



# RevICAp

## Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
CIENCIAS APLICADAS  
A LA INDUSTRIA

ISSN 2796-9444 / Num. 2. Vol. 2 -20223

## INDICE

Catalizadores de Ni-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> obtenidos por Combustión de Matriz de Urea espontánea y controlada para producir H <sub>2</sub> por APR de Glicerol.....	1
Aerogeles basados en quitosano para la remediación de efluentes textiles .....	8
Preparación de un sencillo catalizador de Zr (IV) y su aplicación para la esterificación de ácidos grasos.....	15
Fotocatálisis para la desinfección y degradación de contaminantes orgánicos presentes en aguas contaminadas.....	23
Determinación de parámetros característicos del proceso de secado de frutillas ( <i>Fragaria ananassa</i> ) aplicando modelos cinéticos.....	31
Las potencialidades del aula invertida para el aprendizaje de las Ciencias Naturales: una propuesta tecnodidáctica para estudiantes del 2° año del nivel secundario .....	40
Enfoques innovadores en la Didáctica de las Ciencias Naturales: aula invertida y enseñanza por indagación en la formación inicial del profesorado .....	48
El ambiente de clase virtual y el discurso multimodal en la producción de argumentos científicos escolares: el caso de la vacunación.....	57



## Catalizadores de Ni-Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenidos por Combustión de Matriz de Urea espontánea y controlada para producir H<sub>2</sub> por APR de Glicerol

Hugo J. Alessio<sup>1</sup>, Karim Sapag<sup>2</sup>, Raúl A. Comelli<sup>1</sup>, Javier M. Grau<sup>1\*</sup>

1. Instituto de Investigación en Catálisis y Petroquímica José M. Parera – CCT CONICET Santa Fe, Col. Ruta Nac. N° 168 Km 0 – Paraje El Pozo, Santa Fe (3000), Santa Fe, Argentina.
2. Laboratorio de Sólidos Porosos (LABSOP) – INFAP – CONICET, Universidad Nacional de San Luis, Av. Ejército de los Andes 950, San Luis (5700), San Luis, Argentina.

\*E-mail: [jgrau@fiq.unl.edu.ar](mailto:jgrau@fiq.unl.edu.ar)

### PALABRAS CLAVES

Hidrógeno  
Síntesis Ni-Co  
CCMU  
APR Glicerol

### RESUMEN

Se busca mejorar la interacción y dispersión de Ni/Co en catalizadores soportados en  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> controlando la temperatura en la preparación por el método de combustión de matriz de urea (CCMU). Las muestras resultantes se utilizan para obtener H<sub>2</sub> por reformado en fase acuosa (APR) de glicerol. Nitratos de Ni y Co son co-impregnados con urea, secados y fijados por calentamiento a diferentes rampas de temperatura (R1, R5 y R10) para obtener 1,5% Ni y 4,5% Co. Las propiedades fisicoquímicas son caracterizadas por sortometría de N<sub>2</sub> y quimisorción de CO. Su comportamiento se analiza en APR de glicerol con 0,5 g de catalizador reducido a 500 °C. Se analiza producción y selectividad a H<sub>2</sub>, estabilidad en reacción y desactivación por coque, mediante oxidación a temperatura programada (TPO). El catalizador CCMU-R10 muestra un rendimiento a H<sub>2</sub> mejorado y mayor dispersión metálica respecto al mismo catalizador preparado por combustión espontánea, sin control de temperatura, CMU. Controlando la combustión de la urea se mejora la interacción Ni/Co incrementándose un 74% el rendimiento a H<sub>2</sub>, con igual selectividad a H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y reduciendo un 21% el coque acumulado en igual período en APR de glicerol en las condiciones de reacción seleccionadas.

## Ni-Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts obtained by spontaneous and controlled Urea Matrix Combustion to produce H<sub>2</sub> by APR of Glycerol

### KEYWORDS

Hydrogen  
Ni-Co synthesis  
CCMU  
Glycerol APR

### ABSTRACT

The aim is to improve the interaction and dispersion of Ni/Co in catalysts supported on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by controlling the temperature in the preparation by the urea matrix combustion method (CCMU). The resulting samples are used to obtain H<sub>2</sub> by aqueous phase reforming (APR) of glycerol. Ni and Co nitrates are co-impregnated with urea, dried and fixed by heating with different temperature ramps (R1, R5 and R10) to obtain 1.5% Ni and 4.5% Co. The physicochemical properties are characterized by N<sub>2</sub> sortometry and CO chemisorption. Its behavior is analyzed in APR of glycerol with 0.5 g of catalyst reduced at 500 °C. Production and selectivity to H<sub>2</sub>, reaction stability and deactivation by coke are analyzed by temperature programmed oxidation (TPO). The CCMU-R10 catalyst shows improved H<sub>2</sub> performance and greater metallic dispersion compared to the same catalyst prepared by spontaneous combustion, without temperature control, CMU. Controlling the combustion of urea improves the Ni/Co interaction, increasing the yield to H<sub>2</sub> by 74%, with equal selectivity to H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> and reducing the coke accumulated in the same period in APR of glycerol in the selected reaction conditions by 21%.

## 1. Introducción

En las últimas décadas la quema descontrolada de combustibles fósiles para el transporte o para producir energía eléctrica ha provocado graves daños medioambientales (calentamiento global del planeta, cambio climático, aumento de la temperatura en la tierra, etc.) debido al exceso de emisión de CO<sub>2</sub> de largo reciclo que tiene efecto invernadero, acumulándose en la atmósfera. Esta situación ha despertado alarmas a nivel internacional y se han vuelto a valorizar formas de generar energía más amigables con el planeta como lo es la proveniente de la utilización de biomasa vegetal como combustible que, si bien genera CO<sub>2</sub> su reciclo es corto generando más biomasa en el proceso de fotosíntesis.

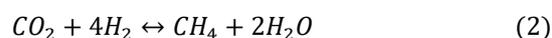
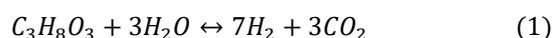
Una alternativa como fuente de generación de energía es el Hidrógeno (Brandon, N.P. et al., 2017). El H<sub>2</sub> tiene la potencialidad suficiente para reemplazar a los combustibles líquidos. Puede ser utilizado en el transporte para impulsar tanto vehículos eléctricos (equipados con celdas de combustible) como motores a combustión. Puede ser utilizado en la industria o en centrales termoeléctricas para producir electricidad y, además, se piensa también su uso a futuro en el sector residencial y comercial, para generar el calor reemplazando al gas natural. La gran ventaja de utilizar H<sub>2</sub> en todas estas aplicaciones es que su combustión solo libera agua a la atmosfera, es un combustible sin efecto contaminante para el planeta. La desventaja es su distribución y que el 96% del H<sub>2</sub> es producido actualmente a nivel mundial a partir de CH<sub>4</sub> o hidrocarburos fósiles, por lo que es necesario encontrar vías de producción de H<sub>2</sub> de bajo impacto y que sean competitivas con la obtención a partir de derivados del petróleo.

El objetivo actual entonces es desarrollar y perfeccionar técnicas capaces de generar H<sub>2</sub> a partir de materias primas que no tengan efecto sobre el cambio climático (Taipabu, M.I. et al., 2022). La biomasa residual o los subproductos de bajo valor de la agroindustria podrían ser una alternativa ya que pueden conseguir una reducción importante de la concentración de CO<sub>2</sub> por recirculación corta del Carbono disminuyendo el efecto invernadero. Estos materiales presentan una ventaja competitiva que es su bajo costo y una desventaja que es la logística de suministro a la biorefinaría. Dentro de los subproductos de biomasa de bajo valor se encuentra

el Glicerol (Fasolini, N. et al., 2019; Qureshi, F. et al., 2022), que se genera conjuntamente con los ésteres de ácidos grasos en la producción de biodiesel de primera generación.

