secuencial. En cada estación, los estudiantes debían superar un desafío específico para obtener un número clave, necesario para avanzar en la actividad:

- 1- Matemática: resolución de ejercicios relacionados con funciones cónicas, aplicando conceptos teóricos a situaciones prácticas (ver Figura 1a).
- 2- Ciencias Naturales: identificación y análisis de cadenas alimentarias o tróficas, reconociendo los distintos niveles y relaciones entre organismos (ver Figura 1c).
- 3- Física: resolución de una situación problemática vinculada al cálculo de la velocidad, a partir del análisis de datos proporcionados (ver Figura 1b).

4- Química: resolución de un problema de estequiometría, que implicaba el uso de relaciones cuantitativas entre reactivos y productos (ver Figura 1d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Diseño de los juegos utilizados en las salas de escape educativas orientadas a STEM en escuelas secundarias.

22

La dinámica de la sala de escape incorporó un componente temporal competitivo, estableciendo que el grupo que lograra completar correctamente la actividad en el menor tiempo resultaría ganador. Asimismo, se contempló la posibilidad de solicitar comodines o ayudas, los cuales implicaban una penalización de dos minutos por cada uso, con el objetivo de equilibrar el desafío y promover la autonomía en la resolución de los problemas.

Este diseño buscó integrar contenidos curriculares, habilidades STEM y elementos lúdicos, configurando una experiencia de aprendizaje activo coherente con los objetivos del proyecto de extensión universitaria.

Ejecución de la propuesta

La intervención se implementó en el aula durante una sesión de duración en función del tiempo de demora de cada equipo, en la cual los estudiantes fueron organizados en pequeños grupos de 4 o 5 miembros. Cada grupo debía resolver una serie de pruebas para avanzar en la actividad, utilizando los materiales provistos y siguiendo las consignas establecidas. Durante el desarrollo de la sala de escape, el equipo docente y extensionista cumplió un rol de facilitador, brindando orientaciones generales y supervisando el proceso.

Recogida de datos

Finalizada la intervención, se llevó a cabo la recogida de datos mediante la administración de un cuestionario ad hoc, previamente diseñado para este estudio. El instrumento permitió relevar información cuantitativa y cualitativa sobre la percepción del alumnado respecto a la experiencia, el aprendizaje alcanzado, el nivel de motivación, el trabajo en equipo y la dificultad de las pruebas.

Asimismo, se analizaron las respuestas correspondientes a los ocho ítems del cuestionario administrado al finalizar la experiencia, los cuales indagaban sobre los siguientes aspectos:

- Experiencia general: valoración global de la sala de escape.
- Aprendizaje: percepción sobre el aprendizaje o refuerzo de conceptos durante la actividad.
- Diversión: nivel de disfrute experimentado durante la participación.
- Trabajo en equipo: grado en que la actividad fomentó el trabajo colaborativo.
- Dificultad: percepción del nivel de complejidad de las pruebas.
- Pista favorita: identificación de la prueba o pista más valorada (respuesta abierta).
- Sugerencias: propuestas de mejora para futuras ediciones de la sala de escape (respuesta abierta).
- Valoración final: recomendación de la experiencia a otros estudiantes, en una escala del 1 al 10.

Las respuestas fueron recopiladas de forma individual y anónima, asegurando condiciones homogéneas de aplicación para todos los participantes.

Para determinar la confiabilidad y consistencia interna del instrumento de recolección de datos diseñado ad hoc, se calculó el coeficiente de Alfa de Cronbach a partir de las variables ordinales ligadas a la experiencia gamificada (Experiencia general, Aprendizaje percibido, Diversión, Trabajo en equipo y Dificultad). Para la muestra global unificada (N=70), el análisis arrojó un coeficiente general de $\alpha=0.749$, demostrando una consistencia interna aceptable y estadísticamente estable para los propósitos del estudio. Al discriminar por institución, se observó un comportamiento homogéneo en la fiabilidad del cuestionario, registrándose un $\alpha=0.751$ en la escuela de gestión pública (n=40) y un $\alpha=0.741$ en la escuela de gestión privada (n=30).

23

Análisis de datos y métricas utilizadas

Los datos obtenidos a partir de las preguntas cerradas del cuestionario fueron analizados mediante estadística descriptiva, utilizando como métricas principales: las frecuencias absolutas y relativas, porcentajes y valores medios. Estos indicadores permitieron describir las tendencias generales en las valoraciones del alumnado sobre la actividad.

Las respuestas a las preguntas abiertas fueron sometidas a un análisis cualitativo de contenido, de carácter inductivo. Para ello, se procedió a la lectura exhaustiva de las respuestas, la identificación de unidades de significado y la posterior categorización de los datos, con el fin de detectar temas recurrentes y patrones comunes en las opiniones de los estudiantes.

Procedimientos de control y tratamiento de la información

El análisis de los datos se realizó de manera sistemática, registrándose los resultados en matrices de análisis que facilitaron la organización y comparación de la información obtenida. Dado el carácter exploratorio del

Tabla 1. Distribución de frecuencias de la valoración general por institución.

Valoración de la experiencia	Escuela de gestión pública n (%)	Escuela de gestión privada n (%)
Excelente	12 (30,0 %)	14 (46,7 %)
Muy buena	18 (45,0 %)	12 (40,0 %)
Buena	6 (15,0 %)	2 (6,7 %)
Regular	4 (10,0 %)	1 (3,3 %)
Mala	0 (0,0 %)	1 (3,3 %)

Tabla 2. Distribución de frecuencias de la percepción del aprendizaje durante la sala de escape por institución

Percepción del aprendizaje	Escuela de gestión pública n (%)	Escuela de gestión privada n (%)
Sí, mucho	12 (30,0 %)	7 (23,3 %)
Sí, un poco	22 (55,0 %)	17 (56,7 %)
No estoy seguro/a	5 (12,5 %)	4 (13,3 %)
No aprendí nada nuevo	1 (2,5 %)	2 (6,7 %)
Total	40 (100 %)	30 (100 %)

24

Tabla 3. Comparación del nivel de dificultad percibido entre ambas escuelas.

Nivel de dificultad	Escuela de gestión pública n (%)	Escuela de gestión privada n (%)
Adecuado	17 (42,5 %)	12 (40,0 %)
Difícil	18 (45,0 %)	15 (50,0 %)
Muy difícil	4 (10,0 %)	3 (10,0 %)
Fácil	1 (2,5 %)	0 (0,0 %)
Total	40 (100 %)	30 (100 %)

estudio, no se realizaron pruebas estadísticas inferenciales ni cálculos de significatividad, priorizándose una interpretación descriptiva y contextualizada de los resultados.

Resultados

Experiencia general de la sala de escape

En ambas instituciones predominó una valoración positiva de la experiencia. En la escuela de gestión privada la mayoría de las respuestas se concentró en las categorías “Excelente” y “Muy buena”, mientras que en la escuela de gestión pública se observó una mayor dispersión de respuestas, incluyendo valoraciones “Buena” y “Regular” (Tabla 1).

Percepción del aprendizaje

En relación con la percepción del aprendizaje, los resultados indican que la mayoría del alumnado en ambas instituciones manifestó haber aprendido o reforzado contenidos durante la actividad. En la escuela de gestión pública, el 85,0 % de los estudiantes indicó haber aprendido “mucho” o “un poco”, mientras que en la privada este porcentaje fue del 80,0 %. En ambas escuelas, las respuestas de incertidumbre (“No estoy seguro/a”) se situaron en valores similares, al igual que las respuestas que indicaron no haber aprendido nada nuevo, las cuales fueron minoritarias (Tabla 2).

Diversión percibida

25

Los niveles de diversión reportados fueron elevados en ambas instituciones. En la escuela de gestión privada predominó la categoría “Mucho”, mientras que en la escuela de gestión pública se distribuyeron principalmente entre “Mucho” y “Bastante”, con algunos casos de “Poco”.

Trabajo en equipo

En ambas escuelas, la mayoría de los estudiantes consideró que la actividad fomentó el trabajo en equipo, destacándose la opción “Sí, totalmente”. Sin embargo, en la pública se registró un mayor número de respuestas en las categorías “Algo” y “Poco” en comparación con la escuela privada.

Nivel de dificultad percibido

El nivel de dificultad fue valorado mayoritariamente como “Difícil” en ambas instituciones. En la de gestión privada se observaron además respuestas en la categoría “Muy difícil”, mientras que en la de gestión pública, se registró una mayor proporción de respuestas “Adecuado”. Se identificaron también algunos casos de “Fácil”, de forma puntual (ver Tabla 3).

Pruebas o pistas preferidas

En las respuestas abiertas, los estudiantes de ambas instituciones mencionaron con mayor frecuencia las pruebas correspondientes a Matemática, Física y Química. En la escuela de gestión privada se

observó una mayor concentración de menciones a Matemática y Física, mientras que en la de gestión pública se registró una distribución más equilibrada entre las distintas áreas.

Valoración global de la experiencia

La valoración final de la experiencia mostró niveles elevados de recomendación en ambas instituciones. En la escuela de gestión pública, el 75,0 % de los estudiantes otorgó puntuaciones de 9 o 10, concentrándose principalmente en la valoración máxima (50,0 %). En la escuela de gestión privada, el 56,6 % de las respuestas se ubicó en los valores 9 y 10, siendo también la puntuación 10 la más frecuente (43,3 %).

Las puntuaciones intermedias (7 y 8) representaron el 20,0 % de las respuestas en la pública y el 30,0 % en la privada.

Discusión

El presente estudio exploratorio permitió analizar la percepción del alumnado de nivel secundario sobre una propuesta didáctica basada en una sala de escape educativa, implementada en dos instituciones con diferente modalidad de gestión. Los resultados evidencian una valoración global positiva de la experiencia en ambas escuelas, en concordancia con investigaciones previas que destacan el potencial de las metodologías activas y lúdicas para favorecer la motivación y la implicación estudiantil.

La elevada concentración de respuestas en las categorías “Excelente” y “Muy buena” sugiere que la sala de escape fue percibida como una propuesta atractiva. No obstante, la mayor dispersión observada en la escuela de gestión pública con presencia de valoraciones intermedias, podría vincularse a diferencias contextuales, por ejemplo, experiencias previas con metodologías innovadoras, aspectos señalados por la literatura sobre educación secundaria e inclusión educativa.

26

En relación con la percepción del aprendizaje, la mayoría del alumnado manifestó haber aprendido o reforzado contenidos, lo cual resulta relevante considerando el carácter no evaluativo de la actividad. Este resultado refuerza el potencial de las salas de escape educativas para promover aprendizajes significativos mediante la resolución de problemas y la aplicación de saberes en contextos desafiantes. Las respuestas de incertidumbre o ausencia de aprendizaje percibido, aunque minoritarias, ponen de manifiesto la necesidad de complementar estas experiencias con instancias de reflexión y metacognición.

Los elevados niveles de motivación y la preferencia reportada por las pruebas de Matemática y Física adquieren un significado central si se considera que el propósito del artículo es documentar experiencias de extensión desde cátedras de ciencias duras. El uso del juego demostró que es posible desmitificar la complejidad infranqueable de la Física y la Matemática en la escuela secundaria. Al transformar ecuaciones estáticas en desafíos dinámicos y colaborativos, la intervención no solo reforzó contenidos, sino que operó como una estrategia de orientación vocacional implícita, diseñada para despertar el interés por las ingenierías. Esto coincide con lo planteado por García-Tort y Monsalve-Lorente (2024), quienes señalan que la contextualización lúdica en STEM estimula la vocación científica, transformando la percepción de la universidad —en este caso, la UNLaR— de un entorno lejano a un espacio accesible, articulado y promotor de la ciencia situada.

La predominancia de la percepción de dificultad como ‘Difícil’ (45.0% en la escuela de gestión pública

y 50.0% en la de gestión privada) junto con la introducción de un sonido de alerta para simular tensión abre un debate relevante frente al estado del arte. Mientras que Stohlmann (2023) advierte que la presión temporal en salas de escape puede limitar la reflexión profunda y el aprendizaje conceptual, los datos de este estudio muestran que el 80% o más de los estudiantes sintió que aprendió ‘mucho’ o ‘un poco’ (Tabla 2). Esto sugiere que, cuando los desafíos de ciencias duras están correctamente articulados con el diseño de materiales físicos y lógicos concretos, la tensión controlada no bloquea el desempeño, sino que actúa como un dinamizador del compromiso conductual, un fenómeno que coincide con las optimizaciones en el dominio afectivo descritas por Senka Borovac et al. (2024).

La alta valoración global de la experiencia, junto con la preferencia por pruebas vinculadas a Matemática, Física y Química, sugiere que la contextualización lúdica de contenidos STEM puede contribuir a una percepción más positiva de estas disciplinas.

En conjunto, los hallazgos respaldan la pertinencia de la sala de escape educativa como estrategia didáctica en el marco de la extensión universitaria, aunque se reconoce la necesidad de estudios posteriores con diseños metodológicos más robustos que permitan profundizar y ampliar estos resultados.

Finalmente, el hecho de que la mayoría del alumnado reporte diversión y aprendizaje en áreas duras demuestra que el escape room funcionó como un organizador previo o un puente cognitivo en los términos de la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (Moreira, 2020). Al conectar problemas matemáticos y químicos con una narrativa lúdica e interactiva, se generó una ‘predisposición para aprender’ basada en el interés intrínseco, rompiendo con el aprendizaje memorístico o mecánico que usualmente caracteriza a la enseñanza tradicional de las ciencias exactas. Como indican Rocha y McMullen (2024), este tipo de intervenciones contextualizadas promueven interacciones sustantivas con las estructuras de conocimiento previas de los estudiantes, logrando que conceptos abstractos cobren un sentido práctico e inmediato

27

Conclusiones

El estudio exploratorio permitió analizar la percepción del alumnado de educación secundaria sobre la implementación de una sala de escape educativa en el marco de un proyecto de extensión universitaria, aplicada en dos instituciones con distinta modalidad de gestión. Los resultados evidencian una alta aceptación general de la propuesta, tanto en la experiencia global como en la valoración final, lo que sugiere su pertinencia como estrategia didáctica para el nivel secundario.

La mayoría de los estudiantes manifestó haber aprendido o reforzado contenidos, así como haber experimentado altos niveles de diversión y trabajo en equipo, lo que refuerza el potencial de las salas de escape educativas como metodologías activas, especialmente en la enseñanza de disciplinas STEM. El nivel de dificultad fue percibido mayoritariamente como desafiante pero adecuado, indicando un equilibrio entre exigencia cognitiva y accesibilidad.

Desde la perspectiva de la extensión universitaria, la experiencia resulta relevante por favorecer la vinculación entre la universidad y la escuela secundaria mediante prácticas pedagógicas innovadoras. No obstante, los resultados deben interpretarse con cautela debido al carácter exploratorio del estudio y al uso de instrumentos basados en la percepción del alumnado. Se sugiere que futuras investigaciones incorporen diseños más robustos que permitan evaluar el impacto del aprendizaje de manera objetiva y sostenida en el tiempo.

Referencias

- Babazadeh, M., & Frigerio, M. F. (n.d.). Enhancing Problem-Solving Skills with Educational Escape rooms: a Middle School Case Study. <https://doi.org/10.34190/gbl.21.038>
- Bartlett, K. A., & Anderson, J. (2019). Gaming to Learn: Bringing Escape rooms to the Classroom (pp. 1–27). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9438-3.CH001>
- Borovac Zekan, S., Russo, A., & Roje, A. (2024). Leveraging Gamification Using Escape rooms to Improve Students' Motivation and Learning Experience. *Advances in Logistics, Operations, and Management Science Book Series*, 203–218. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3057-9.ch013>
- Congreso de la Nación Argentina. (2006). Ley de Educación Nacional N.º 26.206. Recuperado de <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=123542>
- Eukel, H. N., & Morrell, B. L. M. (2021). Ensuring Educational Escape-Room Success: The Process of Designing, Piloting, Evaluating, Redesigning, and Re-Evaluating Educational Escape rooms: Simulation & Gaming, 52(1), 18–23. <https://doi.org/10.1177/1046878120953453>
- Giammatteo, L., & Wrigley, R. L. (2023). Fostering Engagement in Science with Escape rooms. *World Journal of Educational Research*, 10(5), p94. <https://doi.org/10.22158/wjer.v10n5p94>
- Grepperud, P. (2025). Educational escape games in primary and secondary education: a framework synthesis review. *Education Inquiry*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/20004508.2025.2476271>
- Jara Holliday, O. (2022). Recrear y reinventar la extensión universitaria a partir de otros fundamentos y realidades. *Inspiraciones desde el centenario del nacimiento de Paulo Freire. +E: Revista de Extensión Universitaria*, 12(16), e0008. doi: 10.14409/extension.2022.16.Ene-Jun.e0008
- Lathwesen, C., & Belova, N. (2021). Escape rooms in STEM teaching and learning: A prospective field or a declining trend? A literature review. *Education Sciences*, 11(6), 308. <https://doi.org/10.3390/educsci11060308>
- Legislatura de la Provincia de La Rioja. (2014). Ley de Educación Provincial N.º 8.678. Recuperado de <https://ceadel.org.ar/centrodoc/?p=444>
- Lim, I. (2024). A design framework for educational escape rooms in STEM: CREATE. *Research in Science & Technological Education*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2431273>
- Moreira, M. A. (2020). Aprendizaje significativo: La visión clásica, otras visiones e interés. *Proyecciones*, (14). <https://doi.org/10.24215/26185474e010>
- Ortiz-Rojas, M., Chiliza, K., Valcke, M. et al. Cómo la gamificación impulsa el aprendizaje en la educación superior STEM: un estudio de métodos mixtos. *IJ STEM Ed* 12 , 1 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00521-3>
- Palavecino, V. A. (2023). Repensando la práctica extensionista desde el modelo de la extensión crítica. *Revista Masquedós*, 8(10), 1-12. doi:10.58313/masquedos.2023.v8.n10.278.
- Parra-González, M. E., & Segura-Robles, A. (2019). Traducción y validación de la escala de evaluación de experiencias gamificadas (GAMEX). *Bordón. Revista de Pedagogía*, 71(4), 87–99. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2019.70783>
- Rivard, R. S. (2025). Development and Implementation of an Educational STEM Escape Room to Improve Student Engagement with Course Material and Program Recruitment. *Journal of College Science Teaching*, 54(1), 57–62. <https://doi.org/10.1080/0047231X.2024.2402389>
- Rocha, B., & McMullen, K. (2024). Mechanics Escape Room: Escaping the Monotony of Solving Problems. *Journal of Civil Engineering Education*. <https://doi.org/10.1061/jceecd.eieng-2032>
- Ross, R., & Bell, C. A. (2019). Turning the classroom into an escape room with decoder hardware to increase student engagement. 1–4. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8848020>
- Stohlmann, M. (2023). Mathematical digital escape rooms. *School Science and Mathematics*, 123(1), 26–30. <https://doi.org/10.1111/ssm.12564>

Análisis de la eficiencia técnica y de escala de los recursos sanitarios provinciales en Argentina mediante Data Envelopment Analysis (DEA) y métricas per cápita

29

Nievas, Claudia Mariela (1)

Tapia, Angelina Belén (2)

(1) <https://orcid.org/0000-0002-9144-4226>.

Universidad Nacional de La Rioja (UNLAR).

Instituto de Investigación en Ciencias de la Salud Humana. (IICSHUM).