La conversión catalítica de glicerol a H<sub>2</sub> por medio del Reformado en Fase Acuosa (APR) (Cortright, R.D. et al., 2002) es una propuesta muy interesante, tiene la ventaja de llevarse a cabo a temperatura moderadas (200-300°C) y presiones medias (20-40 bar), lo que conlleva un bajo consumo energético (Roslan, N.A. et al., 2020) y permite evitar la vaporización. La mayoría de los trabajos publicados sobre este tema utilizan catalizadores de metal noble con altas cargas metálicas para APR lo que encarece el procedimiento y le resta competitividad con otros procesos. La fase activa del catalizador a utilizar en APR es metálica (Pipitone, G. et al., 2022), pudiendo ser de base noble (Pt, Pd) o no noble (Ni). Si bien el Platino y el Paladio exhiben mayor actividad hidrogenante y mejores propiedades catalíticas, su elevado costo hace necesario buscar alternativas más económicas, reemplazándolos con metales de transición, como el níquel y el cobalto. Los metales no nobles como Ni o Co también se han utilizado en APR de glicerol (Luo, N. et al., 2010), pero presentan el problema de baja estabilidad de los sitios activos por sinterización o lixiviación metálica. En trabajos anteriores (Dosso, L.A. et al., 2015) hemos observado que la incorporación del metal por el método de Combustión de Matriz de Urea (CMU) genera imperfecciones e irregularidades en la superficie del soporte que mejoran el anclaje de los centros metálicos y disminuyen la velocidad de sinterización en reacción. Se busca en este caso mejorar el método antes mencionado modificando alguna variable operativa, como la velocidad de calentamiento, y de esta forma controlar la combustión (González-Cortés, S.L. et al., 2013).

Respecto a la reacción química, la Ec. 1 representa el proceso global del APR de glicerol, que incluye la descomposición del mismo más la reacción de desplazamiento de agua (Water Gas Shift). Simultáneamente, las condiciones a las que se lleva a cabo la reacción favorecen la formación de metano (Ec. 2), producto indeseable que consume el H<sub>2</sub> generado por lo que debe evitarse.



El objetivo de este trabajo fue ajustar el método de síntesis de Combustión de Matriz de Urea (CMU), modificando y controlando la velocidad de calcinación (CCMU), para generar catalizadores de Ni-Co/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> más estables, con mayor dispersión de la fase activa, buscando así maximizar su rendimiento, la selectividad a H<sub>2</sub> y la estabilidad en el APR de glicerol.

## 2. Materiales y métodos

### *Síntesis de catalizadores*

Para la síntesis de los catalizadores se utilizaron soluciones acuosas de nitratos de Ni y Co (Sigma-Aldrich). En todos los casos se trabajó con una concentración adecuada para obtener una carga metálica de Ni + Co de 6% p/p con una relación Ni/Co de 1:3, valor que mantiene las propiedades del soporte, aumenta la producción de H<sub>2</sub> con mínima formación de CH<sub>4</sub> y coque (Dosso, L.A. et al., 2017). Las muestras se co-impregnaron con urea sobre un soporte comercial de  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (SASOL). Según datos proporcionados por el fabricante el soporte presenta las siguientes propiedades texturales: Volumen de poro (Vp) = 0,6 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> y Superficie específica (Sg) = 210 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Previo a su uso el soporte fue calcinado a 873 K por 1 h y molido a un tamaño de 40-80 mesh. Una vez completada la carga de los precursores metálicos y la urea al soporte elegido, las muestras se secaron en estufa 24 h a 110 °C y luego fueron calcinadas en un reactor de cuarzo colocado dentro de un horno eléctrico con velocidad de calentamiento controlada (CCMU). Cada muestra fue calentada con rampas de 1, 5 y 10 °C.min<sup>-1</sup>, hasta alcanzar la temperatura de combustión de la urea y la formación de los óxidos metálicos. Esta combustión aumenta las irregularidades superficiales del soporte, mejora la interacción Ni/Co y su dispersión (CCMU) (González-Cortés, S.L. et al., 2013). A modo de comparación, una muestra fue preparada sin control de la rampa de calentamiento. Para ello se colocó la muestra seca en un horno a 600 °C y la combustión fue espontánea (CMU). Las muestras se identificaron de la siguiente manera: CMU, CCMU-R1, CCMU-R5 Y CCMU-R10, donde R indica la rampa de temperatura adoptada.

### *Caracterización físicoquímica de catalizadores frescos*

Las propiedades texturales de los materiales modificados previo a su utilización en reacción (frescos) se determinaron utilizando N<sub>2</sub> a -196 °C en un sortómetro Micromeritics ASAP 2100. Una masa

determinada de la muestra es previamente desgasada 12 h a 200 °C. A continuación, se realiza la adsorción/desorción de N<sub>2</sub>. La superficie específica fue calculada por el método BET (Brunauer, Emmett, & Teller, 1938), y el volumen total de poro fue calculado a partir de  $p/p^0 = 0,98$ , mediante la regla de Gurvich (Rouquerol, Rouquerol, & Sing, 1999).

La dispersión metálica se determinó por quimisorción de CO como molécula sonda (QCO) suponiendo una estequiometría de adsorción del CO sobre cada átomo de metal expuesto. La cuantificación se realizó utilizando 0,1 g de catalizador previamente reducido in situ 1 h a 500°C, enfriado a temperatura ambiente y purgado con N<sub>2</sub>. El material reducido recibió pulsos de un volumen conocido de una mezcla de CO/N<sub>2</sub> (5% v/v). Cuando la superficie metálica se satura, el CO no adsorbido atraviesa el lecho catalítico y luego es transformado en CH<sub>4</sub> sobre un catalizador de Ni en presencia de H<sub>2</sub> a 400 °C. De esta manera puede ser cuantificado por GC con un FID. El área de los picos de CH<sub>4</sub> adsorbidos determina la capacidad de quimisorción de CO de cada catalizador.

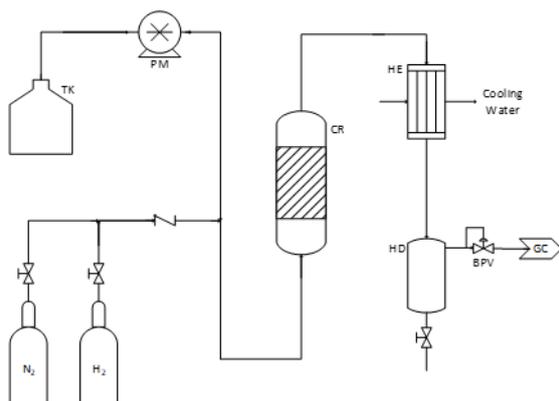
### *Evaluación catalítica*

El APR de glicerol se llevó a cabo en un reactor tubular de acero AISI 316L de lecho fijo, calefaccionado mediante un horno eléctrico (Figura 1). Los experimentos se realizaron siguiendo el procedimiento adoptado por (Wu, K. et al., 2022) con 0,5 g de catalizador reducido en H<sub>2</sub> 1 h a 500°C y purgado con N<sub>2</sub> el cual se utiliza para alcanzar la presión del sistema mediante una válvula "back pressure". La reacción se llevó a cabo a 225 °C, 22 bar, WHSV= 0,5 h<sup>-1</sup> (Gly) y un caudal de gases de salida de 3 cm<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>. La alimentación es una solución acuosa de glicerol (Gly) al 10% p/p que ingresa a un caudal de 0,02 cm<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>. Los reactivos ingresan a través de una bomba HPLC. A la salida del reactor los productos se condensan y se separan. Los gases se analizan en línea mediante un GC Shimadzu 8A, con un TCD usando una columna Shin Carbon Restek GC. Se realizaron experimentos de 400 min de duración, determinando rendimiento a H<sub>2</sub> (3), selectividad a H<sub>2</sub> (4) y selectividad a CH<sub>4</sub> (5) según (Wu, K. et al., 2022):

$$\text{Rendimiento } H_2 = \frac{H_2 \text{ experimental}}{H_2 \text{ teórico}} \times 100, \quad (3)$$

$$\text{Selec. } H_2 = \frac{2 \times H_2 \text{ experimental}}{\text{átomos H en gas}} \times 100, \quad (4)$$

$$\text{Selec. } CH_4 = \frac{CH_4 \text{ experimental}}{\text{átomos C en gas}} \times 100, \quad (5)$$



**Figura 1.** Representación del sistema de reacción continuo.

### Caracterización fisicoquímica de catalizadores usados

Para analizar el grado de desactivación por coque de los catalizadores utilizados en reacción (usados) se realizó una oxidación a temperatura programada (TPO) a los catalizadores descargados del reactor previamente secados en estufa 12 h a 110°C. Se cargaron 0,05 g del catalizador usado en un reactor de cuarzo y se hace circular una mezcla de O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> al 2% v/v a razón de 30 cm<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>. La temperatura del reactor se eleva 10 °C.min<sup>-1</sup> desde temperatura ambiente hasta llegar a 700°C. En presencia de O<sub>2</sub> y a la temperatura de quemado el coque forma CO y CO<sub>2</sub>, gases de combustión que luego son enviados a un metanador, en donde son hidrogenados en presencia de H<sub>2</sub> y un catalizador de Ni a CH<sub>4</sub> el cual se cuantifica por GC (SRI Instruments) en un FID. El porcentaje de carbón acumulado durante la reacción sobre cada catalizador se analiza calculando el área del pico de metano registrado previa calibración con un volumen de CH<sub>4</sub> conocido.