Email: marielanievas04@hotmail.com. cmnievas@unlar.edu.ar

(2) <https://orcid.org/0000-0003-3516-0891>. Universidad Torcuato Di Tella

(UTDT) IAE Business School

Análisis de la eficiencia técnica y de escala de los recursos sanitarios provinciales en Argentina mediante Data Envelopment Analysis (DEA) y métricas per cápita

Resumen

Introducción: El estudio de la ineficiencia en la utilización de recursos sanitarios constituye un desafío central para la gestión de los sistemas de salud, especialmente en contextos de heterogeneidad territorial. Evaluar la eficiencia relativa de las provincias argentinas permite identificar brechas estructurales y orientar políticas públicas de manera informada. **Objetivos:** Caracterizar la eficiencia técnica y de escala de los sistemas de salud provinciales en Argentina, integrar indicadores per cápita para contextualizar los resultados y diferenciar entre ineficiencia técnica y problemas de escala. **Diseño metodológico:** Se realizó un estudio transversal comparativo utilizando Data Envelopment Analysis (DEA) en dos modelos: DEA-CCR (rendimientos constantes de escala) y DEA-BCC -VRS- (rendimientos variables de escala). Los inputs incluyeron médicos y camas por 1.000 habitantes, mientras que los outputs fueron consultas, egresos y nacimientos por 1.000 habitantes. Los puntajes de eficiencia se complementaron con análisis de indicadores per cápita para contextualizar la producción sanitaria relativa. **Resultados:** Bajo DEA-CCR, siete provincias alcanzaron eficiencia técnica global: Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza y Córdoba. El modelo DEA-BCC incorporó como plenamente eficientes a La Pampa, Salta y Tierra del Fuego, evidenciando que sus brechas respecto a CCR se deben principalmente a problemas de escala. Provincias como La Pampa, La Rioja, San Juan y Jujuy mostraron alta producción relativa con dotaciones moderadas, mientras que CABA, Santa Fe y Córdoba presentaron sobredotación de recursos sin niveles proporcionales de outputs. Santiago del Estero, Chaco y Formosa evidenciaron ineficiencia estructural por sub-capacidad. Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro y Santa Cruz presentaron simultáneamente ineficiencia técnica y problemas de escala. **Discusión:** Los resultados destacan la importancia de diferenciar entre ineficiencia técnica y de escala. La integración de indicadores per cápita permite matizar el análisis considerando presión demográfica y demanda sanitaria. Provincias con alta dotación, pero baja producción muestran des-economías de escala; las de dotación moderada y alta producción reflejan eficiencia relativa; las de baja dotación requieren fortalecimiento de infraestructura y capital humano. **Conclusiones:** Existen asimetrías territoriales significativas en dotación y utilización de recursos sanitarios en Argentina. La evaluación combinada DEA-CCR y DEA-BCC, junto con indicadores per cápita, permite identificar fuentes de ineficiencia, priorizar intervenciones y orientar políticas de planificación federal, redistribución de recursos y fortalecimiento de capacidades provinciales.

30

Palabras clave

eficiencia de los servicios de salud, recursos humanos en salud, sistemas de salud, indicadores de salud

Analysis of the Technical and Scale Efficiency of Provincial Health Resources in Argentina Using Data Envelopment Analysis (DEA) and Per Capita Metrics

Abstract

Introduction: Inefficiency in the use of health resources represents a central challenge for the management of health systems, particularly in contexts of territorial heterogeneity. Evaluating the relative efficiency of Argentine provinces allows identification of structural gaps and informs public policy decisions. **Objectives:** To characterize the technical and scale efficiency of provincial health systems in Argentina, integrate per capita indicators to contextualize the results, and differentiate between technical inefficiency and scale-related issues. **Methodology:** A cross-sectional

comparative study was conducted using Data Envelopment Analysis (DEA) with two models: DEA-CCR (constant returns to scale) and DEA-BCC (variable returns to scale, VRS). Inputs included physicians and hospital beds per 1,000 inhabitants, while outputs were consultations, discharges, and births per 1,000 inhabitants. Efficiency scores were complemented with analysis of per capita indicators to contextualize relative health production. Results: Under DEA-CCR, seven provinces achieved global technical efficiency: Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza, and Córdoba. The DEA-BCC model identified La Pampa, Salta, and Tierra del Fuego as fully efficient, indicating that their gaps relative to CCR are primarily due to scale inefficiency. Provinces such as La Pampa, La Rioja, San Juan, and Jujuy showed high relative output with moderate resource endowments, whereas CABA, Santa Fe, and Córdoba exhibited resource overcapacity without proportional output. Santiago del Estero, Chaco, and Formosa demonstrated structural inefficiency due to undercapacity. Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro, and Santa Cruz presented both technical inefficiency and scale problems. Discussion: The results highlight the importance of distinguishing between technical inefficiency and scale-related inefficiency. Integrating per capita indicators refines the analysis by considering demographic pressure and healthcare demand. Provinces with high resource endowments but low output show diseconomies of scale; those with moderate resources and high output demonstrate relative efficiency; provinces with low resource endowment require strengthened infrastructure and human capital. Conclusions: Significant territorial asymmetries exist in the allocation and use of health resources in Argentina. Combined DEA-CCR and DEA-BCC evaluation, together with per capita indicators, allows identification of sources of inefficiency, prioritization of interventions, and guidance for federal planning policies, resource redistribution, and strengthening of provincial capacities. The analysis allows us to explain the evolution of the main economic variables in the province, such as the Gross Geographical Product, private industrial employment and the number of industries established in the province.

Keywords

health services efficiency; health personnel; health systems; health indicators

31

Introducción

La medición de la eficiencia técnica en la gestión de los recursos sanitarios constituye un eje central de la economía de la salud y de la administración de sistemas sanitarios a nivel internacional, particularmente en contextos caracterizados por restricciones presupuestarias, incremento sostenido de la demanda asistencial y persistencia de desigualdades territoriales. En este escenario, la optimización en el uso de los recursos disponibles resulta fundamental para maximizar la producción de servicios de salud y mejorar los resultados sanitarios poblacionales (Hollingsworth, 2003; Jacobs, Smith & Street, 2006).

En este marco analítico, el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) se ha consolidado como una de las metodologías más empleadas para evaluar la eficiencia relativa de unidades productivas en el sector salud. Su principal fortaleza radica en la capacidad de analizar múltiples insumos y productos de manera simultánea, sin requerir la especificación previa de una función de producción predeterminada, lo que lo convierte en una herramienta particularmente adecuada para contextos sanitarios complejos (Cooper, Seiford & Tone, 2007; Hollingsworth, 2008).

Argentina presenta un sistema de salud de carácter federal compuesto por 24 jurisdicciones con marcadas heterogeneidades en términos de infraestructura sanitaria, dotación de recursos humanos, niveles de gasto público y modalidades de organización institucional. Cada jurisdicción sostiene un subsistema público que opera con relativa autonomía, aunque bajo lineamientos generales establecidos por el nivel nacional. Estas disparidades estructurales plantean interrogantes respecto de la eficiencia con que los recursos disponibles en cada jurisdicción se transforman en prestaciones efectivas y resultados sanitarios, especialmente en un contexto de elevada fragmentación del sistema.

32

La relevancia de medir la eficiencia técnica en el ámbito sanitario se fundamenta, además, en el carácter multiproducto de los servicios de salud y en la dificultad de modelizar funciones de producción convencionales que representen adecuadamente los procesos asistenciales (Hollingsworth & Peacock, 2008; González-de-Julián et al., 2024; Kohl et al., 2019). Los hospitales y centros de salud combinan múltiples insumos, como personal, camas, equipamiento y presupuesto, para generar diversos productos, entre ellos consultas ambulatorias, egresos hospitalarios, intervenciones quirúrgicas e indicadores de desempeño asistencial, lo que complejiza su evaluación mediante métodos paramétricos tradicionales.

El DEA es una metodología no paramétrica basada en programación lineal que permite estimar la eficiencia relativa de unidades homogéneas de decisión (Decision Making Units, DMU), comparando su desempeño respecto de una frontera eficiente construida empíricamente a partir de los datos observados (Charnes et al., 1978). Su formulación original fue el modelo CCR, que asume retornos constantes a escala y se inspira en el trabajo previo de Farrell (1957) sobre medición de eficiencia técnica. Posteriormente, Banker et al. (1984) desarrollaron el modelo BCC, que incorpora retornos variables a escala y permite descomponer la eficiencia técnica en eficiencia pura y eficiencia de escala, ampliación particularmente relevante en el análisis hospitalario, donde las unidades operan con distintos tamaños y niveles de complejidad.

Entre las principales ventajas del DEA en el sector salud se destacan: la posibilidad de analizar múltiples insumos y productos de manera simultánea; la ausencia de supuestos funcionales sobre la forma de la producción; la generación de indicadores relativos de eficiencia comparativa; y la identificación de unidades de referencia para procesos de benchmarking (Cooper et al., 2007; Cabezas Pascual, 2022; Suin-Guaraca, 2023). No obstante, Simar & Wilson (1998, 2000, 2007), señalan que el método presenta limitaciones,

entre ellas su sensibilidad a valores atípicos y la dificultad para distinguir entre ineficiencia técnica y error estadístico, lo que ha impulsado el desarrollo de extensiones metodológicas como las técnicas de re-muestreo bootstrap para mejorar la inferencia estadística.

Desde la década de 1990, el DEA ha sido aplicado de manera creciente en la evaluación de hospitales, sistemas hospitalarios y unidades territoriales, consolidándose como una herramienta central para el análisis de eficiencia en sistemas de salud (Hollingsworth, 2008; Cabezas Pascual, 2022; Suin-Guaraca, 2023). Revisiones sistemáticas evidencian una expansión sostenida de estudios en hospitales, atención primaria, sistemas nacionales y programas públicos. En paralelo, la metodología ha experimentado una evolución significativa, incorporando modelos orientados a insumos y a productos, índices dinámicos de productividad (como el índice de Malmquist), extensiones de DEA en red (network DEA) y modelos de dos etapas que integran variables ambientales o contextuales (Breitenbach et al., 2021; Cooper et al., 2007; Guaraca et al, 2020).

En países desarrollados, el DEA ha sido ampliamente utilizado para evaluar la eficiencia hospitalaria, el desempeño regional y los efectos de reformas en los mecanismos de financiamiento sanitario, particularmente en el contexto europeo (Reyes-Santias, 2025; Jacobs et al., 2006; Smith & Street, 2005). En países de ingresos medios y bajos, su aplicación ha contribuido al análisis de la asignación de recursos, la eficiencia relativa entre regiones y las brechas territoriales en el desempeño sanitario, evidenciando su versatilidad en contextos con restricciones estructurales más marcadas (Emrouznejad & Yang, 2018; O'Neill et al., 2008).

En América Latina, el DEA ha sido adoptado como herramienta de evaluación frente a desafíos estructurales propios de la región, tales como la heterogeneidad en la distribución de recursos, la segmentación institucional y las desigualdades en el acceso a servicios de salud. Estudios en Brasil, México y Chile han aplicado esta metodología para estimar eficiencia técnica en hospitales públicos y sistemas regionales, destacando la importancia de adaptar la selección de insumos y productos a las particularidades institucionales y a la calidad de los sistemas de información disponibles (Caballer-Tarazona et al., 2016; Palma & Sotomayor, 2026; Barahona-Urbina, 2011).

En Argentina, la evaluación de la eficiencia sanitaria adquiere especial relevancia debido a la marcada heterogeneidad interprovincial en infraestructura, recursos humanos y financiamiento público, en el marco de un sistema fragmentado y federal. Diversos trabajos han aplicado DEA para estimar eficiencia técnica en hospitales públicos y realizar comparaciones interjurisdiccionales, evidenciando brechas significativas de desempeño y márgenes potenciales de mejora que podrían orientar políticas de asignación más eficiente de recursos (Elorza et al, 2023; Nieves & Guzmán Raja, 2023; Palma et al, 2026).

En síntesis, el DEA constituye una herramienta metodológica robusta y flexible para la evaluación de la eficiencia técnica en salud, con aplicaciones consolidadas en contextos internacionales, regionales y nacionales. En este contexto, la aplicación del Análisis Envolvente de Datos al sistema sanitario argentino permite abordar la heterogeneidad interprovincial desde una perspectiva cuantitativa comparativa, generando evidencia empírica relevante para el análisis del desempeño sanitario en un sistema descentralizado y federal.

Objetivo general

Analizar la eficiencia técnica relativa en el uso de los recursos sanitarios públicos de las provincias argentinas durante el año 2021, mediante la aplicación del Análisis Envolvente de Datos (DEA).

Objetivos específicos

Identificar las provincias que operan en la frontera de eficiencia bajo modelos DEA con rendimientos constantes (CCR) y variables a escala (BCC), distinguiendo entre eficiencia técnica pura y eficiencia de escala.

Estimar el potencial de mejora en la transformación de insumos sanitarios, camas hospitalarias, recursos médicos y gasto público, en productos sanitarios, consultas ambulatorias, egresos hospitalarios y nacimientos vivos atendidos-.

Analizar la heterogeneidad interprovincial en los niveles de eficiencia técnica, aportando evidencia empírica para la formulación de políticas públicas orientadas a la optimización del desempeño del sistema sanitario.

Materiales y Métodos

El presente estudio adoptó un diseño cuantitativo, transversal y comparativo. Se aplicó la técnica no paramétrica de Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia técnica relativa de las 24 jurisdicciones provinciales argentinas durante el año 2021, sin requerir la especificación previa de una función de producción.

Se estimaron dos modelos: a) el modelo de Retornos Constantes a Escala (CRS o CCR), que asume proporcionalidad constante entre insumos y productos; y b) el modelo de Retornos Variables a Escala (BCC o VRS), que incorpora una restricción de convexidad y permite descomponer la eficiencia técnica en eficiencia pura y eficiencia de escala.

Unidades de análisis (DMUs)

Cada provincia argentina constituyó una unidad de decisión (Decision Making Unit, DMU), considerada responsable de la gestión y provisión de servicios sanitarios públicos en su territorio. El estudio incluyó la totalidad de las 24 provincias argentinas (n=24) con competencia directa en la gestión del subsector público de salud durante el año 2021, por lo que no se realizó muestreo probabilístico. No se excluyó ninguna jurisdicción, dado que todas contaban con información completa y consistente para las variables seleccionadas. El análisis se restringió al subsector público provincial, excluyendo el sector privado y de obras sociales, en coherencia con el objetivo del estudio.

Se verificó la condición empírica de discriminación del modelo DEA:

$$n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\}$$

donde n representa el número de DMUs, m el número de insumos y s el número de productos.

En este estudio: m = 3, s = 3, por lo que:

$$m \times s = 9$$

$$3(m + s) = 18$$

Dado que $n = 24$, se cumple la condición ($24 \geq 18$), garantizando capacidad discriminatoria adecuada.

Orientación del modelo

Se adoptó una orientación a productos (output-oriented), dado que el objetivo fue evaluar en qué medida las provincias maximizan la producción de servicios sanitarios dados los recursos disponibles, más que reducir insumos en el corto plazo.

Esta orientación resulta apropiada en contextos donde los gestores no controlan directamente la magnitud de los recursos asignados, pero sí pueden mejorar la organización y gestión para incrementar la producción efectiva de servicios.

Variables del modelo

Insumos (Inputs):

1. Camas hospitalarias públicas (unidades).
2. Número total de médicos en el subsector público.
3. Gasto público provincial en salud (pesos corrientes, año 2021).

Productos (Outputs):

1. Consultas ambulatorias en establecimientos públicos (unidades).
2. Egresos hospitalarios (unidades).
3. Nacimientos vivos atendidos en el sistema público (unidades).

35

Las variables fueron seleccionadas por su disponibilidad en fuentes oficiales y por su capacidad para representar recursos estructurales y producción efectiva de servicios sanitarios.

Formulación matemática del modelo DEA orientado al producto (outputs) (CRS)

Para cada provincia j ($j = 1, \dots, n$), que utiliza m insumos x_{ij} ($i = 1, \dots, m$) para producir s productos y_{rj} ($r = 1, \dots, s$).

Modelo CCR orientado al producto se formuló en su forma envolvente como:

$$\begin{aligned} &\text{Maximizar } \phi \\ &\text{Sujeto a:} \\ &\sum \lambda_j x_{ij} \leq x_{io} \quad \text{para todo } i = 1, \dots, m \\ &\sum \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{ro} \quad \text{para todo } r = 1, \dots, s \\ &\lambda_j \geq 0 \quad \text{para todo } j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

donde ϕ representa el factor máximo proporcional de expansión de los productos manteniendo constantes los insumos observados de la unidad evaluada (DMUs).

La eficiencia técnica se calculó como $1/\phi$, tomando valores entre 0 y 1.

Modelo BCC (Retornos Variables a Escala)

Para estimar eficiencia técnica pura bajo Retornos Variables a Escala, se incorporó la restricción de convexidad:

$$\sum \lambda_j = 1$$

Esta restricción permite separar los efectos de escala de la eficiencia técnica pura.

Análisis complementario per cápita

Con el fin de fortalecer la interpretación de resultados, se incorporó un análisis complementario basado en indicadores per cápita utilizando población provincial según Censo Nacional con datos año 2022.

Se calcularon:

- Médicos por 1.000 habitantes.
- Camas hospitalarias por 1.000 habitantes.
- Consultas ambulatorias por 1.000 habitantes.
- Egresos hospitalarios por 1.000 habitantes.
- Nacimientos atendidos por 1.000 habitantes.

36

Posteriormente se construyó una matriz bidimensional que combinó eficiencia técnica (alta/baja) y desempeño per cápita (alto/bajo), permitiendo clasificar a las provincias en categorías analíticas.

Este enfoque mixto (DEA + indicadores per cápita) permitió evitar interpretaciones sesgadas derivadas de posibles estructuras sub-dimensionadas y fortaleció la utilidad de los resultados para la formulación de políticas públicas.

Software y consideraciones metodológicas

El análisis fue realizado mediante software DEA Solver. simplex LP. Se consideraron las limitaciones inherentes al método, particularmente su sensibilidad a la calidad de los datos y su carácter determinístico, por lo que los resultados fueron interpretados en términos de eficiencia relativa y no absoluta.

Resultados

A partir de las variables de insumos (inputs) y productos (outputs) consideradas en el análisis, la matriz de datos evidencia una marcada heterogeneidad estructural entre provincias. Se observan mayores valores absolutos de recursos y producción en jurisdicciones de mayor tamaño poblacional, como Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, que presentan las cifras más elevadas tanto en dotación de camas y médicos como en volumen de consultas y egresos hospitalarios. En contraste, provincias de menor escala demográfica, como Tierra del Fuego, La Rioja y La Pampa, registran niveles absolutos considerablemente inferiores de insumos y productos sanitarios.

Tabla 1: Matriz de datos

Jurisdicción	Camas hospital público	Nº de médicos (total)	Gasto anual en salud (\$)	Consultas ambulatorias públicas	Egresos hospitalarios	RN Vivos 2021
Bs As	20415	49429	202929	92463089	809346	289710
Catamarca	627	1076	11827	531028	16127	4883
Chaco	1876	2587	26335	1630080	63978	21275
Chubut	1118	1883	18775	648328	22402	8506
CABA	23005	52907	104962	5369041	124659	39624
Córdoba	2166	17156	45249	3029372	57708	65824
Corrientes	2698	3457	25687	1066688	62150	25122
Entre Ríos	2427	4132	33055	1766064	62519	24843
Formosa	1049	1104	31240	844701	40071	10729
Jujuy	1163	1743	15922	2691098	33232	15555
La Pampa	688	1180	14484	1428441	26989	6456
La Rioja	659	1597	13489	1568669	22639	7063
Mendoza	1729	7116	23965	2958627	55420	41758
Misiones	1328	2509	26135	1902228	73239	28160
Neuquén	983	3147	39811	1297708	30907	11555
Río Negro	1114	2998	24531	1204894	37098	12132
Salta	1942	3291	37821	2672905	86545	28276
San Juan	1045	2474	25248	2762633	36702	15233
San Luis	722	1609	12621	1494947	18113	9433
Santa Cruz	716	1104	17811	625220	20427	4875
Santa Fe	3560	15859	68585	2896587	124305	60164
Santiago del Estero	1334	1605	16971	712125	40358	19925
Tierra del Fuego	251	886	8794	512024	5754	3668
Tucumán	1833	5288	42833	3730555	50617	27062

37

Nota: Datos correspondientes al subsector público provincial, año 2021. El gasto público en salud se expresa en millones de pesos corrientes.

Los egresos hospitalarios excluyen nacimientos.

Fuentes: elaboración propia en base a datos del Ministerio de Salud de la Nación (2022) y estadísticas provinciales oficiales.

Camas y egresos hospitalarios en argentina (2021): https://www.argentina.gob.ar/salud/deis/reporte-interactivo?utm_source=chatgpt.com

Nº de médicos (total): deis 2023 (que corresponde a datos 2022)

Gasto anual en salud por finalidad y función año 2021: https://www.economia.gob.ar/dnap/ejecuciones.html?utm_source=chatgpt.com

Consultas ambulatorias subsector público: consultas: "CUADRO 1: Cantidad de consultas ambulatorias en establecimientos del subsector oficial según jurisdicción de ocurrencia. República Argentina - Años 2016 a 2022" DEIS – Serie 11 Número 23

Cantidad de nacidos vivos: año 2021. MS Serie 5 N°65/23. Deis 2023.

Esta variabilidad interjurisdiccional resulta metodológicamente pertinente para el Análisis Envolvente de Datos, ya que la técnica permite comparar unidades de distinto tamaño y construir una frontera eficiente a partir de combinaciones observadas de insumos y productos, evaluando la eficiencia relativa en la transformación de recursos públicos en prestaciones sanitarias. Asimismo, la incorporación de nacimientos vivos atendidos como producto integra una dimensión demográfica relevante del desempeño sanitario, ampliando la evaluación más allá de la actividad asistencial estrictamente hospitalaria.

Tabla 2: Puntajes de eficiencia técnica total (CCR), eficiencia técnica pura (BCC-VRS) y eficiencia de escala (EE) en provincias argentinas

Provincia	CCR	BCC (VRS)	EE
Buenos Aires	1.000	1.000	1.000
Formosa	1.000	1.000	1.000
Santiago del Estero	1.000	1.000	1.000
Misiones	1.000	1.000	1.000
Jujuy	1.000	1.000	1.000
Mendoza	1.000	1.000	1.000
Córdoba	1.000	1.000	1.000
La Pampa	0.9245	1.000	1.000
Salta	0.9229	1.000	0.9229
Chaco	0.8614	0.8627	0.9985
San Juan	0.8312	0.8847	0.9395
Corrientes	0.8134	0.8280	0.9823
Tucumán	0.7531	0.7605	0.9902
La Rioja	0.7425	0.9239	0.8036
Santa Fe	0.7313	0.8784	0.8325
San Luis	0.7217	0.8962	0.8053
Tierra del Fuego	0.7196	1.000	0.7196
Entre Ríos	0.6429	0.6677	0.9629
Santa Cruz	0.6221	0.7741	0.8037
Río Negro	0.6212	0.6393	0.9717
Neuquén	0.6106	0.6468	0.9440
Catamarca	0.5367	0.9199	0.5834
Chubut	0.4206	0.4890	0.8602

38

Referencias:

Modelo DEA con orientación output (maximización de productos dados los insumos).

CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978): eficiencia técnica total bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala (CRS).

BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984): eficiencia técnica pura bajo rendimientos variables a escala (VRS).

Eficiencia de escala (EE): cociente entre eficiencia CCR y eficiencia BCC ($EE = CCR / BCC$). Valores inferiores a 1 indican ineficiencia asociada a una escala de operación no óptima.

DMU: cada provincia argentina.

Los puntajes de eficiencia se encuentran acotados entre 0 y 1, donde 1 representa desempeño eficiente relativo dentro de la muestra

Los resultados identificaron en el modelo DEA-CCR (rendimientos constantes de escala) siete provincias con eficiencia técnica global ($CCR = 1$): Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza y Córdoba. Estas unidades constituyen la frontera de producción y operan sin ineficiencia radial bajo la hipótesis de escala constante.

El modelo DEA-BCC (VRS) (rendimientos variables), incorpora además como unidades plenamente eficientes La Pampa, Salta y Tierra del Fuego, indicando que su diferencia respecto del modelo CCR es explicado por ineficiencia de escala, y no por ineficiencia técnica pura. En estas tres jurisdicciones, el puntaje BCC (VRS) igual a 1 y la eficiencia de escala (EE) inferior a 1 refleja que los retornos a escala no son óptimos. Entre las provincias con puntajes intermedios, Chaco, San Juan, Corrientes y Tucumán mostraron niveles moderados de eficiencia técnica pura (BCC (VRS) entre 0.76 y 0.88) y valores altos de eficiencia de escala ($EE > 0.93$), lo que sugiere que la mayor proporción de su desviación respecto de la frontera se debe a ineficiencia técnica, y no a problemas de escala.

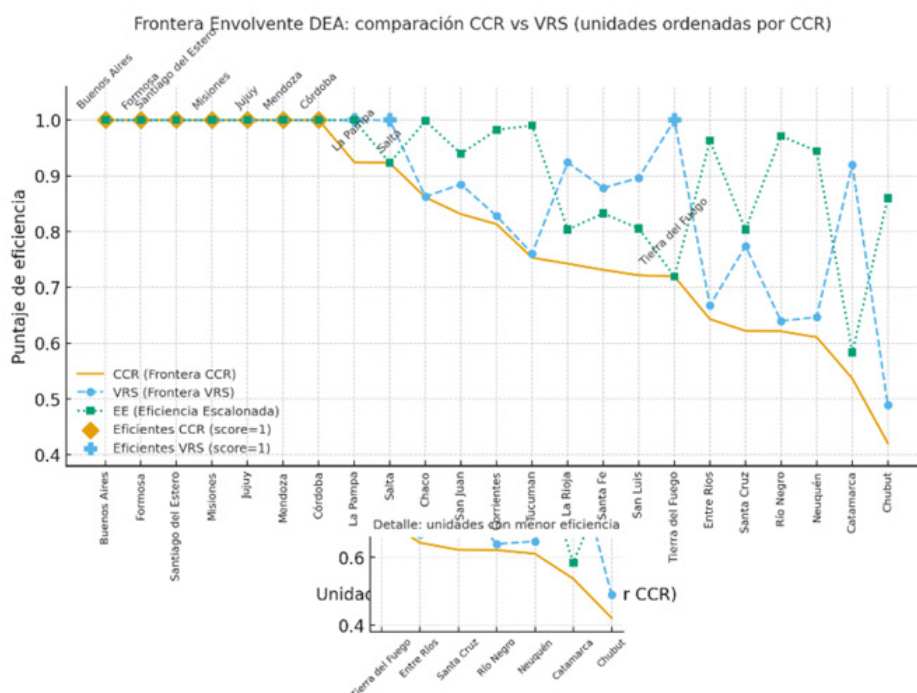
En contraste, La Rioja, Santa Fe y San Luis exhibieron diferencias amplias entre modelos CCR y BCC (VRS), combinadas con eficiencias de escala por debajo de 0.85. Este patrón indica la presencia simultánea de ineficiencia técnica y des-economías de escala, lo cual amplifica la distancia final respecto de la frontera. Las jurisdicciones con los niveles más bajos de eficiencia global fueron Entre Ríos, Santa Cruz, Río Negro, Neuquén, Catamarca y Chubut, con puntajes CCR entre 0.42 y 0.64. En este grupo, la elevada discrepancia entre CCR y BCC (VRS), especialmente en Catamarca y Chubut, confirma un peso importante de la ineficiencia técnica pura, mientras que las eficiencias de escala moderadas sugieren retornos a escala sub-óptimos. Chubut presentó el menor desempeño global ($CCR = 0.4206$), exponiendo la mayor brecha registrada en la muestra.

En conjunto, los resultados permiten distinguir con claridad niveles relativos de la ineficiencia técnica pura (modelo BCC (VRS)) y la ineficiencia de escala (EE) en diferentes desempeños entre provincias argentinas, proporcionando una descripción robusta de la posición de cada jurisdicción respecto de la frontera eficiente en base al método DEA.

En síntesis, los resultados reflejan que las diferencias de desempeño entre provincias no dependen exclusivamente del volumen de recursos disponibles, sino de la eficiencia con la que estos son utilizados y ajustados a la escala operativa del sistema de salud provincial.

Las jurisdicciones que presentan una brecha acotada entre los puntajes CCR y BCC (VRS), refleja que sus distancias respecto de la frontera eficiente se explican principalmente por factores asociados a la gestión y organización de los servicios, como es el caso de Chaco, San Juan, Corrientes y Tucumán. En contraste, provincias como La Pampa, Salta y Tierra del Fuego exhiben eficiencia técnica pura plena ($BCC = 1$), pero una menor eficiencia global (CCR), refleja desajustes estructurales vinculados al tamaño de operación del sistema sanitario. Finalmente, jurisdicciones como La Rioja, Santa Fe, San Luis, Catamarca y Chubut muestran diferencias amplias entre ambos modelos junto con bajas eficiencias de escala (EE), reflejando la coexistencia de problemas tanto de gestión como de escala, lo que amplifica su distancia respecto de la frontera eficiente. Esta diferenciación entre jurisdicciones argentinas resulta especialmente relevante para la formulación de políticas sanitarias, ya que orienta a la adopción de estrategias específicas según el perfil de ineficiencia predominante en cada provincia.

39



39

Figura 1: Frontera de Eficiencia comparada en los tres modelos: CCR-BCC (VRS)-EE.

Referencias:

Frontera CCR (línea sólida con marcadores).

Frontera BCC (VRS) (línea discontinua para comparar el impacto de retornos a escala variables).

EE (tercera serie) incluida como referencia.

Unidades eficientes destacadas (solo se etiquetan las eficientes para evitar sobrecarga gráfica).

Inset (detalle) con las provincias de menor eficiencia para facilitar lectura.

Frontera envolvente DEA comparativa: La figura muestra los puntajes de eficiencia técnica global (CCR), eficiencia técnica pura (BCC = VRS) y eficiencia de escala (EE), ordenando las provincias según CCR. La distancia entre CCR y BCC (VRS) permite evaluar el efecto relativo de la ineficiencia técnica pura y de escala.

Fuente: elaboración propia a partir de resultados DEA.

Tabla 3: Análisis de indicadores provinciales per cápita en contexto DEA

Provincia	Médicos / 1.000 hab	Camas / 1.000 hab	Consultas / 1.000 hab	Egresos / 1.000 hab	Nacimientos / 1.000 hab
Buenos Aires	2.82	1.16	5,267	46.0	16.5
Catamarca	2.50	1.46	1,237	37.5	11.4
Chaco	2.27	1.64	1,428	55.9	18.6
Chubut	3.12	1.85	1,090	37.0	13.7
CABA	17.0	7.37	1,720	40.2	12.7
Córdoba	4.56	0.58	807	15.3	17.0
Corrientes	2.89	2.27	892	52.0	21.0
Entre Ríos	2.90	1.75	1,238	43.9	17.4
Formosa	1.82	1.73	1,395	66.1	17.7
Jujuy	2.18	1.50	3,371	42.0	19.5
La Pampa	3.22	1.87	3,902	74.0	17.6
La Rioja	4.15	1.71	4,076	58.9	18.6
Mendoza	3.53	0.87	1,480	27.9	20.7
Misiones	1.96	1.07	1,484	57.2	22.0
Neuquén	4.33	1.35	1,788	42.6	15.9
Río Negro	3.94	1.46	1,583	48.7	15.9
Salta	2.29	1.35	1,855	60.0	19.6
San Juan	3.02	1.57	3,376	44.9	18.6
San Luis	2.98	1.33	2,767	33.4	17.4
Santa Cruz	3.31	2.14	1,874	61.3	14.6
Santa Fe	4.46	1.00	815	34.9	16.9
Santiago del Estero	1.52	1.53	674	38.3	18.9
Tierra del Fuego*	4.65	1.38	2,685	30.2	19.2
Tucumán	3.10	1.36	2,192	29.7	15.9

40

Notas:

Criterios operativos utilizados: $EE \geq 0.90$ → eficiencia alta; $EE < 0.90$ → eficiencia baja.

Desempeño per cápita alto: provincias con valores superiores a la mediana nacional en ≥ 3 de 5 indicadores (médicos, camas, consultas, egresos, nacimientos).

Desempeño per cápita bajo: mayoría de indicadores por debajo de la mediana.

Alta dotación + baja producción → riesgo de ineficiencia (CABA, Córdoba, Santa Fe).

Dotación media + alta producción → alta eficiencia técnica (La Rioja, La Pampa, San Juan, Jujuy).

Baja dotación + baja producción → ineficiencia estructural (Santiago del Estero, Chaco, Formosa).

Alta natalidad → desafío adicional para interpretación de outputs (NOA/NEA).

Siete provincias alcanzaron eficiencia global (score = 1) bajo CCR: Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza y Córdoba. Bajo BCC (VRS), se suman La Pampa, Salta y Tierra del Fuego, indicando que la diferencia respecto a CCR se debe principalmente a ineficiencia de escala. Las provincias con menor desempeño (Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro y Santa Cruz) muestran mayores divergencias entre CCR y BCC (VRS), evidenciando que la ineficiencia en estas regiones es principalmente de escala.

La comparación CCR- BCC(VRS) permite diferenciar claramente ineficiencia técnica pura de la atribuible a escala, proporcionando un mapa robusto de la posición relativa de cada provincia frente a la frontera de eficiencia.

El examen comparativo de los indicadores per cápita permite contextualizar los puntajes de eficiencia obtenidos mediante DEA. Los cinco indicadores utilizados (médicos, camas, consultas, egresos y nacimientos) ofrecen aproximaciones indirectas de los recursos disponibles (inputs) y del nivel de actividad asistencial (outputs). Esta información es clave para interpretar la posición relativa de cada provincia frente a la frontera de eficiencia.

Se pueden identificar tres perfiles principales de provincias:

- Alta dotación de recursos con producción moderada: La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) destaca por valores extraordinariamente superiores en médicos (17/1.000 hab) y camas (7,37/1.000 hab), muy por encima del promedio nacional. Neuquén, Santa Fe, Córdoba y Tierra del Fuego también presentan alta dotación profesional, pero con niveles de consultas y egresos relativamente moderados. Este patrón puede indicar rendimientos decrecientes de escala o estructuras sobrecapitalizadas, lo que penaliza la eficiencia en DEA si los outputs no crecen proporcionalmente.
- Dotación media con alta productividad relativa: La Pampa, La Rioja, Jujuy, San Juan y Tierra del Fuego combinan recursos moderados con altos niveles de consultas (3,300–4,076/1.000 hab) y egresos. Estas provincias muestran un uso eficiente de los recursos disponibles, ubicándose próximas o en la frontera de eficiencia según los modelos DEA orientados a outputs.
- Baja dotación con producción limitada: Santiago del Estero, Formosa, Chaco y Misiones presentan entre 1,5 y 2,3 médicos por 1.000 habitantes, con consultas y egresos moderados. En algunos casos, como Formosa y Santa Cruz, los egresos per cápita son relativamente altos, pero no alcanzan para compensar la baja dotación de recursos. Este perfil refleja principalmente ineficiencia estructural por sub-capacidad instalada, más que fallas de gestión.

40

La consideración de nacimientos per cápita permite matizar la interpretación de los outputs hospitalarios. Provincias del NOA y NEA (Misiones, Salta, Tucumán, Corrientes) presentan tasas elevadas (19–22/1.000 hab), lo que incrementa la demanda potencial del sistema. Sin embargo, esto no siempre se traduce en mayores consultas o egresos per cápita, indicando la influencia de determinantes sociales y patrones de uso diferencial entre regiones.

En síntesis, las provincias con alta dotación, pero producción insuficiente (Córdoba, Santa Fe) muestran ineficiencia técnica en DEA; las provincias con dotación moderada y alta producción (La Rioja, La Pampa) se destacan por eficiencia relativa, constituyéndose referentes de productividad efectiva en el sistema provincial de salud.

El estudio de eficiencia mediante los modelos DEA-CCR (rendimientos constantes de escala) y DEA-BCC (rendimientos variables de escala) permitió caracterizar de manera integral el desempeño relativo de las 24 provincias argentinas en términos de utilización productiva de sus recursos sanitarios.

Bajo el modelo DEA-CCR, siete provincias alcanzaron eficiencia técnica global (score = 1), conformando la frontera de referencia: Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza y Córdoba. Este grupo constituye la referencia para evaluar el desempeño relativo de las demás jurisdicciones.

La ampliación del análisis al modelo DEA-BCC incorporó como plenamente eficientes a La Pampa, Salta y Tierra del Fuego. La comparación de puntajes entre DEA-CCR y DEA-BCC permite distinguir con claridad la ineficiencia técnica pura de los problemas asociados a la escala, revelando que las brechas de estas provincias respecto de la frontera CCR obedecen principalmente a retornos a escala no óptimos.

El análisis conjunto de los puntajes DEA y los indicadores per cápita mostró patrones diferenciados:

Provincias como La Pampa, La Rioja, San Juan y Jujuy presentaron altos niveles de consultas y egresos por habitante con dotaciones moderadas de recursos, reflejando elevada productividad relativa. Jurisdicciones con alta densidad de médicos y camas, como CABA, Santa Fe y Córdoba, no alcanzaron niveles proporcionales de producción sanitaria, sugiriendo posibles des-economías de escala o sobredotación en relación con la demanda efectiva.

Provincias con dotaciones estructuralmente bajas, como Santiago del Estero, Chaco, Formosa y Misiones, mostraron niveles moderados de actividad asistencial. Si bien algunas alcanzan eficiencia relativa bajo DEA-CCR, esto refleja adaptación a sub-capacidad y no un desempeño óptimo.

Provincias con puntajes más bajos, como Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro y Santa Cruz, presentaron simultáneamente ineficiencia técnica pura y problemas de escala, evidenciando brechas importantes en su aproximación a la frontera eficiente.

41

Discusión

El análisis DEA aplicado a los sistemas de salud provinciales de Argentina permitió identificar diferencias sustanciales en eficiencia técnica y de escala, complementadas por la interpretación de indicadores per cápita como médicos, camas, consultas, egresos y nacimientos. Esta combinación de métodos ofrece un enfoque robusto para evaluar el desempeño relativo de cada jurisdicción, considerando tanto los recursos disponibles (inputs) como los resultados de actividad asistencial (outputs).

En primer lugar, se observa que provincias con alta dotación de recursos humanos y físicos, como la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), Córdoba y Santa Fe, no necesariamente alcanzan altos puntajes de eficiencia DEA. La sobredotación de médicos y camas, si no se traduce en un incremento proporcional de outputs, genera ineficiencia técnica y de escala, evidenciando rendimientos decrecientes. Este hallazgo es consistente con la literatura internacional que señala que la eficiencia relativa no depende únicamente de la cantidad de recursos, sino de su uso productivo en relación con la demanda (O'Neill et al., 2008; Kohl et al, 2019).

Por el contrario, provincias con dotación moderada de recursos, pero alta producción relativa, como La

Rioja, La Pampa y San Juan, presentan puntajes DEA cercanos a la frontera de eficiencia. Estos territorios logran un uso más equilibrado de insumos, optimizando el rendimiento de los recursos disponibles. La incorporación de indicadores per cápita permitió contextualizar este desempeño: tasas elevadas de consultas y egresos por habitante señalan un uso intensivo de los recursos, mientras que los nacimientos per cápita ajustan la interpretación de la presión demográfica sobre los servicios de salud (Pérez-Romero, 2017).

Un tercer grupo lo conforman provincias del NOA y NEA, Santiago del Estero, Formosa, Chaco y Misiones, caracterizadas por baja dotación de médicos y camas, con producción asistencial relativamente limitada. Aunque en algunos casos pueden mostrar eficiencia técnica en modelos orientados a outputs debido a la sub-asignación proporcional de recursos, la interpretación debe matizarse: la baja producción absoluta sugiere ineficiencia estructural, vinculada a insuficiencia de capacidad instalada, y no simplemente a deficiencias en la gestión interna (Banker et al., 2004; Hollingsworth, 2008).

La comparación entre los modelos CCR y BCC proporciona información adicional sobre la naturaleza de la ineficiencia. La distancia entre las fronteras CCR y BCC permite distinguir claramente la ineficiencia técnica pura de la ineficiencia atribuible a la escala. Provincias como Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro y Santa Cruz presentan divergencias significativas entre ambos modelos, indicando que su desempeño podría mejorarse mediante ajustes en la dimensión de escala, como la redistribución de recursos o el redimensionamiento de servicios hospitalarios. Por otro lado, las provincias eficientes bajo CCR y BCC, como Buenos Aires, Formosa, Santiago del Estero, Misiones, Jujuy, Mendoza y Córdoba, conforman una referencia sólida para orientar políticas de eficiencia productiva (Banker, Charnes, & Cooper, 1984).

La incorporación de los indicadores per cápita en la interpretación de los puntajes DEA refuerza la comprensión de las diferencias regionales. Por ejemplo, altas tasas de natalidad en Misiones, Salta, Tucumán y Corrientes (19–22 nacimientos por 1.000 habitantes) generan presión adicional sobre el sistema, y si no se acompaña de un aumento proporcional de recursos u outputs, puede conducir a sub-desempeño relativo en términos de eficiencia. Este análisis destaca la necesidad de considerar no solo la dotación absoluta de recursos, sino también la carga demográfica y las demandas específicas de cada provincia para diseñar políticas de asignación eficientes (Pérez-Romero, 2017).

En términos de política sanitaria, los hallazgos sugieren que la eficiencia del sistema no depende únicamente del aumento de recursos, sino de su utilización estratégica (Hollingsworth, 2008). La identificación de provincias con alta dotación y baja producción relativa permite enfocar intervenciones en la mejora de procesos, coordinación de servicios y optimización de la asignación de insumos (O'Neill et al., 2008). De manera complementaria, los territorios con baja dotación, pero alta demanda relativa requiere inversiones en infraestructura y capital humano para reducir brechas estructurales y mejorar el acceso efectivo a la atención (Ozcan, 2014).