### 3. Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra algunas propiedades texturales, superficie específica  $S_{BET}$  y volumen total de poro  $V_P$ , de los catalizadores estudiados. Se observa en los catalizadores preparados por el método controlado (CCMU) una tendencia creciente en ambas propiedades a medida que aumenta la velocidad de calentamiento con la que nos acercamos a la temperatura de combustión de la urea. Con una rampa de 10 °C.min<sup>-1</sup> se obtiene un máximo. Tanto la superficie como el volumen son mayores en el soporte comercial sin impregnar y disminuyen en el proceso de impregnación, pero la combustión

producida durante la calcinación permite recuperar gran parte de estas. A mayor rampa de temperatura de calentamiento, más violenta resulta la reacción de combustión y mayor es el grado de recuperación de Sg y Vp. En la tabla se presentan también los resultados de la Quimisorción de CO. Se puede ver en este caso en los catalizadores CCMU, un aumento de la cantidad de CO adsorbido logrado en las muestras calentadas con mayor rampa de temperatura, lo que indica una mayor dispersión de los metales. Esto se debe nuevamente a que calentar más rápidamente las muestras, pero de manera controlada, genera una combustión interna más violenta produciendo así una mejor distribución de la fase activa. En el caso del catalizador de referencia de combustión no controlada CMU, la dispersión metálica es menor que la de CCMU-R10 y CCMU-R5, lo que indica que si el calentamiento se lleva a cabo demasiado rápido (no controlado) se pueden favorecer fenómenos de sinterización metálica, formándose pequeños clústeres de fase activa.

**Tabla 1.** Propiedades texturales y Quimisorción de CO.

Muestra	$S_{BET}$ (m <sup>2</sup> /g)	$V_P$ (cm <sup>3</sup> /g)	$Q_{CO}$ (μmol/g)
CCMU-R1	176	0,378	26,5
CCMU-R5	190	0,400	83,9
CCMU-R10	193	0,402	98,2
CMU	192	0,596	59,7

Para complementar los resultados presentados en la Tabla 1, la Figura 2 muestra las curvas de adsorción/desorción de N<sub>2</sub> realizada sobre las muestras en el equipo Micromeritics. Se aprecia claramente como el comportamiento de cada muestra se ajusta a una isoterma tipo IV según Brunauer, característica de sólidos mesoporosos. Este comportamiento es aportado sin ninguna duda por el soporte, γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, un material poroso compuesto en su totalidad por mesoporos y macroporos.

En la Figura 3 se presenta la evolución temporal de la temperatura en la etapa de calcinación de cada muestra. Se destacan dos valores en cada caso: la temperatura de ignición de la mezcla, la cual indica el comienzo de la reacción, representada por la línea punteada (aprox. 200 °C), igual para las tres muestras; y la temperatura máxima alcanzada en el lecho. Esta tiende a aumentar cuando la velocidad de calentamiento es mayor. Este salto de temperatura favorece la recuperación de Sg, Vp y la

mayor dispersión de los metales en las muestras CCMU.

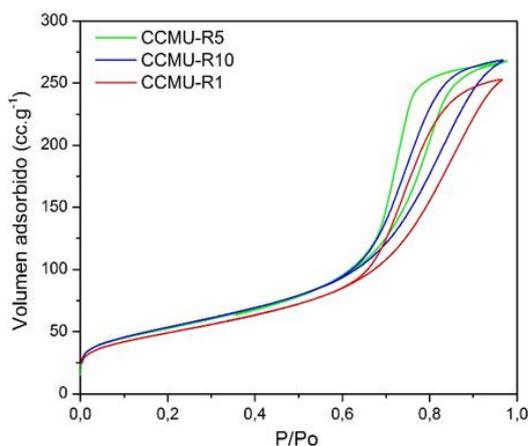


Figura 2. Isotermas de adsorción/desorción de N<sub>2</sub>.

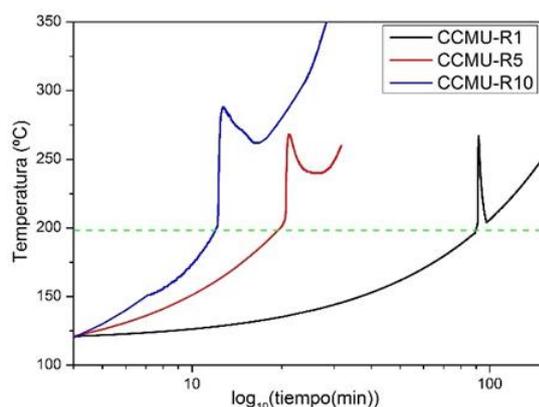


Figura 3. Evolución de la Temperatura durante la calcinación.

Los resultados del APR de glicerol se muestran en las Figuras 4 y 5. En la Figura 4 se compara la selectividad a H<sub>2</sub> y a CH<sub>4</sub> de cada catalizador. Se observa que la Selectividad a H<sub>2</sub> decrece levemente a medida que el calentamiento es más rápido, pero aun así todas las muestras exhiben una elevada Selectividad (todas superior a 96%). En cambio, la Selectividad a CH<sub>4</sub> se reduce casi un 50% (de 4% a 2%) entre las muestras CCMU-R1 y CCMU-R10, lo que indica que adoptar una rampa de calentamiento más alta desfavorece la reacción indeseable de metanación. Esta observación puede deberse a la mayor dispersión que se obtiene en el sólido final.

La Figura 5 muestra el rendimiento a H<sub>2</sub> que tuvo cada catalizador durante las 7 h de reacción. Claramente se puede ver como a partir de los 120 min de comenzada la reacción los rendimientos se estabilizan, lo que indica la transición hacia un

estado estacionario donde la generación de H<sub>2</sub> se mantiene en niveles constantes. El catalizador CCMU-R10 supera ampliamente a los demás, seguido por el CMU, luego el CCMU-R5 y por último el CCMU-R1. Analizando los catalizadores CCMU, se aprecia con claridad una correspondencia entre el calentamiento en la calcinación y los rendimientos obtenidos. Mayor velocidad de calentamiento genera mayor dispersión en el sólido final, lo que lo vuelve más activo catalíticamente.

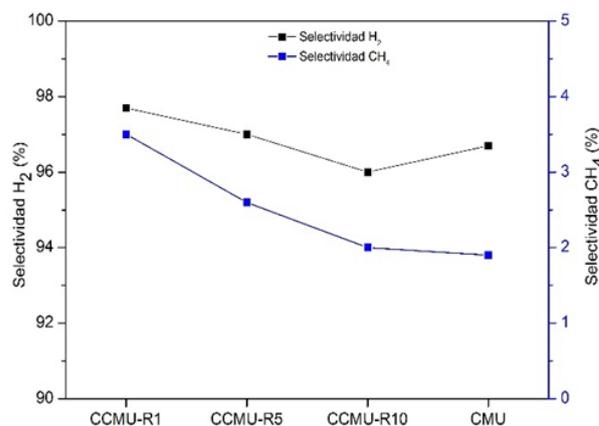


Figura 4. Selectividad de H<sub>2</sub> y a CH<sub>4</sub> en APR de Glicerol.

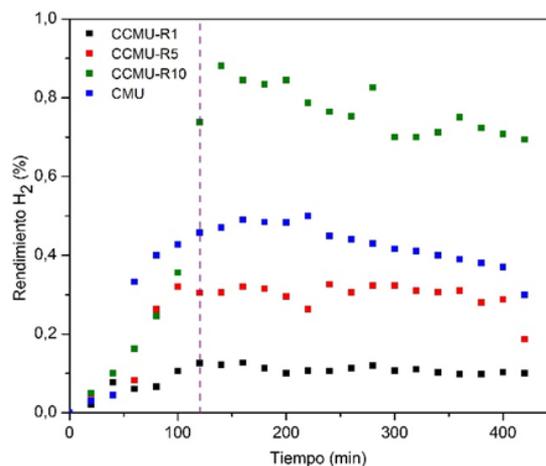


Figura 5. Rendimiento a H<sub>2</sub> en APR de Glicerol.