Finalmente, este estudio evidencia que la combinación de DEA con indicadores per cápita constituye una herramienta poderosa para el análisis comparativo de eficiencia en sistemas de salud regionales. La metodología permite generar un mapa de referencia robusto, identificar brechas estructurales y sugerir áreas prioritarias de mejora, con aplicación directa en la planificación de políticas públicas orientadas a optimizar la relación entre recursos y resultados sanitarios.

Conclusiones

La aplicación conjunta de DEA-CCR y DEA-BCC permitió caracterizar la eficiencia relativa de las 24 provincias argentinas, diferenciando entre ineficiencia técnica pura y problemas de escala. Bajo CCR, siete provincias alcanzaron eficiencia técnica global, mientras que el modelo BCC incorporó a La Pampa, Salta y Tierra del Fuego como plenamente eficientes, indicando que sus brechas se relacionan principalmente con problemas de escala.

El análisis integrado de indicadores per cápita confirmó patrones diferenciales de desempeño: a) Alta dotación de recursos con producción insuficiente (CABA, Santa Fe, Córdoba) evidencias potenciales de des-economías de escala. b) Dotación moderada con alta producción relativa (La Pampa, La Rioja, San Juan, Jujuy) refleja uso eficiente de recursos y productividad relativa elevada. c) Baja dotación y producción limitada (Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Misiones) indica ineficiencia estructural por sub-capacidad. Provincias con puntajes bajos en ambos modelos (Chubut, Catamarca, Neuquén, Río Negro y Santa Cruz) presentan simultáneamente ineficiencia técnica y de escala, destacando brechas significativas en la utilización de recursos y producción sanitaria.

La integración de DEA y análisis de indicadores per cápita evidencia la importancia de diferenciar entre ineficiencia técnica y problemas de escala, y de considerar la presión demográfica sobre los outputs, para orientar políticas de optimización de recursos y planificación federal de salud.

En conjunto, los hallazgos subrayan asimetrías territoriales relevantes en dotación y utilización de recursos, sugiriendo estrategias diferenciadas: optimización de procesos y coordinación en provincias sobre-dotadas, y aumento de capacidad instalada en provincias sub-dotadas, con el objetivo de mejorar la eficiencia general del sistema sanitario argentino.

43

Recomendaciones

Jurisdicciones con alta disponibilidad de recursos, pero producción limitada (p. ej., CABA, Santa Fe, Córdoba): se recomienda revisar la organización de los servicios, redistribuir las cargas asistenciales y evaluar mecanismos de integración regional, con el objetivo de mejorar la eficiencia productiva sin incrementar innecesariamente los insumos.

Territorios con ineficiencia estructural por sub-capacidad (p. ej., Santiago del Estero, Chaco, Formosa): se sugiere incrementar la disponibilidad de recursos críticos, fortalecer el primer nivel de atención y consolidar redes de servicios que compensen la fragmentación de la oferta, favoreciendo la cobertura y la continuidad de la atención.

Provincias con discrepancias entre DEA-CCR y DEA-BCC (p. ej., Chubut, Catamarca, Neuquén): requieren acciones orientadas a mejorar procesos internos, adoptar herramientas de gestión clínica, fortalecer sistemas de información y establecer mecanismos de monitoreo del rendimiento de los establecimientos, con el fin de optimizar tanto la eficiencia técnica como la de escala.

Jurisdicciones eficientes con buenas prácticas (p. ej., La Pampa, La Rioja, Jujuy): se recomienda documentar y difundir experiencias exitosas para transferir modelos de gestión que favorezcan la productividad sin

incrementos significativos de insumos, generando referentes para otras provincias.

Regiones con alta presión demográfica y tasas de natalidad elevadas (p. ej., Misiones, Salta, Tucumán, Corrientes): requieren estrategias diferenciales que ajusten oferta y demanda, especialmente en servicios materno-infantiles y primer nivel de atención, para atender la demanda efectiva sin comprometer la eficiencia del sistema.

Desigualdades territoriales marcadas: las diferencias entre provincias evidencian la necesidad de políticas de coordinación interjurisdiccional, particularmente en áreas con población dispersa o limitada capacidad resolutoria, garantizando un acceso equitativo a los servicios de salud.

Uso sistemático de DEA para gestión y planificación: dado que los modelos DEA permiten identificar con claridad las fuentes de ineficiencia (técnica vs. escala), se recomienda su utilización como herramienta de evaluación comparada para la asignación de recursos, planificación hospitalaria y monitoreo de brechas territoriales.

Referencias

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (2004). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Barahona-Urbina, Planck. (2011). Análisis de eficiencia hospitalaria en Chile. *Anales de la Facultad de Medicina*, 72(1), 33-38. Recuperado en 23 de febrero de 2026, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832011000100006&lng=es&tlng=es.
- Breitenbach, M. C., Ngoben, V., & Aye, G. C. (2021). Efficiency of healthcare systems in the first wave of COVID-19: A technical efficiency analysis. *Economic Studies*, 30(6).
- Caballer-Tarazona, M., Clemente-Collado, A., & Vivas-Consuelo, D. (2016). A cost and performance comparison of Public Private Partnership and public hospitals in Spain. *Health economics review*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s13561-016-0095-5>
- Cabezas Pascual, C. F. (2022). Eficiencia de los hospitales públicos del sistema de salud de Castilla y León.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software* (2nd ed.). Springer.
- Elorza, MAE, Villarreal, F., Arnaudo, MAF y Durán, F. (2023). EFICIENCIA DE LOS CENTROS DE ATENCIÓN PRIMARIA DE SALUD EN UNA CIUDAD INTERMEDIA DE ARGENTINA. *Investigación Operacional*, 44 (3), 406+. <https://link.gale.com/apps/doc/A757438301/AONE?u=anon~26be79d6&sid=googleScholar&xid=2b2f6b0a>
- Emrouznejad, A., & Yang, G.-L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4–8.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 120(3), 253–290.
- González-de-Julián, S., Vivas-Consuelo, D., y Barrachina-Martínez, I. (2024). Modelización de la eficiencia en atención primaria mediante la metodología DEA: un análisis empírico en un distrito sanitario. *BMC health services research*, 24 (1), 982.

- Guaraca, L. H. S., Rodríguez, M. A. D., & Quezada, J. C. A. (2020). Análisis Envolvente de Datos (DEA) para el estudio de la eficiencia técnica en los Sistemas de Salud: una revisión bibliográfica y metodológica en el contexto ecuatoriano. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 38(3).
- Hollingsworth, B. (2003). Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care. *Health Care Management Science*, 6, 203–218.
- Hollingsworth, B. (2008). Medición de la eficiencia y la productividad en la atención sanitaria. *Economía de la salud*, 17 (10), 1107-1128.
- Hollingsworth, B. y Peacock, SJ (2008). Medición de la eficiencia en salud y atención sanitaria . Routledge.
- Jacobs, R., Smith, P. C., & Street, A. (2006). Measuring efficiency in health care: Analytic techniques and health policy. Cambridge University Press.
- Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügener, A. y Brunner, JO (2019). El uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) en la atención médica, con especial atención en hospitales. *Health care management science*, 22 (2), 245-286.
- Nievas, C. M., & Raja, I. G. (2023). Niveles de eficiencia de hospitales del interior argentino valorados mediante análisis envolvente de datos. *Revista Argentina de Medicina*, 11(2), 171.
- O'Neill, L., Rauner, M., Heidenberger, K., & Kraus, M. (2008). A cross-national comparison and taxonomy of DEA-based hospital efficiency studies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(3), 158–189.
- Ozcan, Y. A. (2008). Health care benchmarking and performance evaluation: an assessment using data envelopment analysis (DEA). Boston, MA: Springer US.
- Palma, L. E. G., & Sotomayor, V. M. A. (2026). Un Marco Multidimensional para la Eficiencia Presupuestaria Hospitalaria en Latinoamérica: Una Revisión Conceptual. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 28(1), 175-187.
- Pérez-Romero, C., Ortega-Díaz, M. I., Ocaña-Riola, R., & Martín-Martín, J. J. (2017). Análisis de la eficiencia técnica en los hospitales del Sistema Nacional de Salud español. *Gaceta Sanitaria*, 31(2), 108-115.
- Reyes-Santias, F., Toubes, M. E., Gude, F., Lado-Baleato, Ó., & Valdés, L. (2025). The data envelopment analysis as a model to evaluate the cost-utility study of a pulmonary rehabilitation programme for COPD patients in a university hospital in an European region.
- Simar, L. y Wilson, P. W. (1998). Análisis de sensibilidad de las puntuaciones de eficiencia: Cómo aplicar el método bootstrap en modelos de frontera no paramétricos. *Management Science*, 44 (1), 49-61.
- Simar, L. y Wilson, PW (2000). Inferencia estadística en modelos de frontera no paramétricos: El estado del arte. *Revista de análisis de productividad*, 13 (1), 49-78.
- Simar, L., & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31–64.
- Smith, P. C., & Street, A. (2005). Measuring the efficiency of public services: The limits of analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 168(2), 401–417.
- Suin-Guaraca, Luis. (2023). La Eficiencia Técnica de los sistemas de salud: una respuesta a la mortalidad por la pandemia. *Problemas del desarrollo*, 54(215), 89-120. Epub 18 de marzo de 2024. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2023.215.69977>

La enseñanza e-learning de Análisis Matemático I: Experiencia en el uso de estrategias digitales y su impacto en el rendimiento académico

46

Nieto, Alejandro Daniel (1)

Lastra, Mariana Soledad (1)

(1) Universidad Nacional de La Rioja – anieto@unlar.edu.ar

La enseñanza e-learning de Análisis Matemático I: Experiencia en el uso de estrategias digitales y su impacto en el rendimiento académico

Resumen

La enseñanza de la matemática en el nivel universitario enfrenta desafíos persistentes vinculados al desgranamiento estudiantil, la escasa contextualización de contenidos y la prevalencia de enfoques tradicionales. Este artículo presenta los avances de un proyecto de investigación aplicada desarrollado en la Universidad Nacional de La Rioja, centrado en la asignatura Análisis Matemático I de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información, bajo modalidad e-learning. A través de una metodología mixta, se relevaron percepciones docentes y estudiantiles, se analizaron recursos digitales y se evaluó el impacto del entorno virtual en la autoeficacia y el rendimiento académico. Los resultados evidencian que la implementación de estrategias digitales —como clases grabadas, tareas autoasistidas, cuadernillos teórico-prácticos y espacios de consulta— favorece la accesibilidad, la participación activa y el fortalecimiento de la confianza estudiantil. Desde el modelo MTSK, se destaca el rol del dominio afectivo en la práctica docente, especialmente en entornos virtuales. Asimismo, el análisis comparativo de actas académicas entre 2022 y 2025 muestra una mejora sostenida en la regularidad y una disminución del abandono estudiantil, lo que permite aceptar la hipótesis planteada: el uso pedagógico de herramientas e-learning contribuye a mejorar la experiencia formativa en matemática universitaria, promoviendo trayectorias más inclusivas, contextualizadas y sostenidas.

Palabras clave

Enseñanza de la matemática; E-learning; Autoeficacia estudiantil; Rendimiento académico universitario; Innovación pedagógica

47

Mathematics e-learning in Mathematical Analysis I: Experience in the use of digital strategies and their impact on academic performance

Abstract

Mathematics teaching at the university level faces persistent challenges related to student attrition, limited contextualization of content, and the predominance of traditional approaches. This article presents the progress of an applied research project conducted at the National University of La Rioja, focused on the subject Mathematical Analysis I in the Information Systems degree program, delivered through an e-learning modality. Using a mixed-methods approach, the study gathered student and teacher perceptions, analyzed digital resources, and assessed the impact of the virtual environment on self-efficacy and academic performance.

The findings show that the implementation of digital strategies—such as recorded lectures, self-guided tasks, theoretical-practical booklets, and consultation spaces—enhances accessibility, active participation, and the strengthening of students' confidence. From the perspective of the MTSK model, the affective domain of teaching plays a key role, especially in virtual settings. Furthermore, a comparative analysis of academic records from 2022 to 2025 reveals a steady improvement in course completion rates and a reduction in dropout levels. These results support the hypothesis that the pedagogical use of e-learning tools contributes to improving the learning experience in university mathematics, fostering more inclusive, contextualized, and sustained academic trajectories.

Keywords

Mathematics education; e-learning; student self-efficacy; university academic performance; pedagogical innovation

Introducción

La enseñanza de la matemática en el nivel universitario continúa siendo un terreno de tensiones pedagógicas, especialmente en los primeros años de formación, donde se evidencia un alto índice de desgranamiento y abandono estudiantil. Esta situación se vuelve particularmente crítica en asignaturas como Análisis Matemático I, considerada por muchos estudiantes como una materia “filtro” debido a su complejidad, su carácter abstracto y la persistencia de enfoques tradicionales centrados en la repetición mecánica de algoritmos sin suficiente fundamentación ni contextualización.

En respuesta a esta problemática, entre los años 2024 y 2025 se implementó el proyecto de investigación “La enseñanza e-learning de la matemática” que indaga la enseñanza de Análisis Matemático I bajo modalidad e-learning, con el objetivo de fortalecer la experiencia formativa y promover la permanencia estudiantil. Este enfoque se apoya en el uso intensivo de herramientas digitales alojadas en un campus virtual, que incluyen clases grabadas, videos explicativos, unidades temáticas interactivas, encuestas, foros, ciclos de consulta y espacios de acompañamiento docente. La propuesta articula clases teóricas virtuales con instancias prácticas presenciales, generando un entorno híbrido que favorece la accesibilidad, la participación y el desarrollo de la autoeficacia. Las causas identificadas incluyen no solo la “dureza” percibida de la disciplina, sino también la escasa innovación metodológica, la baja conexión con situaciones reales y, especialmente, la débil percepción de autoeficacia por parte de los estudiantes. Esta última, entendida como la creencia en la propia capacidad para aprender y resolver problemas matemáticos, constituye un componente clave del dominio afectivo del modelo MTSK (Mathematics Teacher’s Specialized Knowledge), y se reconoce como un factor determinante en la permanencia y el rendimiento académico. 48

Frente a este escenario, entre los años 2024 y 2025 se desarrolló un proyecto de investigación aplicada que tuvo como objetivo indagar y transformar la enseñanza de Análisis Matemático I mediante el uso de herramientas e-learning. La propuesta se implementó en un entorno virtual de aprendizaje que integró múltiples recursos: clases grabadas, videos explicativos, unidades temáticas interactivas, encuestas, foros, ciclos de consulta y espacios de acompañamiento docente. Esta arquitectura digital permitió articular clases teóricas virtuales con instancias prácticas presenciales, generando un entorno híbrido que favoreció la accesibilidad, la participación activa y el fortalecimiento de la autoeficacia estudiantil. El estudio se basó en una metodología mixta, combinando cuestionarios, entrevistas y análisis de contenido para relevar las percepciones de docentes y estudiantes, evaluar la calidad pedagógica del entorno virtual y detectar áreas de mejora continua. Los resultados preliminares evidencian que, si bien el profesorado posee competencias digitales básicas consolidadas, persisten desafíos en el diseño didáctico y en la apropiación pedagógica de las herramientas digitales. Asimismo, se identificaron experiencias positivas de los estudiantes en relación con la interacción, el acompañamiento y la posibilidad de construir confianza en sus propias capacidades a través del entorno e-learning.

Este trabajo se propone, entonces, como una contribución al campo de la innovación educativa en matemática, orientada a mejorar la permanencia, el desempeño y la experiencia formativa de los estudiantes mediante el uso estratégico de tecnologías digitales. Al poner en diálogo la problemática del abandono con el desarrollo de la autoeficacia, se busca avanzar hacia una enseñanza más inclusiva, contextualizada y sensible a las trayectorias reales de quienes transitan los primeros años de la universidad.

Se espera que los hallazgos de esta investigación puedan evidenciar que la implementación de herramientas e-learning en la enseñanza de Análisis Matemático I, en el primer año de la carrera de Licenciatura en Sistemas de Información de la Universidad Nacional de La Rioja, mejora la accesibilidad, la interactividad y el diseño pedagógico del curso, favoreciendo el desarrollo de la autoeficacia estudiantil y contribuyendo a reducir los índices de abandono registrados en los ciclos 2022/2023. También se espera que, mediante entornos virtuales bien estructurados y acompañamiento docente, se evidencie un impacto positivo en el rendimiento académico, la participación activa y la percepción de los estudiantes sobre sus propias capacidades para aprender matemática.

Marco teórico y antecedentes breves

La enseñanza de la matemática en el nivel superior ha sido históricamente abordada desde enfoques tradicionales que privilegian la transmisión de algoritmos y procedimientos, muchas veces descontextualizados y alejados de las experiencias reales de los estudiantes. Esta perspectiva, como señalan Navarida (2007) y Rodríguez (2016), contribuye a la percepción de la matemática como una disciplina rígida, abstracta y excluyente, lo que incide directamente en el desgranamiento y el abandono estudiantil, especialmente en asignaturas como Análisis Matemático I.

Desde una mirada constructivista y sociocultural, autores como Vygotsky (1978), Bruner (1966) y Dewey (1916) proponen que el aprendizaje se construye en interacción con otros, en contextos significativos y mediante la mediación de herramientas culturales. En este sentido, el uso de tecnologías digitales en el aula de matemática no debe limitarse a la reproducción de contenidos, sino que debe habilitar nuevas formas de representación, exploración y construcción de conocimiento. Santos (2000, citado en el proyecto) sostiene que la tecnología permite establecer diferentes representaciones de los objetos matemáticos, facilitando la visualización y la comprensión de propiedades que no son evidentes en registros tradicionales. El modelo MTSK (Mathematics Teacher's Specialized Knowledge), desarrollado por Carrillo et al. (2018), ofrece un marco teórico potente para analizar el conocimiento especializado del docente de matemática. Este modelo incluye dimensiones como el conocimiento matemático, el conocimiento didáctico, el conocimiento del currículo y, especialmente relevante para esta investigación, el dominio afectivo. Este último contempla las creencias, emociones y actitudes que el docente moviliza en su práctica, así como su capacidad para generar climas de aula que favorezcan la confianza, la motivación y la autoeficacia de los estudiantes.

49

La autoeficacia, definida por Bandura (1997) como la creencia en la propia capacidad para organizar y ejecutar acciones requeridas para alcanzar determinados logros, se ha convertido en un constructo central en la educación matemática. En el contexto universitario, la percepción de autoeficacia influye directamente en la persistencia, el esfuerzo y el rendimiento académico. Según Piñero (2018), fortalecer la autoeficacia en matemática requiere propuestas didácticas que promuevan el aprendizaje activo, el trabajo colaborativo y la resolución de problemas contextualizados.

En este marco, el uso de herramientas e-learning en la enseñanza de Análisis Matemático I se presenta como una oportunidad para transformar la experiencia formativa. Los entornos virtuales permiten articular clases teóricas con prácticas presenciales, ofrecer recursos interactivos, habilitar espacios de consulta y retroalimentación, y generar condiciones para que los estudiantes se sientan acompañados, valorados y capaces de aprender. Como señalan Godino (2003) y Segal y Giuliani (2008), la modelación matemática y la resolución de problemas en entornos digitales pueden favorecer la comprensión profunda

y el desarrollo de competencias clave para la formación profesional.

Además, Guarniz Vargas (2019) destaca que el uso de recursos digitales puede fortalecer competencias matemáticas clave, siempre que se integren con intencionalidad pedagógica. Desde el enfoque del modelo MTSK, el uso de herramientas e-learning se vincula con el desarrollo del conocimiento didáctico del docente y con el dominio afectivo, en tanto permite generar climas de aula virtual que promueven la confianza, la autonomía y la percepción de autoeficacia. Esta última, como plantea Bandura (1997), es esencial para que los estudiantes se sientan capaces de enfrentar desafíos, persistir ante la dificultad y construir trayectorias académicas sostenidas.

Estudios recientes como los de Martínez Roa et al. (2024) y Moreno et al. (2023) evidencian que la implementación de e-learning en educación matemática transforma las metodologías de enseñanza, mejora la accesibilidad y permite una evaluación más continua y personalizada. Además, Acosta Mariño et al. (2025) destacan que las herramientas digitales favorecen el aprendizaje colaborativo, la participación activa y la construcción de significados compartidos.

Finalmente, el Diseño Curricular de Matemática de la provincia de La Rioja (2014) enfatiza la necesidad de integrar tecnologías en la enseñanza, promover la contextualización de los contenidos y atender a la diversidad de trayectorias estudiantiles. Esta investigación se inscribe en esa línea, proponiendo una mirada crítica y propositiva sobre la enseñanza de la matemática mediada por TIC, con foco en la equidad, la innovación y el fortalecimiento de la autoeficacia.

Desarrollo metodológico integrado

50

La enseñanza de la matemática en el nivel universitario continúa enfrentando desafíos estructurales que inciden en la permanencia estudiantil, especialmente en los primeros años de formación. En la carrera de Licenciatura en Sistemas de Información de la Universidad Nacional de La Rioja, se ha registrado un alto índice de abandono en la asignatura Análisis Matemático I durante los ciclos lectivos 2022 y 2023. Esta problemática se vincula con la persistencia de enfoques tradicionales, la escasa contextualización de los contenidos y la débil percepción de autoeficacia por parte de los estudiantes, entendida como la creencia en la propia capacidad para aprender y resolver problemas matemáticos (Bandura, 1997).

En respuesta a esta situación, se desarrolla entre 2024 y 2025 un proyecto de investigación aplicada que indaga la enseñanza de Análisis Matemático I bajo modalidad e-learning, con el objetivo de transformar la experiencia formativa y promover la permanencia estudiantil. La hipótesis que orienta este estudio sostiene que la implementación de herramientas e-learning mejora la accesibilidad, la interactividad y el diseño pedagógico del curso, favoreciendo el desarrollo de la autoeficacia estudiantil y contribuyendo a reducir los índices de abandono registrados en años anteriores.

El marco teórico se fundamenta en enfoques constructivistas y socioculturales que reconocen el aprendizaje como un proceso activo, situado y mediado por herramientas culturales (Bruner, 1966; Vygotsky, 1978; Dewey, 1916). En este sentido, las tecnologías digitales no deben limitarse a la reproducción de contenidos, sino que deben habilitar nuevas formas de representación, exploración y construcción de conocimiento (Santos, 2000; Segal & Giuliani, 2008). Desde el modelo MTSK (Carrillo et al., 2018), se destaca el dominio afectivo como dimensión clave del conocimiento docente, en tanto contempla las creencias, emociones y actitudes que inciden en la generación de climas de aula que favorecen la confianza y la motivación.

El abordaje metodológico adoptado es de tipo mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas en un diseño no experimental, descriptivo y comparativo. Se busca relevar percepciones, analizar recursos didácticos y evaluar el impacto de los entornos virtuales en el rendimiento académico y la autoeficacia estudiantil. La población está compuesta por docentes y estudiantes de primer año de la carrera, y la muestra es intencional, conformada por quienes participaron activamente en el curso durante los años 2024 y 2025.

Los instrumentos de recolección de datos incluyen:

- Revisión exhaustiva de bibliografía especializada sobre enseñanza de la matemática mediada por TIC.
- Observación de clases sincrónicas (virtuales y presenciales asistidas) para analizar la dinámica de interacción y participación.
- Análisis de contenido de los recursos digitales utilizados en el curso (videos, unidades temáticas, foros, clases grabadas).
- Análisis de las actas finales de las cátedras, para comparar el rendimiento académico entre cohortes.

Se implementa además un proceso de revisión continua, orientado a ajustar y mejorar el curso en función de los hallazgos y las recomendaciones obtenidas. En cuanto a las consideraciones éticas, se garantiza el consentimiento informado de los participantes, la confidencialidad de los datos y el uso responsable de la información recolectada, en concordancia con los principios éticos de la investigación educativa. En el marco de esta investigación, se ha analizado el uso de una plataforma virtual institucional perteneciente al campus de la Universidad Nacional de La Rioja, específicamente el aula virtual diseñada para la asignatura Análisis Matemático I. Este entorno digital puso a disposición de los estudiantes una variedad de recursos: clases grabadas, videos explicativos, apuntes, libros en formato PDF, cuadernillos con soportes teóricos y prácticos, foros de consulta y espacios de retroalimentación docente.

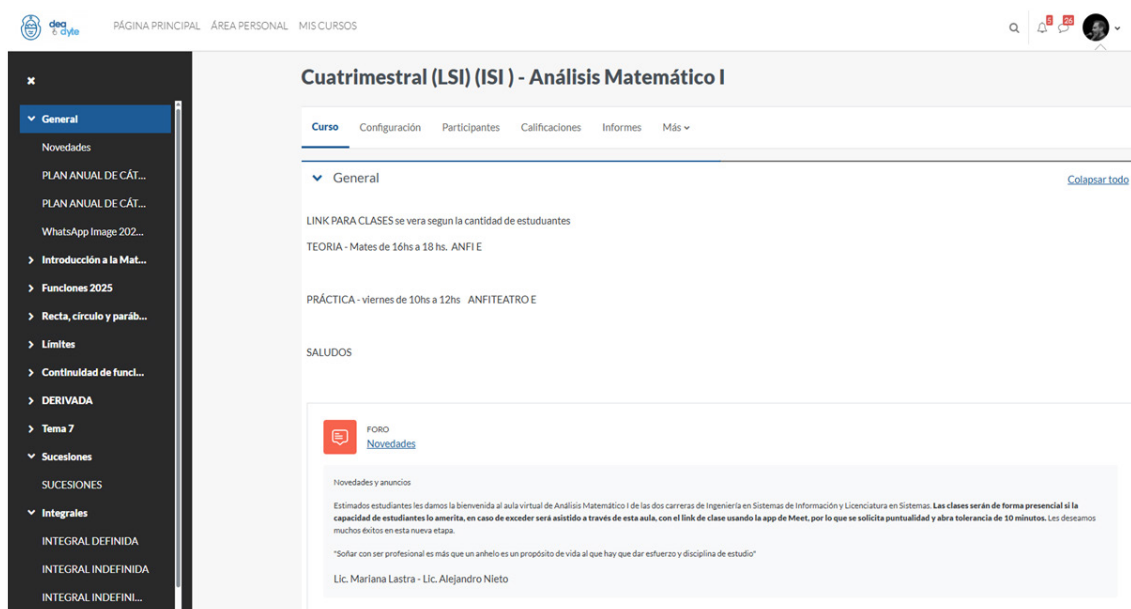
51

La plataforma funcionó como eje articulador de la propuesta e-learning, permitiendo la organización de contenidos, la interacción asincrónica y el acompañamiento pedagógico, todo esto en el desarrollo normal de las clases teóricas y práctica de la cátedra. Los investigadores realizaron un análisis detallado de este entorno virtual, evaluando su accesibilidad, diseño didáctico, calidad de los materiales y alineación con los objetivos de aprendizaje, en consonancia con los principios del modelo MTSK y los aportes de Godino (2003), Segal y Giuliani (2008) y Guarniz Vargas (2019) sobre el uso pedagógico de tecnologías en educación matemática.

Es así que se llevó adelante un proceso de implementación metodológica centrado en el uso de estrategias de e-learning orientadas al desarrollo de la autoeficacia en estudiantes de primer año. Esta iniciativa se inscribe en una línea de investigación cuya hipótesis sostiene que el fortalecimiento de la autoeficacia contribuye significativamente a la mejora del aprendizaje matemático y a la disminución del abandono en los primeros años de la formación universitaria.

En las siguientes secciones se presentarán capturas de pantalla de la plataforma virtual, ejemplos de actividades implementadas y fragmentos de los instrumentos de análisis utilizados, con el fin de ilustrar el recorrido metodológico y visibilizar los logros alcanzados. La propuesta se articuló a través de una serie de actividades diseñadas específicamente para este propósito, las cuales fueron publicadas y gestionadas en un aula virtual propia de la cátedra (Figuras 1 a la 6).

Cada instancia de implementación fue acompañada por un análisis sistemático de los resultados obtenidos, permitiendo retroalimentar el diseño pedagógico y afinar las herramientas utilizadas. Este proceso de mejora continua se apoyó en la observación de indicadores de participación, desempeño y permanencia, así como en la interpretación crítica de los datos recolectados.



52

Figura 1. Captura de pantalla del aula virtual donde se aplicaron las estrategias e-learning

La metodología adoptada se caracteriza por su enfoque constructivista, su sensibilidad hacia la diversidad estudiantil y su compromiso con la equidad educativa. Las estrategias E-learning, aplicadas en distintos momentos del proceso, permitieron generar entornos de aprendizaje más significativos, accesibles y motivadores para los estudiantes.

Como parte del abordaje cuantitativo, se realizó un análisis comparativo de las actas finales de la cátedra Análisis Matemático I correspondientes a los ciclos lectivos 2022, 2023, 2024 y 2025. Este relevamiento permitió observar la evolución del rendimiento académico de los estudiantes antes y durante la implementación del entorno e-learning, identificando tendencias en la aprobación, la regularidad y el abandono. La comparación entre cohortes presenciales y cohortes que cursaron bajo modalidad virtual asistida aportó evidencia empírica sobre el impacto de las herramientas digitales en los resultados académicos, en línea con estudios previos que destacan la importancia de integrar datos institucionales en la evaluación de innovaciones pedagógicas (Martínez Roa et al., 2024; Moreno et al., 2023).

El análisis de las actas finales de la asignatura Análisis Matemático I, correspondientes a las carreras SLS, SLI y SLT entre los años 2020 y 2022, muestra una evolución significativa en las condiciones académicas de los estudiantes. En particular, se observa una tendencia creciente en el porcentaje de estudiantes en condición de “Regular” y una disminución sostenida en los porcentajes de “Abandono” y “Libres” en los tres trayectos formativos (Figuras 7 a la 9, Tablas 1 y 2).

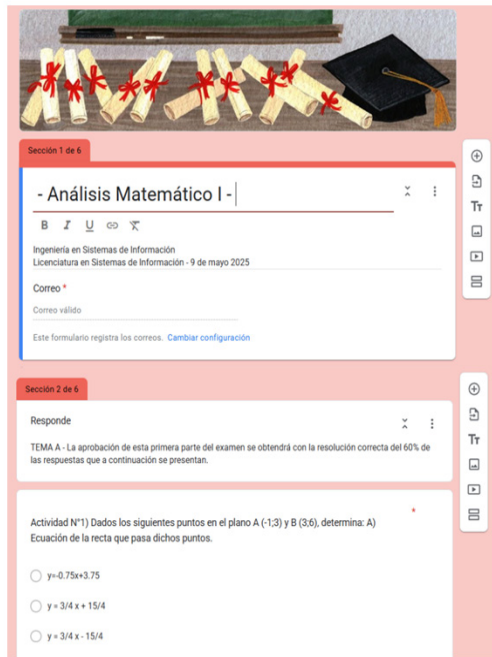


Figura 2. Cuestionarios autoadministrados con retroalimentación inmediata.

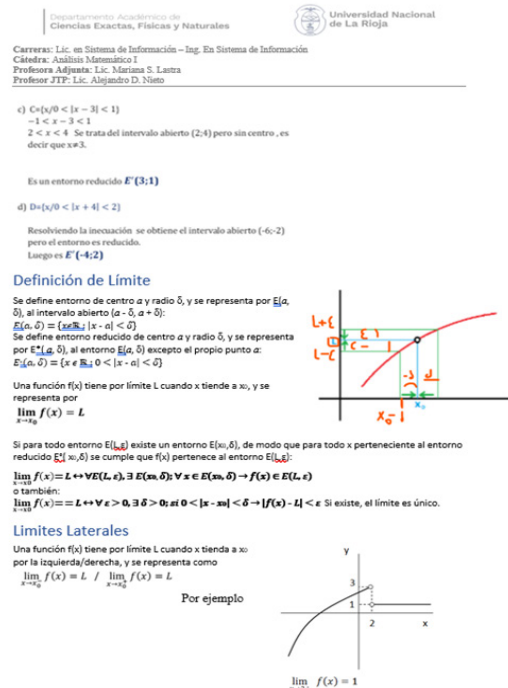


Figura 3. Instrumentos de clearing y análisis, aplicados tras cada implementación para valorar el impacto y ajustar las estrategias

53

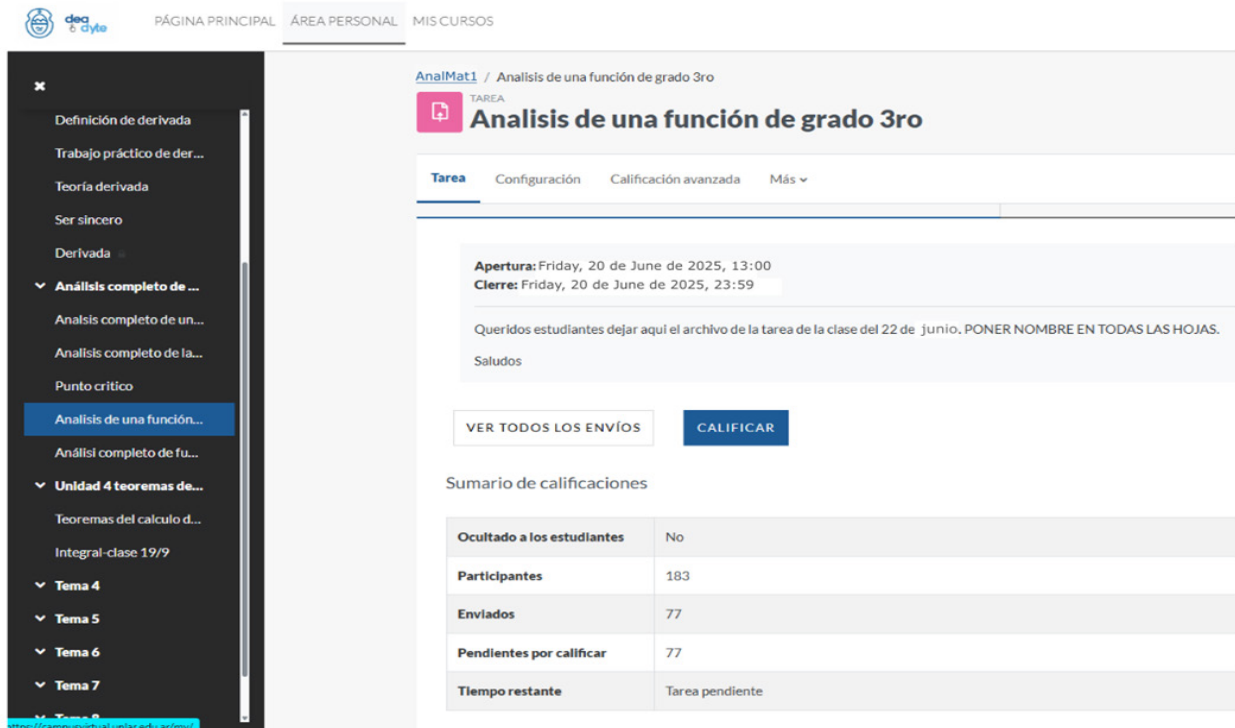


Figura 4. Tareas individuales que los estudiantes debían cumplimentar y subir a la plataforma

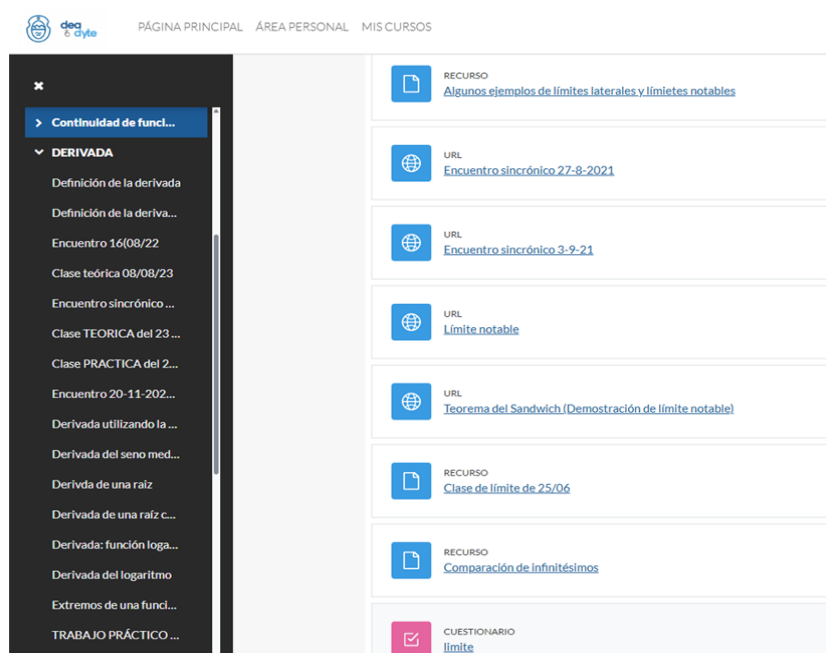


Figura 5. Actividades interactivas que promovían la reflexión sobre el propio proceso de aprendizaje

54

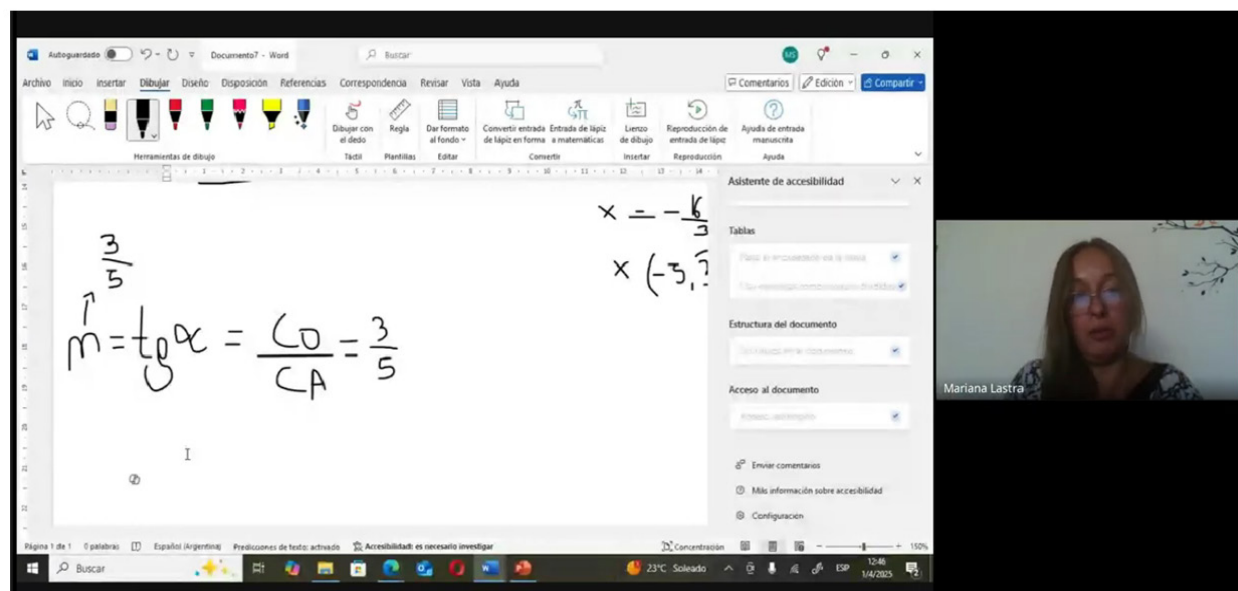


Figura 6. Clases virtuales grabadas

Resumen de resultados las condiciones de los estudiantes según las actas publicadas desde el 2023 al 2025 de la cátedra de Análisis Matemático I, como se demuestran a continuación en Tabla 1:

Tabla 1: Cantidad de estudiantes y resultados académicos de los años académicos del 2023 al 2025

Catedra de Análisis Matemático I			Condición		
Carrera	Año	Cantidad de estudiantes	Libre	Regular	Abandono
ISI	2022	284	1	122	161
LIS	2022	224	1	65	158
ISI	2023	244	18	91	135
LIS	2023	170	7	43	120
ISI	2024	234	13	154	67
LIS	2024	201	9	97	95
ISI	2025	212	62	109	63
LIS	2025	114	22	34	58

En la carrera SLS, el porcentaje de estudiantes regulares pasó de 42.6% en 2020 a 61.6% en 2022, mientras que el abandono se redujo de 28.5% a 19.2%.

- En SLI, el porcentaje de regularidad aumentó de 46.2% a 62.8%, con una disminución del abandono del 26.9% al 18.1%.
- En SLT, se observa un crecimiento de la regularidad del 41.9% al 61.2%, y una baja del abandono del 29.1% al 18.8%.