Finalmente, la Tabla 2 muestra el %C depositado sobre los catalizadores luego de 7 h de reacción. A mayor velocidad de calentamiento mayor cantidad de coque acumulado, debido seguramente a que en el mismo sentido aumenta la actividad de los catalizadores, lo que indica mayor formación de sustancias carbonosas. La diferencia entre CCMU-R10 y CMU puede ser debida al aumento de dispersión metálica ya que es conocido que la polimerización de precursores de coque es

demandante de una cierta estructura del centro activo.

**Tabla 2.** Porcentaje de Carbón depositado luego de APR.

Muestra	Coque (%)
CCMU-R1	3,4
CCMU-R5	6,1
CCMU-R10	6,4
CMU	8,0

#### 4. Conclusiones

Cuatro catalizadores Ni-Co/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fueron testeados en APR de glicerol. El método de síntesis seleccionado fue Combustión de Matriz de Urea Controlada (CCMU) y no controlada (CMU). Modificar la velocidad de calentamiento para alcanzar la temperatura de combustión de la urea durante la etapa de calcinación permitió obtener sólidos con diferentes propiedades catalíticas, texturales y dispersión. El catalizador CCMU-R10 mostró un rendimiento a H<sub>2</sub> mejorado y mayor dispersión metálica que el resto, superando también al catalizador preparado sin control de temperatura, CMU. Esto nos permite asegurar que controlando la combustión de la urea a 10 K.min<sup>-1</sup> se mejora la interacción Ni/Co, se incrementa el rendimiento a H<sub>2</sub>, se mantienen valores altos de selectividad a H<sub>2</sub>, se minimiza la formación de CH<sub>4</sub> y se logra reducir un 21% el coque acumulado en igual período y condiciones en APR de glicerol en 7 h de reacción.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen al MINCyT y al CONICET (PICT 2018-2233 y PIP 2022-003) la financiación de este trabajo.

#### 6. Referencias

Brandon, N. P. y Kurban, Z. (2017). Clean energy and the hydrogen economy. *Phil. Trans. R. Soc. A* 375: 20160400.  
<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0400>

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60(2), 309–319.  
<https://doi.org/10.1021/ja01269a023>

Cortright, R.D. Davda, R.R. y Dumesic, J.A. (2002). Hydrogen from catalytic reforming of biomass-derived hydrocarbons in liquid water. *Nature*, 418, 964-967.

<https://doi.org/10.1038/nature01009>

Dosso, L.A. Vera, C.R. y Grau, J.M. (2015). Mejoras de Rendimiento de H<sub>2</sub> en Catalizadores de Pt, Ni o Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenidos por el método de Combustión de la Matriz de Urea para APR de Etilenglicol. XX Congreso Argentino de Catálisis. XIX Congreso Argentino de Catálisis.

Dosso, L.A. Vera, C.R. y Grau, J.M. (2017). Catalizadores de Ni-Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para Reformado en fase acuosa de Etilenglicol. Efecto de la relación Ni/Co. XX Congreso Argentino de Catálisis.

Fasolini, A. Cespi, D. Tabanelli, T. Cucciniello, R. y Cavani, F. (2019). Hydrogen from Renewables: A Case Study of Glycerol Reforming. *Catalysts*, 9, 722.  
<https://doi.org/10.3390/catal9090722>

González-Cortés, S.L. y Imbert, F.E. (2013). Fundamentals, properties and applications of solid catalysts prepared by solution combustion synthesis (SCS). *Applied Catalysis A: General*, 452, 117-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.11.024>

Luo, N. Ouyang, K. Cao, F. y Xiao, T. (2010). Hydrogen generation from liquid reforming of glycerin over Ni-Co bimetallic catalyst. 34, 489-495.  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.12.013>

Pipitone, G. Zoppi, G. Pirone, R. y Bensaid, S. (2022). A critical review on catalyst design for aqueous phase reforming. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (1), 151-180.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.206>

Qureshi, F. Yusuf, M. Pasha, A. A. Khan, H. W. Imteyaz, B. y Irshad, K. (2022). Sustainable and energy efficient hydrogen production via glycerol reforming techniques: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (98), 41397-41420.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.010>

Roslan, N.A. Abidin, S.Z. Ideris, A. y Vo, D.N. (2020). A review on glycerol reforming processes over Ni-based catalyst for hydrogen and syngas productions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (36), 18466-18489.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.211>

Rouquerol, J., Rouquerol, F., & Sing, K. (1999). *Adsorption by Powders and Porous Solids*. Academic Press, London.

Taipabu, M. I. Viswanathan, K. Wu, W. Hattu, N. y Atabani, A. E. (2022). A critical review of the hydrogen production from biomass-based feedstocks:

Challenge, solution, and future prospect. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, 384-407.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.06.006>

Wu, K. Dou, B. Zhang, H. Liu, D. Chen, H. y Xu, Y. (2022).

Aqueous phase reforming of biodiesel byproduct glycerol over mesoporous Ni-Cu/CeO<sub>2</sub> for renewable hydrogen production. *Fuel* 308, 122014.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122014>



## Aerogeles basados en quitosano para la remediación de efluentes textiles

Melina Kloster<sup>1,2\*</sup>, Mirna A. Mosiewicki<sup>1,2</sup>, Norma E. Marcovich<sup>1,2</sup>

1. Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata – CONICET. Av. Colón 10850, Mar del Plata (7600), Buenos Aires, Argentina.
2. Departamento de Ingeniería Química y en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Av. J. B. Justo 4302, Mar del Plata (7600), Buenos Aires, Argentina.

\*E-mail: [melina.kloster@intema.gob.ar](mailto:melina.kloster@intema.gob.ar)

### PALABRAS CLAVES

Aerogeles  
Quitosano  
Adsorción  
Rojo Congo

### RESUMEN

Los aerogeles son materiales porosos de muy baja densidad que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones de interés tecnológico, entre ellas se destaca la adsorción de contaminantes presentes en medio acuoso. En este trabajo se obtuvieron aerogeles basados en quitosano a partir de la liofilización de hidrogeles entrecruzados con glutaraldehído. Estos materiales fueron caracterizados a partir de su densidad, porosidad, grado de hinchamiento y estabilidad en diferentes solventes y el punto de carga cero. Además, para probar el comportamiento de los materiales como adsorbentes de contaminantes, se realizaron ensayos de cinética de adsorción utilizando el colorante aniónico Rojo Congo. Los datos experimentales de estos ensayos se ajustaron satisfactoriamente mediante el modelo de pseudo-segundo orden. Las propiedades y la capacidad de adsorción de las muestras resultaron dependientes de la composición de las mismas. Se obtuvieron materiales más estables y con mejor desempeño en adsorción al aumentar el contenido de quitosano o de glutaraldehído.

## Chitosan based aerogels for textile wastewater remediation

### KEYWORDS

Aerogels  
Chitosan  
Adsorption  
Congo Red

### ABSTRACT

Aerogels are porous materials that have very low density and can be used in various technological applications, among which the adsorption of contaminants from wastewater stands out. In this work, chitosan-based aerogels were obtained from the lyophilization of hydrogels cross-linked with glutaraldehyde. These materials were characterized by measuring their density, porosity, swelling degree and stability in different solvents and point of zero charge. Moreover, to test the behavior of the obtained materials as contaminant adsorbents, kinetic tests were carried out using Congo Red anionic dye. The experimental data from those tests were satisfactorily fitted with pseudo-second order model. It was found that the properties and adsorption capacities of the samples depended on their composition. More stable materials with better adsorption performance were obtained using higher contents of chitosan or glutaraldehyde.

### 1. Introducción

En las últimas décadas, la acumulación de contaminantes tóxicos en el medio ambiente, especialmente en aguas residuales, se vio acrecentada debido a la acción del hombre, principalmente en lo que respecta al aumento de la población, urbanización y expansión de la industria.