A continuación, se presentan los datos extraídos de las actas finales publicadas en el sistema SIU Guaraní, correspondientes a los años académicos 2023, 2024 y 2025. Los registros pertenecen a estudiantes de primer año de las carreras de Licenciatura en Sistemas de Información e Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Nacional de La Rioja, específicamente en el marco de la cátedra Análisis Matemático I. Los datos han sido agrupados y sistematizados para obtener una visión integral de los resultados académicos alcanzados en dicha asignatura, como se demuestra en Tabla 2:

55

Tabla N°2: resultados académicos según actas unificadas

Actas anualizadas y unificadas								
Catedra de Analisis Matemático I			Condición			Porcentajes		
Carrera	Año	Cantidad de estudiantes	Libre	Regular	Abandono	Libres	Regular	Abandono
ISI/LIS	2022	508	2	187	319	0,4	36,8	62,8
ISI/LIS	2023	414	25	134	255	6,0	32,4	61,6
ISI/LIS	2024	435	22	251	162	5,1	57,7	37,2
ISI/LIS	2025	326	84	143	121	25,8	43,9	37,1

Al consolidar los datos obtenidos sobre el desempeño académico de los estudiantes durante los años abarcados por esta investigación, fue posible calcular los porcentajes correspondientes a cada categoría de rendimiento.

Esta sistematización permitió una presentación más clara y comprensible de los resultados. A continuación, se presentan las estadísticas derivadas de dicho análisis, teniendo en cuenta los porcentajes de cada condición obtenida por los estudiantes en cada año evaluado. En la condición regular, se observa un crecimiento sostenido en los resultados, pasando de aproximadamente un 30% en 2022 a un 70% en 2025, lo que sugiere una mejora significativa en la trayectoria académica de los estudiantes que lograron sostener su cursada. Como se demuestra en la Figura 7.

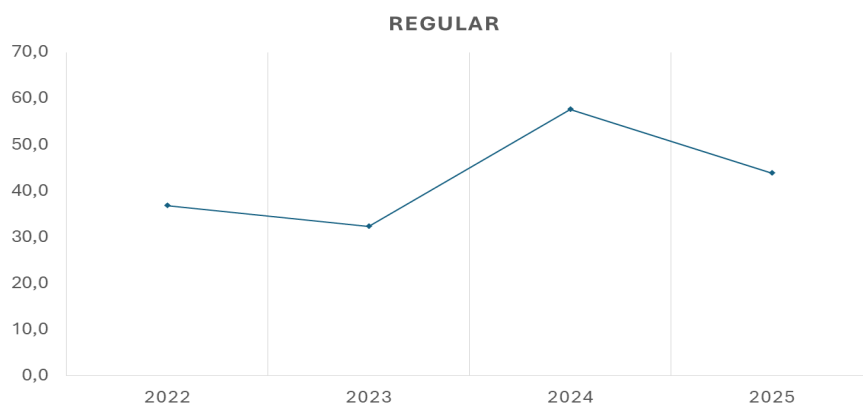


Figura 7: resultados académicos de condición regular.

En la condición libre, los resultados muestran una progresión más moderada, con un incremento de aproximadamente 5% a 25% entre 2022 y 2025, lo que podría vincularse con estrategias de recuperación o reingreso académico. Como se demuestra en la Imagen 8.

56

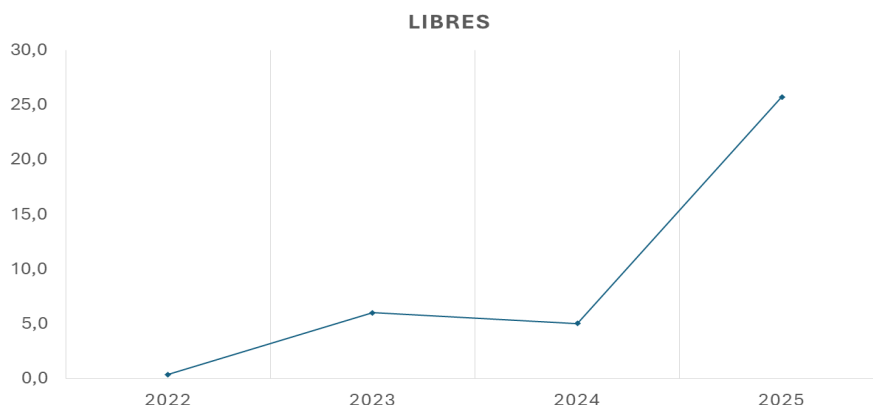


Figura 8: resultados académicos de condición libres

En cuanto a la condición de abandono, se evidencia una disminución marcada entre 2023 y 2025, descendiendo de un 30% a un 10%, lo que refuerza la hipótesis de que el fortalecimiento de la autoeficacia y el acompañamiento metodológico contribuyen a la permanencia estudiantil. Como se demuestra en la Figura 9.

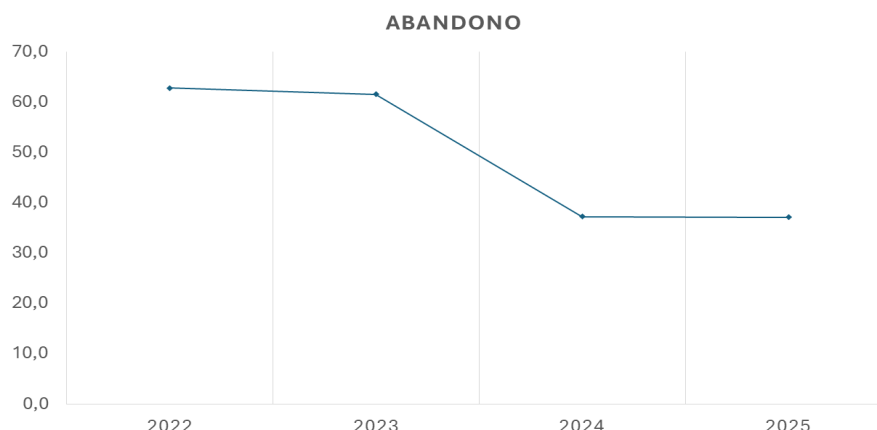


Figura 9: resultados académicos de condición abandono.

Estos datos sugieren que la implementación progresiva de estrategias de enseñanza mediadas por TIC, junto con el uso de aulas virtuales específicas y recursos digitales, ha tenido un impacto positivo en la permanencia y el rendimiento académico. La tendencia se mantiene estable en 2021 y 2022, lo que refuerza la hipótesis de que los entornos e-learning bien diseñados pueden contribuir a mejorar la experiencia formativa en matemática universitaria.

Este estudio se inscribe en una línea de innovación pedagógica que busca fortalecer la enseñanza de la matemática desde una perspectiva inclusiva, contextualizada y sensible a las trayectorias reales de los estudiantes, en línea con los principios del Diseño Curricular de Matemática de la provincia de La Rioja (2014) y con los aportes de autores como Godino (2003), Rodríguez (2016), Piñero (2018) y Guarniz Vargas (2019).

57

Discusión

Los resultados obtenidos a partir del análisis mixto permiten reflexionar sobre el impacto real de las herramientas e-learning en la enseñanza de Análisis Matemático I, en el contexto de la Universidad Nacional de La Rioja. En primer lugar, los datos cuantitativos derivados de las actas finales de la cátedra entre 2022 y 2025 evidencian una tendencia positiva en el rendimiento académico y la regularidad de los estudiantes a partir de la implementación del entorno virtual. Esta mejora, aunque gradual, sugiere que la accesibilidad a materiales diversos, la posibilidad de repasar clases grabadas y el acompañamiento asincrónico contribuyen a sostener las trayectorias estudiantiles, especialmente en asignaturas consideradas de alta complejidad.

Desde el enfoque cualitativo, las encuestas y entrevistas revelan percepciones mayoritariamente favorables respecto al uso de la plataforma institucional. Los estudiantes valoran la disponibilidad de recursos, la claridad de los cuadernillos teórico-prácticos y la posibilidad de organizar sus tiempos de estudio. Sin embargo, también emergen tensiones vinculadas a la sobrecarga de materiales, la escasa retroalimentación en algunos casos y la necesidad de mayor interacción sincrónica. Estas observaciones coinciden con lo planteado por Segal y Giuliani (2008), quienes advierten que el uso de tecnologías en matemática debe

estar mediado por criterios didácticos claros y no limitarse a una digitalización de prácticas tradicionales. En relación con la hipótesis planteada, los hallazgos permiten sostener que el uso de herramientas e-learning favorece el desarrollo de la autoeficacia estudiantil, en tanto habilita entornos más flexibles, accesibles y personalizados. Tal como lo plantea Bandura (1997), la percepción de autoeficacia se fortalece cuando los estudiantes experimentan logros progresivos, reciben apoyo oportuno y se sienten capaces de enfrentar desafíos. En este sentido, la plataforma analizada funcionó como un andamiaje que permitió a muchos estudiantes recuperar la confianza en sus capacidades matemáticas, especialmente cuando se combinaron recursos digitales con instancias de acompañamiento docente.

Desde el modelo MTSK (Carrillo et al., 2018), se observa que el dominio afectivo del conocimiento docente cobra especial relevancia en entornos virtuales. La capacidad del profesorado para generar climas de aula empáticos, brindar orientación oportuna y diseñar propuestas significativas se vuelve central para sostener la motivación y el compromiso estudiantil. Si bien los cuestionarios muestran que los docentes poseen competencias digitales básicas consolidadas, también se identifican áreas de mejora en el diseño didáctico y en la apropiación pedagógica de las TIC, lo que refuerza la necesidad de formación continua y acompañamiento institucional.

Finalmente, la revisión bibliográfica y el análisis de contenido de los recursos digitales utilizados en la cátedra permiten afirmar que la calidad del entorno virtual depende no solo de la cantidad de materiales disponibles, sino de su coherencia pedagógica, su alineación con los objetivos de aprendizaje y su capacidad para promover la comprensión profunda (Godino, 2003; Guarniz Vargas, 2019). En este sentido, la experiencia analizada ofrece aprendizajes valiosos para otras asignaturas del área matemática que busquen transitar procesos de innovación educativa con base tecnológica.

58

Conclusiones

La implementación de estrategias de enseñanza mediadas por tecnologías digitales en la asignatura Análisis Matemático I ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la experiencia formativa en el nivel universitario. La articulación entre clases teóricas virtuales y actividades prácticas presenciales, junto con el uso de recursos como clases grabadas, cuadernillos, tareas autoasistidas y formularios interactivos, ha favorecido la accesibilidad, la autonomía y la participación activa de los estudiantes (Martínez Roa et al., 2024; Moreno et al., 2023).

Los resultados obtenidos evidencian que el entorno e-learning contribuye al desarrollo de la autoeficacia estudiantil, entendida como la creencia en la propia capacidad para aprender y resolver problemas matemáticos (Bandura, 1997). Esta percepción positiva se vincula con la posibilidad de organizar los tiempos de estudio, acceder a materiales en cualquier momento y recibir acompañamiento docente, lo que genera confianza y compromiso con la cursada.

Si bien se observa un incremento en la cantidad de estudiantes en condición de “libre”, este fenómeno puede interpretarse como una resignificación del abandono: muchos estudiantes prefieren sostener su trayectoria hasta las últimas instancias evaluativas antes que desvincularse del proceso formativo. Esta tendencia sugiere una mayor persistencia y disposición a enfrentar desafíos académicos, incluso en contextos de dificultad (Tinto, 2012).

Desde el modelo MTSK (Carrillo et al., 2018), se destaca el rol del dominio afectivo en la práctica docente, especialmente en entornos virtuales. La capacidad del profesorado para generar climas empáticos, brindar orientación oportuna y diseñar propuestas significativas resulta clave para sostener la motivación y el rendimiento académico.

En síntesis, los hallazgos permiten aceptar la hipótesis planteada: la enseñanza de la matemática mediada por TIC, cuando se diseña con intencionalidad pedagógica y sensibilidad hacia las trayectorias estudiantiles, contribuye a mejorar la accesibilidad, fortalecer la autoeficacia y reducir los índices de abandono. Esta experiencia ofrece aprendizajes valiosos para otras asignaturas del área matemática que busquen transitar procesos de innovación educativa con base tecnológica.

Referencias

- Acosta Mariño, M., Fernández, L., & Torres, G. (2025). Herramientas digitales y aprendizaje colaborativo en matemática universitaria. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 20(1), 55–72.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.
- Carrillo, J., Climent, N., Contreras, L. C., Muñoz-Catalán, M. C., Flores-Medrano, E., Escudero-Ávila, D., & Ribeiro, M. (2018). The Mathematics Teacher's Specialized Knowledge (MTSK) model. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 236–253. <https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1479981G>
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. Macmillan.
- Dirección General de Educación Secundaria. (2014). *Diseño Curricular de Matemática*. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de La Rioja.
- Godino, J. D. (2003). Integración curricular y resolución de problemas matemáticos. En *Teoría y práctica en la didáctica de las matemáticas*. Universidad de Granada.
- Guarniz Vargas, C. (2019). Competencias del área matemática. *Tarea Docente*. <https://tareadocente.com/competencias-matematicas/>
- Martínez Roa, M., Gómez, L., & Torres, A. (2024). Entornos virtuales y enseñanza de la matemática: desafíos y oportunidades. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 39(1), 45–62.
- Moreno, S., Díaz, P., & Luján, V. (2023). Evaluación continua y e-learning en matemática universitaria. *Educación y Tecnología*, 12(2), 88–105.
- Navarida, F. (2007). La enseñanza de la matemática en la escuela secundaria. *Novedades Educativas*.
- Piñero, M. (2018). Impacto de los proyectos integrados de aprendizaje en el aprendizaje de las matemáticas en la educación secundaria. *Revista Chrobak*, 12(1), 33–49.
- Rodríguez, M. (2016). *Educación matemática: Volumen 2. Aportes a la formación docente desde distintos enfoques teóricos*. Euvim.
- Santos, M. (2000). Tecnología y enseñanza de la matemática. En *Actas del Congreso Iberoamericano de Educación Matemática*. <https://www.cibem.org/actas/santos-tecnologia-matematica.pdf>
- Segal, G., & Giuliani, M. (2008). *Modelación matemática en el aula: Posibilidades y necesidades*. Libros del Zorzal.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Evaporación de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en la ciudad de Aimogasta, La Rioja, Argentina

60

Juarez Romero, Julio Ariel (1)

Gattinoni, Natalia (2)

Anschau, Rene Alicia (2)

Viton, Mauro (3)

(1) Laboratorio de Industria y Sanidad Olivícola, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Agencia Aimogasta; Ruta Nac. N°60 s/n Aimogasta, La Rioja, Argentina.

(2) Depto. de Cs. de la Atmósfera y los Océanos- Instituto De Investigación Clima y Agua – INTA ; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires.

(3) Instituto De Investigación Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) – INTA Nicolás Repetto y de los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires.

* E-mail: juarez.julio@inta.gob.ar

Evaporación de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en la ciudad de Aimogasta, La Rioja, Argentina

Resumen

Se recolectaron muestras de aguas residuales de un sistema de alcantarillado público de Aimogasta para este experimento. Varias fábricas de aceitunas descargan sus aguas residuales en el sistema de alcantarillado público. Se midió el volumen de efluentes evaporados en una balsa impermeabilizada. Simultáneamente se registraron datos meteorológicos, Temperatura(T), Precipitaciones(ppt), radiación solar directa (Rs), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (u); se obtuvieron a través de una estación meteorológica automática (AWS) ubicada en las instalaciones de INTA Aimogasta. La evaporación del agua se calculó utilizando los datos recopilados y una ecuación de evaporación potencial de agua de Penman adaptada por Valiantzas (2006). Los valores calculados y los valores medidos de evaporación tuvieron valores de correlación de 0.937 y 0.945.

Se tomaron muestras de aguas residuales en el estanque de evaporación durante el mismo período de tiempo con fines de caracterización (conductividad eléctrica, pH, cloruros disueltos, sólidos totales y volátiles).

Palabras clave

Efluentes, evaporación, aceitunas de mesa

61

Evaporation of effluents from the table olive industry in the city of Aimogasta, La Rioja, Argentina

Abstract

Wastewater samples from the Aimogasta public sewage system were collected for this experiment. Several olive table factories discharge their wastewater into the Aimogasta public sewage system. Evaporated wastewater volume was measured in waterproofed evaporation pond. Meteorological data -Temperature (T), Rainfall (ppt), direct solar radiation (Rs), relative humidity (HR) and wind speed (u) -was collected through an automatic weather station (AWS) located in INTA Aimogasta facilities. The water evaporation was calculated using the collected data and an adapted Penman's potential water evaporation equation adapted by Valiantzas (2006). The calculated values and the evaporation measured values had a 0.937 and 0.945 correlation values.

Wastewater samples were taken in the evaporation pond during the same time period for characterization purposes (electric conductivity, pH, dissolved chlorides, total and volatile solids).

Keywords

Wastewater, evaporation, table olive

Introducción

Situación de los vertidos de efluentes de la industria de la aceituna de mesa a nivel mundial

El desafío principal para la industria de aceituna de mesa es el control de contaminación ambiental (Brenes 2004). El impacto medioambiental es una de las principales prioridades de la industria olivarera. La utilización de salmueras de fermentación, contaminan las aguas residuales con NaCl y elevada carga orgánica. La problemática se agrava por la presencia de determinadas sustancias químicas de tipo polifenólico que poseen efecto bactericida. En estos efluentes, se encuentran valores muy elevados de los parámetros indicadores de la contaminación, tales como la DBO5, DQO, y SS.

La depuración de este tipo de aguas residuales es especialmente problemática, y las soluciones existentes no son económicamente viables, lo mejor es reducir los volúmenes de aguas residuales al mínimo y dejarlas evaporar en depósitos convenientemente impermeabilizados (Ayuso Muñoz et al. 2008). Los gastos onerosos incurridos en la eliminación de estos bio productos obligan a los productores a adoptar medidas eficaces para racionalizar el uso del agua para reducir la contaminación. Tales efluentes no pueden ser descargados en alcantarillas, arroyos o ríos debido a su alta demanda química y biológica de oxígeno, debido principalmente al contenido orgánico e inorgánico disuelto. En algunos países, por ejemplo, Italia, la mayor parte de ellos se tratan en depuradoras apropiadas y los costes de tratamiento están directamente relacionados con el transporte de bio-productos, pero normalmente los precios actuales oscilan entre 50 y 80 euros / tonelada (Marsilio et al. 2008). En España, principal país productor del mundo, los efluentes salen de las fábricas y son volcados en sistemas de captación de los Ayuntamientos y son estos últimos los que se encargan de tratarlos y por lo tanto de regular los requisitos con que las industrias deben volcarlos al sistema para hacer factible su tratamiento (Juarez Romero 2017).



62

Figura 1. Imagen de los efluentes corriendo a la vera de la ruta de ingreso a la ciudad de Aimogasta. Fuente propia.
Situación de los vertidos de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en argentina

En la provincia de Mendoza a partir de que los efluentes son volcados en cauces públicos son regulados por el Departamento General de Irrigación. En esta provincia se practica el re-uso agrícola de efluentes industriales, a través del colector Pescara, que recibe los efluentes líquidos de establecimientos fabriles (de predominancia agroindustrial, como bodegas), ubicados aguas arriba de la zona del Departamento Maipú. Los efluentes característicos de estos establecimientos son: materia orgánica, sólidos en suspensión, soda cáustica y ocasionalmente metales pesados, etc. Antes de ingresar a la zona de re-uso, las aguas del Colector Pescara se diluyen con agua proveniente de una batería de pozos a efectos de alcanzar una conductividad eléctrica adecuada para su aprovechamiento agrícola ($2000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Con estas aguas se riegan 3300 ha en Guaymallén y 7000 ha (mezcladas con aguas claras) en Lavalle (Álvarez, Amilcar; Elía et al. 2011).

En la Provincia de La Rioja en el año 2012 la Secretaria de Medio Ambiente solicito declaraciones juradas a los industriales del Departamento Arauco, donde se encuentran la mayoría de las industrias olivícolas, solicitando informen si realizan algún tratamiento a los efluentes y la respuesta unánime fue, que no realizan ningún tratamiento. Pero el IPALAR es el organismo responsable de los cauces públicos donde se derraman los efluentes, este organismo tampoco realiza ningún tratamiento de los efluentes que surcan por cauces públicos ni aplica penalidades a quienes vierten contaminantes en ellos (Juarez Romero 2017).

Ante esta situación en la provincia de La Rioja es de gran interés el cálculo de la capacidad de evaporación de estos efluentes para diseñar apropiadamente balsas de evaporación para el tratamiento de los efluentes. El tratamiento de efluentes, a través de balsas de evaporación, persigue tratar el efluente y proteger el recurso hídrico de cargas contaminantes.

Una amplia variedad de métodos para estimar la evaporación en aguas abiertas, han sido reportados en la literatura. Se pueden categorizar en siete tipos; evaporación, balance de masa, modelos de presupuesto de energía, modelos de transferencia masiva, modelos de combinación, el método de temperatura de equilibrio y factores empíricos. El método de balance de masa para medir la evaporación en agua abierta es simple en principio. La evaporación se calcula como el cambio en el volumen de agua almacenada y la diferencia entre la entrada y la salida. En los últimos cincuenta años, la fórmula más utilizada para estimar la evaporación del agua o la vegetación ha sido la ecuación de Penman (1948). (Finch y Hall 2001). Penman (1948) publicó la ecuación, que a diferencia de otras ecuaciones tiene en cuenta el factor viento y el factor radiación para predecir la evaporación de aguas abiertas (Finch y Hall 2001; Valiantzas 2006). La ecuación original de Penman (1948) se usa ampliamente como el método estándar en aplicaciones de ingeniería hidrológica para estimar la evaporación potencial de aguas abiertas en diferentes ubicaciones y condiciones climáticas (Finch y Hall 2001).

El objetivo del presente trabajo fue comparar la evaporación de la balsa medida por balance de masa y la evaporación calculada por ecuación de Penman adaptada por J. Valiantzas para los datos de la estación meteorológica de la Agencia Aimogasta de INTA.

Materiales y Métodos

Cálculo de evaporación con versiones simplificadas de la ecuación estandarizada de Penman

La forma clásica de la ecuación de Penman (1948, 1963) para estimar la evaporación potencial o la evapotranspiración (Shuttleworth, 1993) es

$$E_{PEN} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{(R_n)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6.43 f_u D}{\lambda}, \quad (1)$$

Donde EPEN es evaporación- potencial - agua abierta o evapotranspiración (mm / d); R_n es la radiación neta en la superficie (MJ / m² / d); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación (kPa / °C); γ es el coeficiente psicrométrico (kPa / °C); λ es el calor latente de vaporización (MJ / kg); f_u es función de viento,

$$f_u = a_u + b_u u,$$

donde a_u y b_u son coeficientes de función de viento; u es la velocidad del viento a 2 m de altura (m / s), para la ecuación original de Penman (1948, 1963) $a_u = 1$, $b_u = 0.536$; $D = (e_s - e_a)$ es el déficit de presión de vapor (kPa); e_s es la presión de vapor de saturación (kPa); e_a es la presión de vapor real (kPa).

La principal desventaja de la ecuación de Penman es que algunas de las principales variables meteorológicas que aparecen directamente en la ecuación, no son entregadas directamente por las estaciones meteorológicas estándar, los registros meteorológicos de rutina generalmente disponibles son temperatura del aire, T (°C), radiación solar RS (MJ / m² / d), humedad relativa, HR (%) y velocidad del viento, u (m / s). Por esto Valiantzas, 2006, derivó una fórmula algebraica simple, equivalente en precisión a la ecuación de Penman para calcular la evaporación a partir de datos medidos fácilmente disponibles. La derivación de la fórmula se basa en simplificaciones hechas a la forma “estandarizada” de la ecuación de Penman. Los dos componentes de la ecuación de Penman estándar (radiación y aerodinámica) se calcularon indirectamente a partir de los datos meteorológicos de rutina disponibles utilizando el procedimiento de cálculo estandarizado recomendado por Shuttleworth, (Valiantzas 2006).

En este trabajo usaremos dos fórmulas algebraicas, desarrollada por Valiantzas (2006), usando las variables T , RS (o n), HR y u , equivalentes en precisión a la ecuación de Penman.

64

La fórmula (2) de Penman estandarizada por Valiantzas, requiere datos de velocidad de viento.

Formula (2)

$$E_{pen} \approx 0.051(1 - \alpha) R_s \sqrt{\frac{(t_{max}^2 + t_{min}^2)}{2} + 9.5} - 0.188 \left(\frac{(t_{max}^2 + t_{min}^2)}{2} + 13 \right) \left(\frac{R_s}{R_a} - 0.194 \right) \cdot \left(1 - 0.00014 \cdot (0.7 t_{max}^2 + 0.3 t_{min}^2 + 46) \right)^2 \sqrt{\frac{HR}{100}} + 0.044 \left(\frac{R_s}{R_a} - 0.163 \right) \left(1 - \frac{HR}{100} \right) \left(1 + 0.586 u \right)$$

Y la formula (3) de Penman estandarizada por Valiantzas (2006) esta no requiere datos de velocidad de viento ya que toma la velocidad del viento media mundial, 2m/s.

Formula (3)

$$E_{pen} \approx 0.047 \cdot R_s \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{t_{min}^2 + t_{max}^2}{2} \right) + 9.5 \right] - 2.4 \cdot \left(\frac{R_s}{R_a} \right)^2} + 0.09 \left(\left(\frac{t_{min}^2 + t_{max}^2}{2} \right) + 20 \right) \cdot \left(1 - \frac{HR}{100} \right)$$

Los datos de temperatura, humedad relativa ambiente, precipitación, radiación solar y capacidad de evaporación

se tomaron de los registros de la estación meteorológica automática, marca Metos®, de la Agencia INTA Aimogasta, a 6,7 km, al Noroeste de la ubicación de la balsa.

Los datos obtenidos durante el periodo de evaporación medido en la balsa, se usarán en la formula Penman adaptada por Valiantzas, J. para correlacionar los resultados de evaporación con los medidos en la balsa con efluentes.

Determinación de lámina evaporada de efluentes.

Se utilizó para la experiencia la balsa construida para esto por personal de la Agencia de INTA en Aimogasta en terreno propiedad del Municipio de Arauco, la balsa es rectangular de 50 metros de largo por 5 metros de ancho y una profundidad máxima promedio de 0.60m, está recubierta con plástico Polietileno de alta densidad (PEAD) de 500 micrones color negro, la balsa se encuentra ubicada en su largo de Norte a sur, que es la dirección predominante de los vientos. Se construyó una toma en el cauce de efluentes industriales, que pasan al costado de la propiedad, con una acometida de tubería hasta la balsa para poder cargarla con estos efluentes. Para medir el volumen de los efluentes que se ingresaron a la balsa se midió cronometrando el llenado de un recipiente de volumen conocido tres veces consecutivas, se realizó esta medida cada 5 minutos durante el llenado. El nivel de la balsa se midió con una escala fija graduada cada 1 cm. Se inició la carga en el nivel 20 cm y se llevó hasta el nivel 40cm, midiendo el caudal agregado, y se dejó evaporar hasta que el nivel llegue otra vez a los 20 cm, momento en que se registra el final del ciclo y dónde se reinicia la carga midiendo el caudal agregado. Se midió la superficie de evaporación del espejo de efluente al inicio de la carga y al final, para usar el promedio.

Se repitieron estos ciclos de carga y evaporación, durante un periodo de 12 meses.

Análisis de la muestra:

Se tomaron 2000 ml de alícuota de efluente ingresante a la balsa, y se les realizaron las siguientes determinaciones: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Concentración de Cloruros (método de Mohr), Sólidos Volátiles (SV), Sólidos Totales (ST) y Precipitación en Tubo Himoff. (Garrido-Fernández 1991)

65

Resultados

Cálculo de la capacidad de evaporación en balsa piloto

Se hicieron 11 cargas de efluente en el año. 7 cargas se hicieron entre los niveles 20 y 40cm. El volumen de efluentes incorporado en cada carga fue de un promedio de 45497 litros. Como el momento de iniciar la nueva carga se determina observando el nivel de 20 cm en una escala de mínima medida de 1cm. Se observó una variabilidad en el volumen que se reponía en cada carga de 5,28%CV, coincidiendo aproximadamente con la variación de 1cm en 20 cm que es la precisión en la escala, de 5%de CV, por lo tanto, la variabilidad del volumen cargado se explica en su mayoría con la precisión de la escala que mide el nivel.

Se determinó la lámina de evaporación dividiendo el volumen evaporado en los días transcurridos y en la superficie promedio de evaporación y restándole la precipitación en el periodo. Así está lamina medida directamente se comparó con la lámina de evaporación calculada con fórmula Penman. En la figura 2 podemos ver la lámina evaporada medida durante el año y la lámina evaporada calculada con formula (2) de Penman estandarizada por Valiantzas

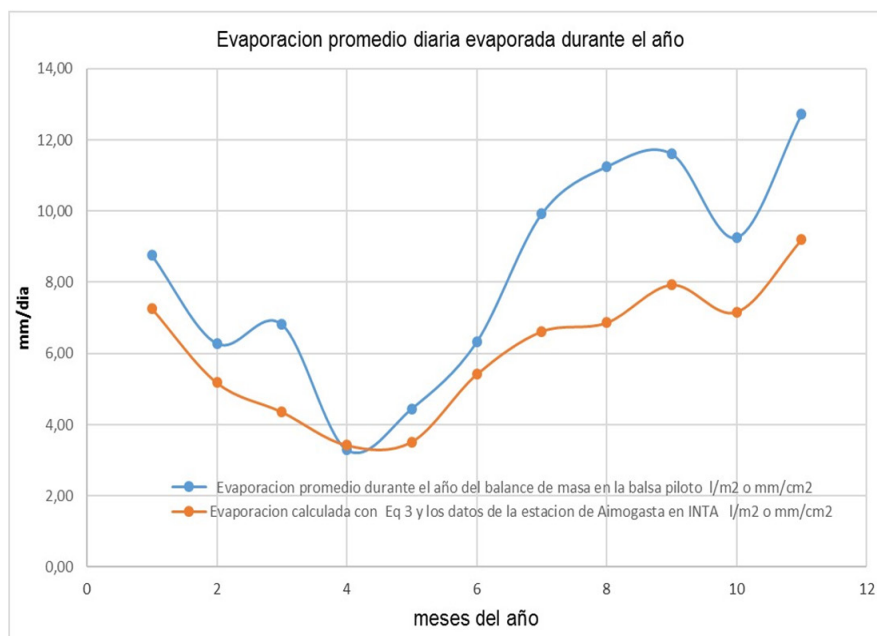


Fig. 2: Comparativa de Lamina promedio evaporada durante el año del balance en la balsa piloto y la calculada con Ecuación N°2 y los datos de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

El Coeficiente de Correlación de estas dos series es de 0,937. Esta ecuación toma en cuenta los valores de velocidad de viento. En la figura 3 podemos ver la lámina evaporada medida durante el año y la lámina evaporada calculada con fórmula (3) de Penman estandarizada por Valiantzas

66

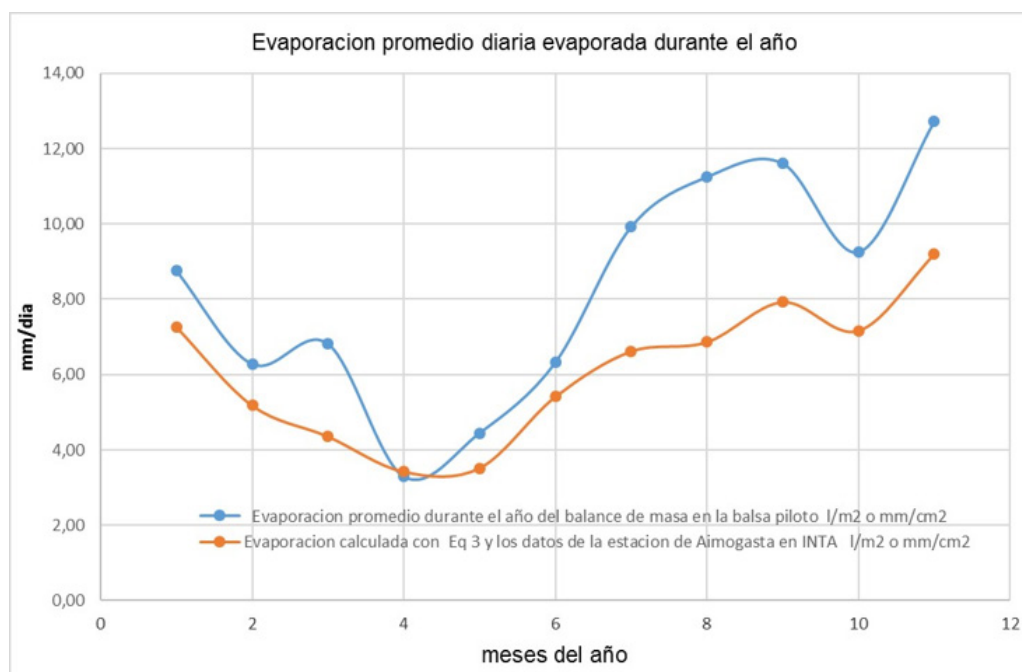


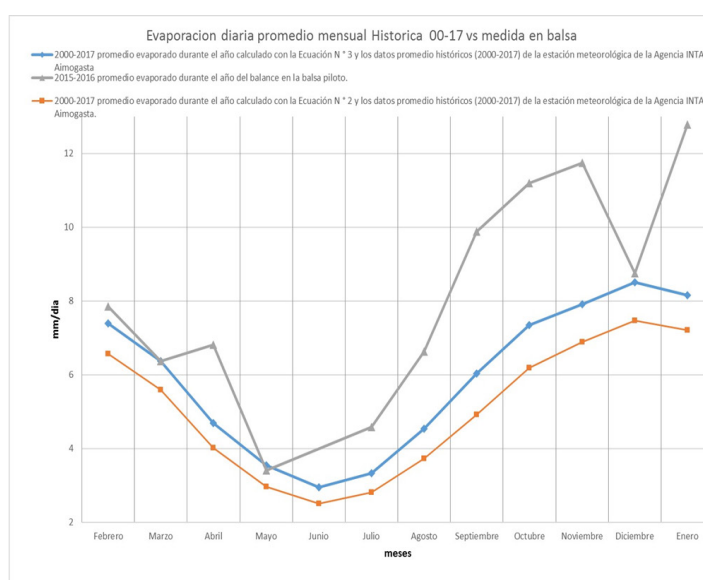
Fig. 3. Comparativa de Lamina promedio evaporada durante el año del balance en la balsa piloto y la calculada con Ecuación N°3 y los datos de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

El Coeficiente de Correlación de estas dos series es de 0,945. Esta ecuación no necesita los valores de velocidad de viento y asume un valor promedio mundial de 2m/s de velocidad. Esta velocidad promedio es mayor que la medida en la estación meteorológica de INTA, que fue en el periodo analizado de 0,4m/s.

Evaluando velocidades registradas en un anemómetro a 20 km a barlovento de la balsa, en la estación Pichana 4 a 13,6 km, vimos que la velocidad promedio a 10 metros era de 5 m/s, como podemos ver el efecto barrera del pueblo reduce los vientos donde se encuentra la estación INTA.

Observamos una mejor correlación al aumentar el viento y como la balsa se encuentra en campo abierto es de esperar que tenga mayores vientos que los que registra la estación ubicada en la agencia Aimogasta de INTA y esto explique que la ecuación n° 3 de una mejor correlación que la ecuación n°2.

Esto nos permitió validar la ecuación de Penman de cálculo de la evaporación (E_p). Luego para poder predecir la evaporación futura usamos los promedios inter- anuales de los datos meteorológicos para el cálculo de la E_p , esto nos da un promedio histórico que nos permite pronosticar el comportamiento climático del lugar.



67

Fig. 4: Comparativa del promedio evaporado durante el año del balance en la balsa piloto y lo calculado con Ecuación N°2 y los datos promedios históricos (2000-2017) de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

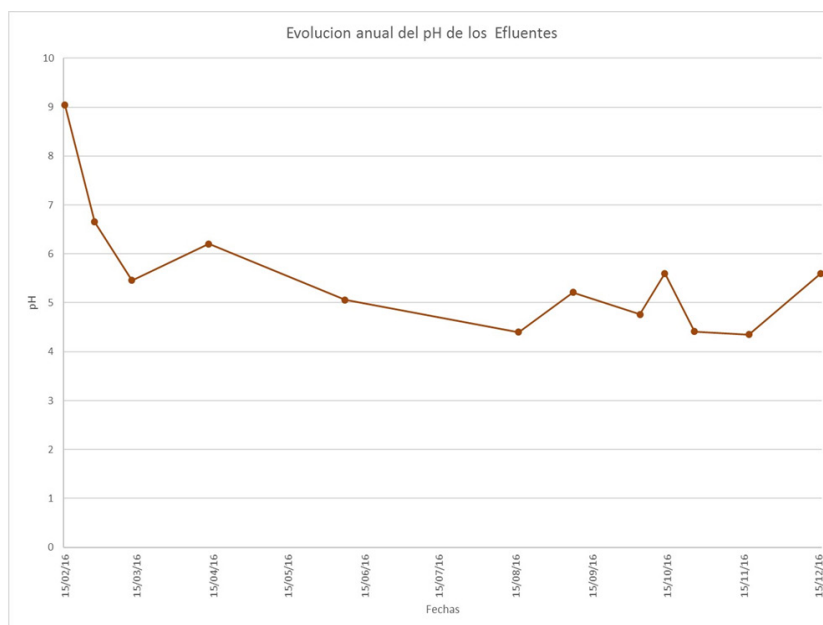
Caracterización de los efluentes

Debido a que el muestreo de los efluentes fue hecho al final del sistema colector público de efluentes donde vuelcan 7 fábricas diferentes, las características son un promedio de las actividades de estas fábricas y van variando según las etapas de elaboración durante el año.

Determinación de pH

En la Fig. 5 vemos que en época de inicio de campaña cuando la aceituna es tratada con hidróxido de sodio los efluentes pueden tomar valores altos de pH, tanto como 9. Solo un mes después el pH desciende y desde allí oscila entre 6 y 4,5. Esto es esperable ya que, aunque se siga usando hidróxido de sodio durante 3 meses los lavados de las primeras aceitunas quemadas superan en varias veces el volumen de soluciones de hidróxido de sodio usadas en

el quemado. Las sales de sodio combinadas con los ácidos orgánicos de la aceituna, tienen un fuerte efecto buffer que explica la poca variación del pH en la etapa posterior al quemado. El promedio de pH medidos fue de 5,24 con un mínimo de 4,35 y un máx. de 9,04. Este valor promedio es un poco más alto que el 4,7 citado para efluentes de la industria de la aceituna de mesa en España (Ayuso Muñoz et al. 2008)



68

Fig. 5 Evolución anual del pH en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

La medición de la CE nos da una idea de las sales disueltas en el efluente. Los valores medidos oscilan entre 13,3 y 29,3 mS/cm con un promedio de 22,4 mS/cm. Estos valores son un poco más altos que los 17,9mS/cm citados para efluentes de la industria de la aceituna de mesa en España (Ayuso Muñoz et al. 2008).

Los meses donde bajan los valores se podrían explicar por ser una época en la que se producen los lavados que son los efluentes más voluminosos de todos los producidos en las plantas.

Determinación de cloruros

Los valores obtenidos se pueden observar en la fig. 6, tienen un promedio de 1,38% con un mínimo de 0,88% y un máx. de 1,88 %. La representación del % de sólidos disueltos totales calculados a partir de la CE medida nos muestran una evolución similar, con un coeficiente de correlación 0,9, lo que nos hace inferir que las sales de Cloruros son mayoritarias en el efluente y explican en gran proporción la CE.

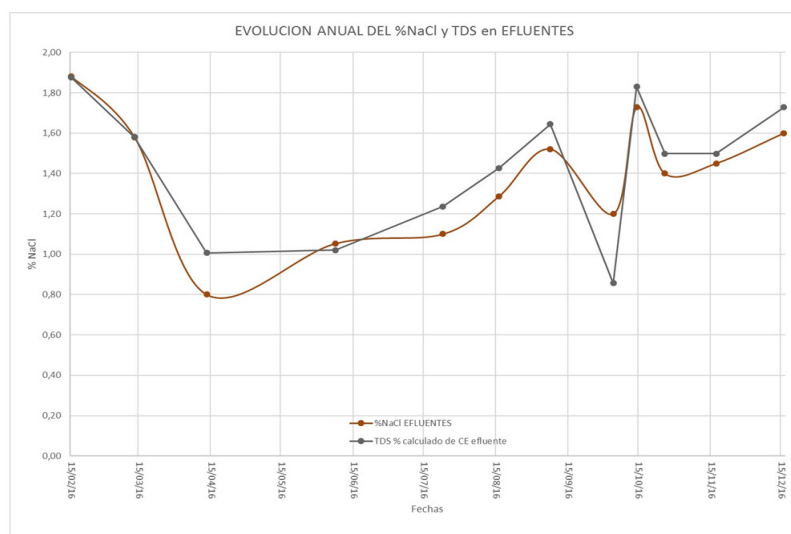


Fig. 6: Evolución anual del porcentaje de NaCl y de los sólidos disueltos totales (TDS) calculados de la CE en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Determinación de Sólidos Totales y volátiles en efluentes

El promedio medido de % de sólidos Totales fue de 1,6%, es similar a 1,3% promedio de lo citado para España (López Núñez 2007).