Entre los contaminantes presentes, que pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos, se encuentran colorantes y tinturas, productos derivados de la industria farmacéutica, pesticidas, productos de cuidado personal, surfactantes, químicos que afectan el sistema endócrino y metales pesados, entre otros (Abhinaya et al., 2021). Esta situación supone una amenaza para el medioambiente, la salud y, además, provoca la reducción de los niveles de agua para el consumo humano, por lo que se ha

transformado en un problema global que debe, al menos, mitigarse lo más rápidamente posible.

Según la Organización Mundial de la Salud, los efluentes de la industria textil son responsables de aproximadamente el 20% de la contaminación de los cursos de agua. Los colorantes y tinturas presentes en ellos muestran una alta estabilidad química, lo cual dificulta su degradación (Pinelli et al., 2023). Cuando se hallan en cursos de agua, aun en bajas concentraciones, impiden la penetración de la luz interfiriendo en la fotosíntesis de los organismos acuáticos y afectando la cadena trófica. Por otra parte, tienen el potencial de provocar efectos mutagénicos y carcinógenos. Se estima que, anualmente, 280.000 toneladas de colorantes y/o tinturas son descargadas a ríos, mares, etc. alrededor del mundo (Sudarshan et al., 2023).

Los procesos convencionales para el tratamiento de aguas o efluentes generalmente enfrentan restricciones económicas y/o ambientales que los hacen ineficaces para eliminar iones u otros compuestos tóxicos que se encuentran en bajas concentraciones. Dentro de las diferentes técnicas, la adsorción se considera una de las más adecuadas para el tratamiento del agua. Dicho proceso presenta numerosas características que lo hacen atractivo, como su facilidad de operación, costo relativamente bajo, alta eficiencia, disponibilidad de tipos de adsorbentes, etc. (Mahfouz et al., 2015).

Los aerogeles son materiales porosos de muy baja densidad que se obtienen a partir del secado de hidrogeles. Su gran porosidad otorga al material una alta área superficial, característica deseable para el proceso de adsorción. Estos materiales pueden obtenerse en forma de piezas, que son macroestructuras tridimensionales y tienen la ventaja de poder ser fácilmente separadas del medio a tratar, evitando recurrir a técnicas tediosas como la centrifugación o filtración (Shi et al., 2022). En su obtención pueden usarse polisacáridos naturales como el quitosano, cuyas principales características son su biodegradabilidad, biocompatibilidad, accesibilidad, no toxicidad y actividad antimicrobiana (Mokhtari et al., 2021). Además, posee una numerosa cantidad de grupos amino en su estructura, que en medio ácido se protonan a  $\text{NH}_3^+$  y lo convierten en un adsorbente ideal y activo para eliminar colorantes aniónicos presentes en el agua a través de atracciones electrostáticas.

En este trabajo se presentan resultados preliminares relacionados con la preparación y caracterización de aerogeles basados en quitosano y entrecruzados con distintos porcentajes de glutaraldehído, que se probaron como adsorbentes del colorante modelo Rojo Congo.

## 2. Materiales y métodos

### *Obtención de los materiales*

Para la obtención de los aerogeles, se partió de 100 mL de soluciones conteniendo 3 o 4% m/V de quitosano (Q) en ácido acético al 2% v/v, las cuales se mezclaron con 25 mL de soluciones acuosas de glutaraldehído (GA) conteniendo distintas proporciones: 5, 10 o 15%  $m_{GA}/m_Q$ . Las mezclas se colaron en moldes cilíndricos de silicona y se cubrieron con papel antiadherente, se dejaron gelar por 24 h a temperatura ambiente y, posteriormente, se congelaron y liofilizaron, dando lugar a los aerogeles denominados Q-3-GA-5, Q-3-GA-10, Q-3-GA-15 y Q-4-GA-5, según su contenido de Q y GA, respectivamente.

### *Caracterización de muestras*

Los aerogeles sintetizados fueron caracterizados por medio de diferentes técnicas experimentales.

La densidad aparente se determinó como el cociente entre la masa de cada muestra y su volumen, calculado a partir de la medida de sus dimensiones utilizando un calibre.

La estructura química de los aerogeles fue estudiada mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR.

Para la determinación de la porosidad se registró la masa inicial ( $m_0$ ) y se midieron las dimensiones de una fracción de muestra con calibre, a partir de las cuales se obtuvo su volumen (V). Dichas fracciones de muestra (~0.06 g) se sumergieron en 40 mL de etanol absoluto y se mantuvieron bajo agitación orbital durante 24 h. Luego, la superficie de las muestras se secó con papel adsorbente y se registró la masa de las mismas ( $m_e$ ). Finalmente, la porosidad se obtuvo a partir de la ecuación 1, donde  $\rho_{et}$  es la densidad del etanol absoluto, 0.79 g/mL.

$$\% \text{ porosidad} = \left( \frac{m_e - m_0}{\rho_{et} V} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

El grado de hinchamiento (GH) en diferentes solventes se obtuvo sumergiendo fracciones de cada muestra (~0.06 g) en 40 mL ácido acético diluido, agua destilada o hidróxido de sodio, bajo agitación orbital (100 rpm) durante 24 h. Luego de dicho periodo, se separaron las muestras de los sobrenadantes y se secó su superficie suavemente con papel absorbente. Se registró la masa antes ( $m_0$ ) y luego del proceso ( $m_h$ ), y el GH se determinó de acuerdo a la ecuación 2.

$$GH = \frac{m_h - m_0}{m_0} \quad (2)$$

La estabilidad se determinó a partir de la ecuación 3, donde  $m_s$  es la masa de las muestras del ensayo de GH luego del secado de las mismas en estufa de vacío a 80°C por 24 h.

$$\% \text{ estabilidad} = \left( \frac{m_0 - m_s}{m_0} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

También se determinó el punto de carga cero ( $\text{pH}_{\text{pcc}}$ ). Mediante el agregado de NaOH 0.1 mol/L o HCl 0.1 mol/L a soluciones de KCl 0.1 mol/L (para mantener la fuerza iónica constante), se obtuvieron soluciones con pH entre 4 y 11 ( $\text{pH}_i$ ). Se pesaron 0.06 g de muestra y se pusieron en contacto con 40 mL de cada una de dichas soluciones. Las muestras permanecieron bajo agitación orbital durante 48 h. Al finalizar ese periodo, se separaron de los sobrenadantes y se midieron los pH de estos últimos ( $\text{pH}_f$ ). El valor de  $\text{pH}_{\text{pcc}}$  se determinó a partir de la intersección de la curva que se obtiene de graficar  $\Delta\text{pH}$  vs  $\text{pH}_i$  y el eje de las abscisas.

Para determinar la capacidad adsorbente de los materiales sintetizados, se colocó una fracción de muestra en contacto con soluciones de Rojo Congo (RC) de 100 mg/L de concentración bajo agitación orbital a temperatura ambiente, respetando una relación de 0.06 g de adsorbente en 40 mL de solución. Las muestras se extrajeron a distintos tiempos y se midió la absorbancia de las soluciones sobrenadantes por medio es espectrofotometría UV-visible, para determinar la concentración residual de RC de cada una de ellas. La capacidad de adsorción ( $q_t$ ) se determinó mediante la ecuación 4:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{m_0} V_{RC} \quad (4)$$

donde  $C_0$  y  $C_t$  son las concentraciones de la solución en contacto con la muestra a tiempo inicial y tiempo "t", respectivamente;  $V_{RC}$  es el volumen de solución de Rojo Congo y  $m_0$  es la masa de muestra empleada en el experimento.

Todos los ensayos descritos se realizaron por triplicado y se informa un promedio de los valores obtenidos.

### 3. Resultados y Discusión

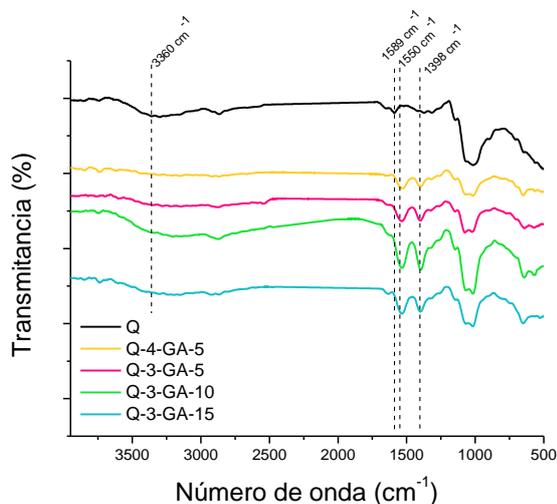
#### *Caracterización de los materiales obtenidos*

A partir del entrecruzamiento de Q en solución ácida con GA en solución acuosa se sintetizaron hidrogeles que fueron secados por liofilización. El resultado de dicho proceso fue la obtención de redes porosas tridimensionales que mantienen su integridad estructural durante su utilización como materiales adsorbentes y presentan diferentes propiedades dependiendo de su composición.

La densidad fue 0.059 y 0.054 g/cm<sup>3</sup> para las muestras Q-4-GA-5 y Q-3-GA-5, respectivamente, y 0.049 g/cm<sup>3</sup> para las muestras Q-3-GA-10 y Q-3-GA-15. Estos resultados demuestran que la cantidad de quitosano en las formulaciones tiene un mayor efecto que la cantidad de glutaraldehído sobre la densidad de los materiales.

Los espectros FTIR del quitosano en polvo empleado en la síntesis y de los aerogeles sintetizados se pueden observar en la figura 1. La banda ancha en la región de ~3360 cm<sup>-1</sup> es típica de modos vibracionales asociados al estiramiento de grupos –OH (Li et al., 2016). El entrecruzamiento involucra la reacción del glutaraldehído con los grupos amino del quitosano para formar puentes imina (Poon et al., 2014). Es por ello que la banda presente en el espectro del quitosano en polvo en 1589 cm<sup>-1</sup>, atribuible a la flexión de los enlaces N-H de los grupos amino primarios (NH<sub>2</sub>) (Li et al., 2016), tiende a desaparecer en las muestras entrecruzadas indicando que los grupos amino se consumieron durante la reacción. La formación del enlace C=N de los grupos imina se evidencia como la banda que aparece alrededor de 1550 cm<sup>-1</sup> para todas las muestras entrecruzadas y se relaciona con el estiramiento de dicho enlace (Baldino et al., 2015). La banda presente en 1398 cm<sup>-1</sup> también es una señal que indica que ocurrió una reacción del tipo base de Schiff y es análoga a la deformación de los enlaces C-H en aldehídos (Poon et al., 2014). Esta

banda estaría solapada con la flexión de los grupos C-H y O-H (Baldino et al., 2015) que aparecen en la misma región de número de onda.

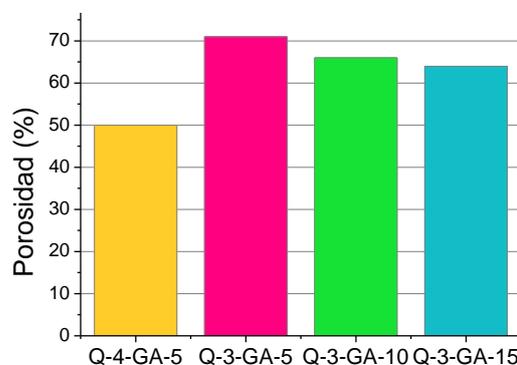


**Figura 1.** Espectros FTIR de las muestras analizadas y el quitosano en polvo utilizado en las formulaciones.

Los resultados de porosidad para las muestras analizadas se resumen en la figura 2. Se puede observar que, para una misma cantidad de Q, la porosidad disminuye conforme aumenta la cantidad de GA. Los poros se forman en el proceso de liofilización, durante el cual, el solvente presente en las soluciones formadoras, que se encuentra congelado formando cristales de hielo, se sublima. El mayor grado de entrecruzamiento dificulta la interconectividad de dichos poros y, dado que con la técnica empleada solo es posible determinar los poros en los que el solvente puede penetrar, se obtiene un menor valor de porosidad (de Luna et al., 2019). Cuando aumenta la cantidad de Q para una proporción de GA fija también disminuye la porosidad. En este caso, al entrecruzamiento químico provocado por el GA, se le añade el efecto de una mayor cantidad de entrecruzamientos físicos entre las cadenas de Q que dificulta la formación de una estructura de poros interconectados.

En la figura 3 se reúnen los resultados de la determinación del grado de hinchamiento de cada muestra en los diferentes solventes analizados (ácido acético pH 2.7; hidróxido de sodio pH 11 y agua destilada pH 6.8). En primer lugar, se puede observar que el GH depende del solvente con el que se ponga en contacto la muestra. En general, para todas las muestras, éste es mayor en medio ácido que en medio básico. A bajos pH, los grupos amino (-

NH<sub>2</sub>) presentes en la estructura del quitosano se encuentran protonados (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>). Estos últimos son hidrofílicos y permiten la difusión del agua dentro de la red tridimensional (Jahren et al., 2010). Además, como la temperatura permite que las cadenas de polímero se encuentren relajadas, al poseer la misma carga, estas se repelen entre sí y se debilitan las interacciones secundarias como aquellas que son por puente de hidrógeno. De manera opuesta, al aumentar el pH, los grupos amino se encuentran deprotonados y las cadenas de quitosano atraídas por fuerzas secundarias, restringiendo el ingreso de solvente (Rohindra et al., 2004).

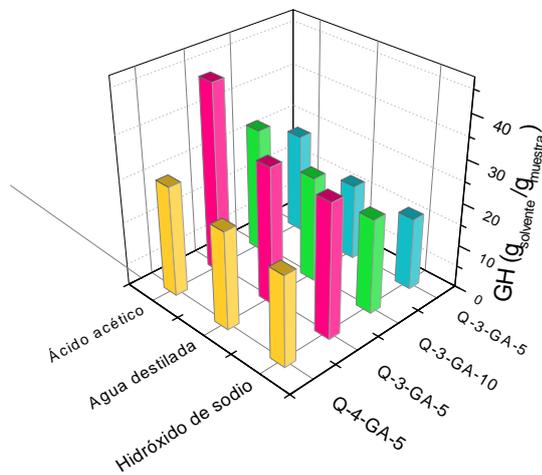


**Figura 2.** Porosidad de las muestras analizadas.

Al aumentar la proporción de entrecruzante, para una misma concentración de Q, se reduce la flexibilidad de la red polimérica dificultando la penetración de solvente y causando una disminución del grado de hinchamiento (Jahren et al., 2010). El hinchamiento también disminuye al aumentar la concentración de quitosano para una proporción de glutaraldehído constante, esto se debe a que una mayor concentración de quitosano favorece una estructura más compacta, con mayor cantidad de enredos entre las cadenas (Silvestro et al., 2020). Los valores de GH, asimismo, son concordantes con los porcentajes de porosidad obtenidos para las muestras.

Los valores de estabilidad de las muestras, expresados como el porcentaje de masa de muestra conservado luego del ensayo con respecto a la masa inicial empleada, se listan en la tabla 1. Cuando se mantiene la proporción de GA pero aumenta la cantidad de Q, las muestras resultan más estables en todos los medios. Esto está relacionado con lo mencionado anteriormente, una mayor

concentración de quitosano favorece una estructura más compacta, con mayor cantidad de enredos entre las cadenas, que vuelve al material más estable en medio acuoso.



**Figura 3.** Grado de hinchamiento de las muestras analizadas.

Por otra parte, al aumentar el porcentaje de GA para una misma cantidad de Q, la estabilidad no sigue una tendencia lineal. Esto indicaría que el porcentaje de muestra lixiviado se encuentra influenciado por otros factores además del grado de entrecruzamiento del material.

**Tabla 1.** Estabilidad de las muestras analizadas.

	Estabilidad (% $p_{\text{conservado}}/p_{\text{inicial}}$ )			$pH_{\text{pcc}}$
	Ácido acético	Agua destilada	Hidróxido de sodio	
Q-4-GA-5	78	75	73	5.64
Q-3-GA-5	71	69	68	5.61
Q-3-GA-10	80	76	74	5.51
Q-3-GA-15	75	70	68	5.48

El punto de carga cero ( $pH_{\text{pcc}}$ ) es el valor de pH para el cual la carga superficial de los sitios positivos del material es igual a la de los sitios negativos. En otras palabras, a dicho pH, la carga superficial neta es nula, resultando en un estado de alta entropía y desequilibrio. Los resultados de  $pH_{\text{pcc}}$  se listan en la tabla 1. Se puede observar una baja dependencia de estos valores con la composición de las muestras.