69

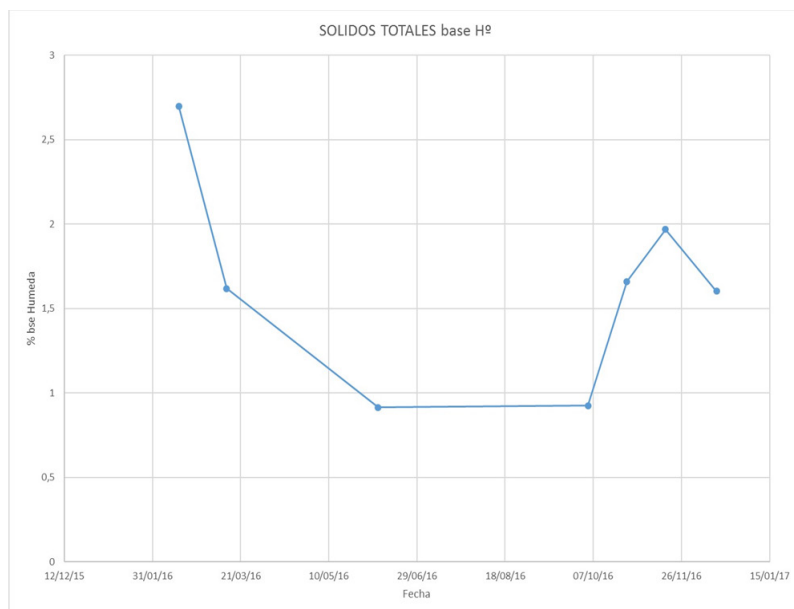


Fig. 7: Evolución anual de los sólidos totales en base húmeda en los efluentes del sistema colector de Aimogasta
El promedio medido de % de sólidos Volátiles fue de 27%, es similar a 35% promedio de lo citado para España (López Núñez 2007).

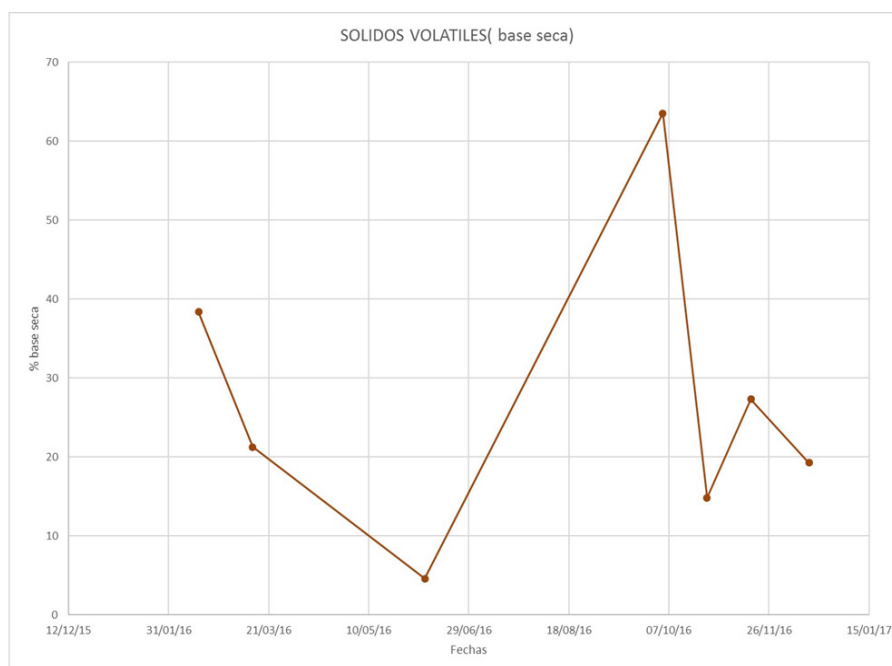


Fig. 8: Evolución anual de los sólidos volátiles en base seca en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Conclusión

70

El ajuste de los valores obtenidos por las fórmulas de Penman estandarizada por Valiantzas a los datos medidos nos permite concluir que estas fórmulas son útiles para aproximar a la evaporación que vamos a observar de este tipo de efluentes, teniendo los datos que son habituales que entreguen las estaciones meteorológicas. Por lo tanto, sería de utilidad para otras zonas, donde se cuenten con esos datos. Se observó que ajusto mejor la fórmula que utiliza valores de viento más cercanos a los que probablemente hay en la balsa. La velocidad del viento es quizás una de las variables que pueden ser más influidas por la geografía del terreno, quizás es por esto que los datos de velocidad del viento de la estación meteorológica fueron más bajos que los promedios citados para otro punto a barlovento de la balsa, esto explica porque la fórmula que toma un promedio de 2m/s de velocidad de viento ajusta mejor a la evaporación medida. Por esto dicho es que sería recomendable medir el dato de viento lo más cerca posible a la ubicación de la balsa o a donde se proyecte instalar.

Caracterización de los efluentes

Los valores obtenidos son similares a los mencionados en publicaciones de otros países para estos efluentes. Por lo que se pueden aplicar sistemas de tratamiento exitosos aplicados en otros países. Los efluentes son de alto contenido de cloruros de sodio y los valores que alcanzan hacen muy difícil su uso para riego agrícola, menos para animales, ni consumo humano. Estos efluentes salinizan los suelos donde se infiltran, incluso podrían llegar a las freáticas contribuyendo a su salinización. En general, las aguas residuales originadas en la industria de la aceituna de mesa son vertidos difíciles y complejos de tratar. La dificultad radica en que se producen vertidos con diferentes características químicas, en cantidades muy considerables, pero de forma discontinua, con elevado contenido orgánico y particularmente de polifenoles; que hace difícil los tratamientos biológicos aerobios o anaerobios convencionales y con elevada concentración salina; difícil de eliminar, que ocasiona corrosión.

Así, en España y en la actualidad el método más generalizado para el “tratamiento” de estas aguas es su acumulación

y evaporación en balsas. Es el sistema elegido, aunque tenga el riesgo de las filtraciones o reboses de las balsas (éstas deben estar correctamente construidas e impermeabilizadas y tener superficie y profundidad adecuadas) y la emisión de olores desagradables por esto las balsas deben ubicarse alejadas de núcleos habitados y con vientos dominantes en sentido contrario para evitar los problemas de olores.

Referencias

- Álvarez, A., Elía, M., Paris, M., Fasciolo, G., & Barbazza, C. (2011). Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 19–39.
- Ayuso Muñoz, J., et al. (2008). Proyecto de depósitos de almacenamiento de efluentes de industrias agroalimentarias (1.ª ed.). Secretaría General Técnica. Servicio de Publicaciones y Divulgación, Junta de Andalucía.
- Brenes, M. (2004). Olive fermentation and processing: Scientific and technological challenges. *Journal of Food Science*, 69(1), 33–34.
- Finch, J. W., & Hall, R. L. (2001). Estimation of open water evaporation: A review of methods (R&D Technical Report W6-043/TR). Environment Agency.
- Garrido-Fernández, A. (1991). Elaboración de aceitunas de mesa. FAO.
- Juárez Romero, J. A. (2017). Reutilización y reducción de efluentes de la aceituna de mesa. INTA.
- López Núñez, R. (2007). Características y tratamiento de las aguas residuales de la industria de aderezo de aceitunas de mesa. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC). <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19898/caracteristicas-y-tratamiento-de-las-aguas-residuales-de-la-industria-de-aderezo-de-aceitunas-de-mesa>
- Marsilio, V., Russi, F., Iannucci, E., & Sabatini, N. (2008). Effects of alkali neutralization with CO₂ on fermentation, chemical parameters and sensory characteristics in Spanish-style green olives (*Olea europaea* L.). *LWT – Food Science and Technology*, 41(5), 796–802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.017>
- Valiantzas, J. D. (2006). Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. *Journal of Hydrology*, 331(3–4), 690–702. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.012>

El Museo de la UNLaR, mucho más que una exhibición

72

Chemisquy, M. Amelia (1)

(1) Investigadora. Museo de Ciencias Antropológicas y Naturales, Universidad Nacional de La Rioja - Argentina

El Museo de la UNLaR, mucho más que una exhibición

El Museo de Ciencias Antropológicas y Naturales de la Universidad Nacional de La Rioja nació en 1973 como el Instituto Universitario de Arqueología, Antropología y Folklore y en 1998 adquirió el estatus de Museo, llamándose originalmente Museo de Ciencias Naturales para luego tomar el nombre con el que lo conocemos hoy en día. Si tomamos la definición que da de museo del consejo Internacional de Museos: “una institución sin ánimo de lucro, permanente y al servicio de la sociedad, que investiga, colecciona, conserva, interpreta y exhibe el patrimonio material e inmaterial. Abiertos al público, accesibles e inclusivos, los museos fomentan la diversidad y la sostenibilidad. Con la participación de las comunidades, los museos operan y comunican ética y profesionalmente, ofreciendo experiencias variadas para la educación, el disfrute, la reflexión y el intercambio de conocimientos” podemos ver que nuestro Museo cumple con lo que la definición requiere, ya que se encarga de investigar, coleccionar, conservar, interpretar y exhibir el patrimonio.

Las exhibiciones son bien conocidas por todos los que visitan el Museo, quienes mediante recorridas guiadas logran a una correcta interpretación de la muestra arqueológica y paleontológica. Sin embargo, muchos desconocen que detrás de lo que ven expuesto, el Museo cuenta con investigadores y colecciones que son parte integral de la vida del Museo y alimentan a las exhibiciones.

El Museo conserva parte del Patrimonio Provincial, ya que es uno de los repositorios oficiales de restos paleontológicos y arqueológicos de la Provincia de La Rioja. Este rol de resguardo del patrimonio es esencial, ya que son los materiales guardados en colecciones los que proporcionan documentación física de las investigaciones, siendo materia prima para generar o validar el conocimiento científico. Actualmente, en las colecciones del museo hay ingresados más de 600 ejemplares paleontológicos y alrededor de 2000 restos arqueológicos, muchos de ellos colectados por investigadores que trabajaron o trabajan actualmente en el Museo. Dentro de los ejemplares paleontológicos hay materiales tipo de varias especies descriptas para la provincia de La Rioja, que son de mucho valor para estudios taxonómicos. Por otro lado, en la colección arqueológica hay grandes lotes de restos encontrados en la provincia, sumados a vasijas en muy buen estado de preservación y restos humanos recuperados de distintos enterratorios. Como en toda colección científica, los materiales depositados en el Museo están a disposición para ser estudiados por investigadores del país y del exterior que soliciten consultarlos. Frecuentemente el museo es visitado por personas interesadas en visitar las colecciones y estudiar desde diversos ángulos los materiales. Pero las colecciones también forman parte de las exhibiciones. Muchos de los materiales que los visitantes ven en las vitrinas del museo son piezas que forman parte de la colección, que a veces deben sacarse de la exhibición para su estudio por los investigadores.

73

Finalmente tenemos la investigación que, según palabras de Verónica Silva, curadora del Museo Nacional de Historia Natural de Chile, es el corazón de los museos y permite entregar al público todo el conocimiento que se puede encontrar en estas instituciones. Desde sus inicios el Museo de la UNLaR fue el hogar de un nutrido grupo de investigadores, que fue variando de integrantes y disciplinas a lo largo de los años. En la actualidad, el Museo cuenta con líneas de investigación en Turismo y Patrimonio, Arqueología, Antropología y Estudios de Género, y Paleontología y Evolución. En estas líneas trabajan investigadores, becarios y alumnos. De esta forma, el museo también brinda un espacio para que los alumnos de distintas carreras tengan sus primeras experiencias en investigación, lo que es de suma relevancia y ayuda a fortalecer la formación de los egresados de la UNLaR.

Las investigaciones que se realizan en el museo no solo alimentan a las exposiciones permanentes que recorren los visitantes, sino que también son la base sobre la que se construyen muestras temporales. Por ejemplo, la muestra “Sin flores/con derechos”, que a través de distintos objetos pretendió visibilizar, sensibilizar y reflexionar sobre la violencia de género, fue diagramada por los y las integrantes del área Antropología y Estudios de Género, mostrando de esta forma parte de lo que son sus investigaciones. También desde el área Turismo y Patrimonio se organizó la muestra “Reserva Natural Urbana Takú en el Museo UNLaR”, donde se expuso el resultado de un trabajo conjunto entre el Museo y una reserva urbana ubicada en la Ciudad de La Rioja, realizado en el marco de un proyecto de extensión de la Universidad. Y actualmente, parte del equipo de investigación está trabajando en una nueva muestra temporal que se inaugurará a mediados del 2026 llamada “Lo que la tierra resguarda” donde se hablará del trabajo de campo que hacen quienes investigan en las distintas áreas del museo, y se mostrarán nuevos restos fósiles encontrados en la Provincia que forman parte de la colección. Entre las especies a mostrar habrá un perezoso terrestre, un par de roedores incluyendo uno que tiene el tamaño de un carpincho, restos de ungulados nativos y el material tipo de Vinchinavis, un águila grande que vivió en nuestra provincia hace aproximadamente 6 millones de años y que se pudo describir gracias al trabajo en colaboración entre investigadores del Museo y de la Universidad Nacional de Córdoba.

Estas muestras temporales no solo sirven para renovar la exposición y generar interés en el público, sino que también son una clara evidencia de la investigación que se realiza en el Museo, que nunca se detiene y siempre tiene aportes novedosos para mostrar al público. Entonces, si volvemos a la definición, podemos ver que el Museo de la UNLaR es un museo con todas las letras, donde la investigación está activa, con investigadores que hacen trabajo de campo para incrementar las colecciones e interpretan y estudian estos materiales, con colecciones que conservan el patrimonio arqueológico y paleontológico de la Provincia de La Rioja, y con todo un equipo a cargo de armar exposiciones, exhibir y guiar a los visitantes, muchos de los cuales son alumnos de distintos niveles, haciendo que tengan una gran experiencia.

74

Literatura de referencia

- Ana-Aguiar, G. S. (2023). La labor investigadora desde los museos. Un estudio a través de las casas museo en Canarias. *Revista del Museo de Antropología*, 16(2), 177-186.
- Cristín, A., & Perrilliat, M. C. (2011). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3), 421-427.
- Museo de Historia Natural de Valparaíso. (2023). La importancia de las colecciones para el desarrollo científico en los museos. *Noticias del Museo*. <https://www.mhmv.gob.cl/noticias/la-importancia-de-las-colecciones-para-el-desarrollo-cientifico-en-los-museos>
- Nogales Basarrate, T. (2004). La investigación en los museos una actividad irrenunciable. *Museos.es: Revista de la Subdirección General de Museos Estatales*, 2004, 42-61.

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA PUBLICAR EN LA REVISTA UNLAR CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA RIOJA

1. Generalidades

1.1. Las personas interesadas en publicar artículos en la revista UNLaR Ciencia de la Universidad Nacional de La Rioja, deberán enviar sus trabajos de acuerdo con las normas que se estipulan a continuación. Las disciplinas que conforman las publicaciones de UNLaR Ciencia son las derivadas de las líneas de investigación de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Ciencias de la Salud, Ciencias Sociales, Ciencias Humanas y de la Educación Ciencias Agrarias, de la Ingeniería y de los Materiales y otras áreas afines.

1.2. A los efectos de su publicación, los trabajos presentados serán sometidos, en una primera instancia, a evaluación por parte del Comité Editorial que estará integrado por especialistas en las diferentes áreas. Posteriormente, serán evaluados a través de un proceso de arbitraje por pares, doble ciego.

1.3. Los artículos a publicar deberán ajustarse a las provisiones de las normas y principios adecuados relativos a la existencia, alcance y ejercicio de los derechos de propiedad intelectual, los que serán ejercidos por UNLaR Ciencia a lo largo de las diferentes publicaciones.

1.4. Los conceptos y opiniones vertidos en los artículos publicados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

1.5. El Comité Editorial se reserva el derecho de realizar modificaciones menores de edición, rechazar el trabajo por no ajustarse a las áreas involucradas o por no cumplir con las normas establecidas en la etapa de evaluación y publicación, así como hacer las observaciones pertinentes para la corrección y/o adecuación de los artículos a publicar.

1.6. Se recomienda que el trabajo completo tenga entre 8 y 12 páginas incluyendo el resumen, la introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, tablas y figuras, conclusiones y referencias. En caso de que haya una extensión en el trabajo, comunicarse al correo de la Revista UNLaR Ciencia.

1.7. El formato obligatorio es A4 a espacio simple entre líneas de texto y dejando un espacio adicional entre párrafos y entre subtítulos. Se deben dejar márgenes de 2 cm en todos los lados de la página, sin sangría en la primera línea.

1.8. Se deberá utilizar la letra Times New Roman, tamaño 12 (doce) en todo el artículo. La escritura deberá hacerse sobre un solo lado de la hoja y cada una de las páginas deberá ser numerada al pie.

1.9. El título deberá poseer mayúscula la primera letra, centrado en la página y separado por doble espacio del texto subsiguiente. Los encabezamientos (título) de primer orden deberán ubicarse a la izquierda, en mayúsculas la primera letra y en negritas, separados por un espacio del párrafo anterior y del posterior. Los encabezamientos (títulos) de segundo orden deberán ubicarse a la izquierda, en líneas separadas del texto, comenzando con la primera letra en mayúscula y sin negrita.

1.10. Los archivos deben ser enviados en Word. Las figuras, tablas, gráficos y fotos deben ser insertadas en el archivo y adjuntar el archivo original de los mismos con el envío del material. Si es fotografía escanearla al tamaño 10x10 cm y con resolución de 300 dpi en blanco y negro, guardarla con extensión .jpg y adjuntar el archivo al enviar el trabajo

Los artículos se organizarán en el siguiente orden sucesivo:

Título en español: deberá ser breve, conciso y reflejar aspectos específicos del trabajo. Deberá estar escrito en español y con letra Times New Roman y en tamaño 14. Se deberá dejar un espacio simple entre el título y el/los autor/es.

Autor: se incluirán apellido/s y nombre/s completo/s. Deberá ser escrito en letra Times New Roman, y en tamaño 12.

Debajo del nombre de autor, deberá dejar un espacio simple para consignar la dirección de correo electrónico y debajo deberá consignar el nombre de la institución a la que pertenece el autor. Si los autores pertenecen a distintas instituciones, luego de los nombres de cada autor se colocará el correo y la institución a la que pertenecen.

Resumen: todos los artículos deberán poseer un resumen en español que sea una condensación de las ideas esenciales y los resultados del trabajo.

Palabras clave: en español. Deben poder publicarse solas en bases de datos separadas del trabajo y dar una clara idea del mismo. Se incluirá un máximo de cinco palabras clave separadas por comas.

Título en inglés: consistirá en una traducción representativa del título en español.

Abstract: todos los artículos deberán poseer un abstract en inglés que sea una condensación de las ideas esenciales y los resultados del trabajo. Deberá contar con un mínimo de 200 palabras y un máximo de 350 palabras tamaño 12.

76

Keywords: ídem palabras clave en español, pero en inglés.

Introducción: se presentará claramente el tema a tratar, haciendo solamente referencia a los antecedentes de interés.

Materiales y métodos: se incluirán suficientes detalles para permitir a otro investigador repetir el trabajo.

Resultados y discusión: se expondrán los resultados hallados y la discusión correspondiente.

Conclusiones: la inclusión de este apartado queda a criterio del autor.

Referencias: el trabajo deberá concluir con un apartado para referencias; figurarán trabajos publicados o en prensa.

No se deberá utilizar la palabra bibliografía como sinónimo de referencias. Las citas bibliográficas deberán consignarse según normas APA 7ma ed. <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>

2. Envío de los trabajos

2.1 Ingresar a la página de la Revista UNLaR Ciencia y crear un usuario en:

<https://revistaelectronica.unlar.edu.ar/index.php/unlarciencia>

Seleccionar la opción de autor al completar el formulario correspondiente y seguir los pasos que indica el sistema para el envío de los artículos.

Por consultas, dirigirse al correo unlarciencia@unlar.edu.ar

UNLaR Ciencia - Universidad Nacional de La Rioja. Av. Dr. Luis M. de la Fuente S/N, CP.5300 La Rioja, Argentina.

UNLaR Ciencia - Revista Científica Universidad Nacional de La Rioja. Catálogo Latindex