#### Aplicación de los materiales en la remoción de especies iónicas en medio acuoso

Los resultados experimentales de los ensayos de adsorción de RC se presentan en la figura 4, junto con las curvas teóricas predichas por el modelo de pseudo-segundo orden (PSO), presentado en la ecuación 5:

$$q_t = \frac{k q_e^2 t}{1 + k q_e t} \quad (5)$$

donde  $q_t$  y  $q_e$  representan la capacidad de adsorción a tiempo "t" y en el equilibrio "e", respectivamente y k es la constante de velocidad del modelo. A su vez el término  $k \cdot q_e^2$  representa la velocidad inicial de adsorción. Los parámetros del modelado se resumen en la tabla 2. Este modelo considera que la velocidad de adsorción depende del número de sitios disponibles para que ocurra y que el factor limitante de la velocidad en el proceso es la quimisorción (Fang et al., 2018), lo cual se refleja en que la velocidad de adsorción disminuye conforme el adsorbente se satura (García-González et al., 2021).

**Tabla 2.** Parámetros del modelado de la cinética de adsorción a partir del modelo de PSO.

	$q_e$ ( $\text{mg}_{\text{RC}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ )	k ( $\text{g}/(\text{s mg})$ )	$k q_e^2$ ( $\text{mg}/(\text{s g})$ )	$R^2$
Q-4-GA-5	43.25	4.94E-04	0.924	0.995
Q-3-GA-5	24.70	5.90E-04	0.360	0.993
Q-3-GA-10	35.04	4.81E-04	0.591	0.986
Q-3-GA-15	41.24	5.41E-04	0.920	0.998

A partir del análisis de las curvas se obtiene que a medida que aumenta la concentración de Q, manteniendo la proporción de GA, o cuando aumenta la densidad de entrecruzamiento para una cantidad de Q fija, la capacidad de adsorción y la velocidad inicial de adsorción del aerogel aumentan significativamente. Este comportamiento podría resultar inesperado debido a que, al aumentar el grado de entrecruzamiento, se obtiene una mayor capacidad de adsorción acompañada de un menor GH y porosidad. El entrecruzamiento rigidiza la estructura del material y se produce por una reacción entre el GA y los grupos amino del Q, que son los principales sitios de adsorción. Según Poon y col. (Poon et al., 2014), a medida que aumenta el

contenido de agente entrecruzante, la superficie del aerogel se vuelve más hidrofóbica y, por lo tanto, menos accesible a la hidratación, lo que es coincidente con los resultados obtenidos al medir el grado de hinchamiento. Por otro lado, los mismos autores también indican que el aumento en el grado de entrecruzamiento puede dar lugar a cambios favorables en las propiedades de textura de los materiales obtenidos debido a cambios en el potencial z y/o a los cambios relacionados con la estructura de los poros de los sitios de adsorción. A su vez, Hebeish (Hebeish, 2004) indica que el entrecruzamiento cambia la naturaleza cristalina del Q y disminuye el tamaño de los cristalitos, mejorando de esta manera la capacidad de

adsorción. Durante los ensayos se observó una disminución del pH de las soluciones en contacto con las muestras que también mejoraría el proceso de adsorción. El pH inicial de las soluciones de RC fue de 6.7, mientras que, luego de los ensayos, disminuyó a valores entre 4.5 y 5.0. Esta disminución de pH se atribuye fundamentalmente a la naturaleza ácida de los materiales, causada por la utilización de ácido acético en las formulaciones. Los valores finales de pH se hallan por debajo de los valores de  $pH_{pzc}$  de cualquiera de los aerogeles, por lo que, los adsorbentes se encuentran cargados positivamente durante el ensayo, favoreciendo la atracción electrostática entre los grupos amino protonados ( $-NH_3^+$ ) del quitosano y los grupos  $-SO_3^-$  del colorante.

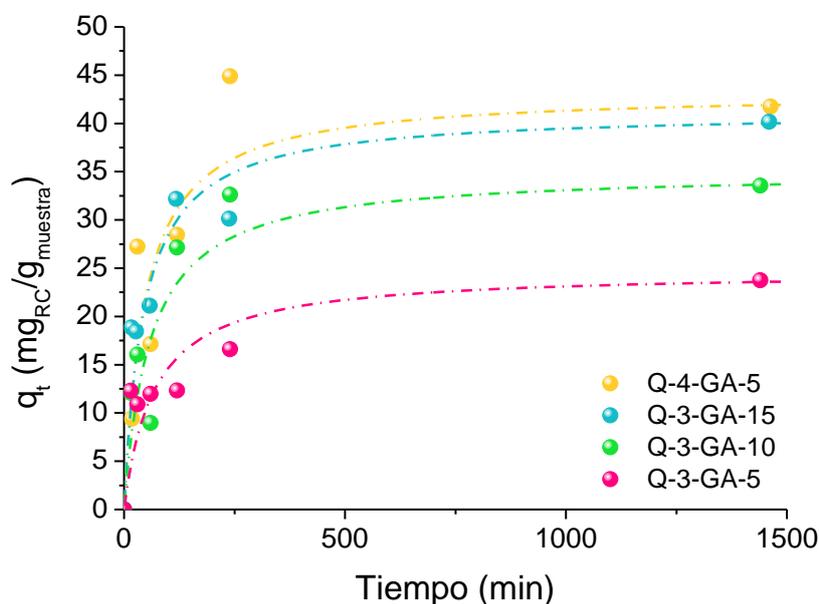


Figura 4. Cinética de adsorción, datos experimentales y su ajuste con el modelo de PSO.

#### 4. Conclusiones

Se lograron preparar aerogeles bio-basados mediante un procedimiento relativamente simple que consiste en liofilizar hidrogeles entrecruzados. La composición de los aerogeles condiciona su densidad, estructura de poros y química superficial y por lo tanto, afecta directamente las capacidades y velocidades iniciales de adsorción de las distintas formulaciones. La versatilidad del material según su composición amplia su potencialidad con respecto a sus aplicaciones en la remediación de efluentes.

#### 5. Agradecimientos

Las autoras agradecen a la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (PICT 2019-2677 y PICT 2021-0153), CONICET (PIP 991) y Universidad Nacional de Mar del Plata (Proyecto 15/G625 - ING629/21 y Beca otorgada a la Ing. Kloster).

#### 6. Referencias

Abhinaya, M., Parthiban, R., Kumar, P. S., & Vo, D.-V. N. (2021). A review on cleaner strategies for extraction of chitosan and its application in toxic pollutant removal. *Environmental Research*, 196, 110996.

- Baldino, L., Concilio, S., Cardea, S., De Marco, I., & Reverchon, E. (2015). Complete glutaraldehyde elimination during chitosan hydrogel drying by SC-CO<sub>2</sub> processing. *The Journal of Supercritical Fluids*, 103, 70-76.
- de Luna, M. S., Ascione, C., Santillo, C., Verdolotti, L., Lavorgna, M., Buonocore, G., . . . Ambrosio, L. (2019). Optimization of dye adsorption capacity and mechanical strength of chitosan aerogels through crosslinking strategy and graphene oxide addition. *Carbohydrate polymers*, 211, 195-203.
- Fang, Y., Wen, J., Zeng, G., Jia, F., Zhang, S., Peng, Z., & Zhang, H. (2018). Effect of mineralizing agents on the adsorption performance of metal-organic framework MIL-100 (Fe) towards chromium (VI). *Chemical Engineering Journal*, 337, 532-540.
- García-González, A., Zavala-Arce, R. E., Avila-Pérez, P., Rangel-Vazquez, N. A., Salazar-Rábago, J., García-Rivas, J., & García-Gaitán, B. (2021). Experimental and theoretical study of dyes adsorption process on chitosan-based cryogel. *International journal of biological macromolecules*, 169, 75-84.
- Hebeish, A. (2004). Crosslinking of chitosan with glutaraldehyde for removal of dyes and heavy metal ions from aqueous solutions. *Egyptian Journal of Chemistry (Special Issue)*, 65-79.
- Jahren, S. L., Butler, M. F., Adams, S., & Cameron, R. E. (2010). Swelling and Viscoelastic Characterisation of pH-Responsive Chitosan Hydrogels for Targeted Drug Delivery. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 211(6), 644-650.
- Li, A., Lin, R., Lin, C., He, B., Zheng, T., Lu, L., & Cao, Y. (2016). An environment-friendly and multi-functional absorbent from chitosan for organic pollutants and heavy metal ion. *Carbohydrate polymers*, 148, 272-280.
- Mahfouz, M. G., Galhoum, A. A., Gomaa, N. A., Abdel-Rehem, S. S., Atia, A. A., Vincent, T., & Guibal, E. (2015). Uranium extraction using magnetic nano-based particles of diethylenetriamine-functionalized chitosan: Equilibrium and kinetic studies. *Chemical Engineering Journal*, 262, 198-209.
- Mokhtari, A., Sabzi, M., & Azimi, H. (2021). 3D porous bioadsorbents based on chitosan/alginate/cellulose nanofibers as efficient and recyclable adsorbents of anionic dye. *Carbohydrate polymers*, 265, 118075.
- Pinelli, F., Piras, C., Nogueira, L. P., & Rossi, F. (2023). On the Sorbent Ability and Reusability of Graphene-Oxide-Chitosan Aerogels for the Removal of Dyes from Wastewater. *Gels*, 9(2), 110.
- Poon, L., Wilson, L. D., & Headley, J. V. (2014). Chitosan-glutaraldehyde copolymers and their sorption properties. *Carbohydrate polymers*, 109, 92-101.
- Rohindra, D. R., Nand, A. V., & Khurma, J. R. (2004). Swelling properties of chitosan hydrogels. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*, 22(1), 32-35.
- Shi, Y., Song, G., Li, A., Wang, J., Wang, H., Sun, Y., & Ding, G. (2022). Graphene oxide-chitosan composite aerogel for adsorption of methyl orange and methylene blue: Effect of pH in single and binary systems. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641, 128595.
- Silvestro, I., Francolini, I., Di Lisio, V., Martinelli, A., Pietrelli, L., Scotto d'Abusco, A., Piozzi, A. (2020). Preparation and characterization of TPP-chitosan crosslinked scaffolds for tissue engineering. *Materials*, 13(16), 3577.
- Sudarshan, S., Harikrishnan, S., RathiBhuvaneshwari, G., Alamelu, V., Aanand, S., Rajasekar, A., & Govarthan, M. (2023). Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future prospects. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2), 1xac064.



## Preparación de un sencillo catalizador de Zr (IV) y su aplicación para la esterificación de ácidos grasos

Camila M. Loffredo<sup>1\*</sup>, Matías Mendez<sup>2</sup>, Mariana Alvarez<sup>1</sup>

1. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Química, INQUISUR, Alem 1253, Bahía Blanca (8000), Buenos Aires, Argentina.
2. PLAPIQUI, Camino La Carrindanga Km7, Bahía Blanca (8000), Buenos Aires, Argentina.

\*E-mail: [camila.loffredo@uns.edu.ar](mailto:camila.loffredo@uns.edu.ar)

### PALABRAS CLAVES

Esterificación  
Ácido láurico  
Ácido cáprico  
Catálisis heterogénea

### RESUMEN

Se sintetizó un material sulfatando zirconia y dopándola con aluminio por un método libre de solventes. El material (SZ-Al) se caracterizó por difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). El mismo se utilizó en la reacción de esterificación de ácido láurico (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>, AL) y ácido cáprico (C<sub>10</sub>H<sub>20</sub>O<sub>2</sub>, AC), evaluando su potencialidad como catalizador para la síntesis de biodiesel. Estos resultados se compararon con la catálisis homogénea en presencia de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> y la actividad catalítica del soporte (Z), la zirconia sulfatada (SZ) y el sulfato de aluminio calcinado (cAl). Se analizó la estabilidad de los materiales en términos de actividad hacia diferentes ciclos de uso sucesivos. Posteriormente se determinó la energía de activación de SZ-Al en la esterificación de AL.

## Preparation of a simple Zr (IV) catalyst and its application for the esterification of fatty acids

### KEYWORDS

Esterification  
Lauric acid  
Capric acid  
Heterogeneous catalysis

### ABSTRACT

A material was synthesized by sulfating zirconia and doped with aluminum by a solvent-free method. The material (SZ-Al) was characterized by X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and scanning electron microscopy (SEM). It was used in the esterification reaction of lauric acid (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>, AL) and capric acid (C<sub>10</sub>H<sub>20</sub>O<sub>2</sub>, AC), evaluating its potential as a catalyst for biodiesel synthesis. These results were compared with homogeneous catalysis in the presence of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> and the catalytic activity of the support (Z), sulfated zirconia (SZ) and calcined aluminum sulfate (cAl). The stability of the materials was analyzed in terms of activity towards different successive cycles of use. Subsequently, the activation energy of SZ-Al in the esterification of AL was determined.

### 1. Introducción

Actualmente, el petróleo es la principal fuente de energía utilizada en todo el mundo. El crecimiento poblacional ha provocado un aumento en la demanda del mismo y sus derivados, pese a ser un recurso no renovable. Esto ha causado varias dificultades, ya que modelos matemáticos proyectan que el petróleo podría escasear entre 2048-2058, además de que la dependencia de este combustible

ha producido conflictos de índole bélica, política y económica en los países productores (Tavizón-Pozos et al., 2021). Por otro lado, la quema de combustibles fósiles es responsable de la emisión de gases de efecto invernadero y otros compuestos nocivos, responsables en gran medida de la crisis climática. En este sentido, es menester buscar alternativas de materiales que reduzcan el impacto ambiental. En particular, el desarrollo de biocombustibles parece ser una opción viable, económica y limpia. Si bien

existen variedad de métodos para su producción, la esterificación (reacción entre ácidos grasos libres y un alcohol en presencia de un catalizador) se plantea como una alternativa simple y rentable, ya que permite el uso directo de materiales grasos que normalmente se desechan, como es el caso de los aceites usados. Esto supone una ventaja adicional, ya que además de ser un proceso sustentable y competitivo económicamente (la materia prima es accesible), también se reduce el volumen de residuos oleosos de difícil disposición.

En la esterificación pueden utilizarse una variedad de catalizadores, tanto en fase homogénea como heterogénea. Ácidos sulfúrico, fosfórico y fluorhídrico, entre otros, son comúnmente utilizados en fase homogénea como catalizadores, debido a su bajo costo y su gran actividad. Sin embargo, el uso de estos materiales tiene limitaciones, como la corrosión de los reactores, y la dificultad de purificación del producto. Además, estos catalizadores no pueden ser reutilizados, lo que conlleva un gasto energético y una generación de residuos químicos considerables (Marques et al., 2023).

En este contexto, el desarrollo de catalizadores sólidos ácidos supone numerosas ventajas respecto a los análogos en solución ya que presentan baja corrosividad, son insensibles al contenido de ácidos grasos libres (AGL) y permiten la separación y regeneración de los mismos por métodos simples como la filtración o decantación, aumentando la pureza de los productos (Şenoymak Tarakçı & İlgen, 2022).

Los óxidos metálicos sulfatados, con sitios ácidos tanto de Brønsted como de Lewis se han estudiado para variedad de reacciones orgánicas, incluida la esterificación. La zirconia sulfatada ( $\text{SO}_4\text{-ZrO}_2$ , SZ) es un material de interés por su estabilidad térmica, bajo costo y porque presenta una buena actividad como catalizador heterogéneo en las reacciones de esterificación (Hamerski et al., 2020); sin embargo, su regeneración por calcinación no es completa, por lo que pierde actividad en sucesivos ciclos de uso (Rahmani Vahid et al., 2018). Adicionalmente, se ha estudiado la incorporación de especies de aluminio como promotoras, y como una herramienta de protección frente a la desactivación (Ma et al., 2017).

Es por esto que el objetivo del presente trabajo es obtener un material de SZ con carga de especies de aluminio por un método simple de síntesis. Se espera

que dicho material resulte estable y activo para ser empleado como catalizador en la reacción de esterificación de dos AGL modelo, con miras a la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales de desecho.

## 2. Materiales y métodos

### *Síntesis y caracterización del material*

Los catalizadores se prepararon por un método libre de solventes, moliendo manualmente en un mortero  $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  en una relación molar de 1:6:0,25 Zr:S:Al, durante 20 minutos. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente 18 h y luego se calcinó a 500 °C por 5 h, obteniendo así el sólido nombrado SZ-Al.

La identificación de las fases presentes en el material se determinó por difracción de rayos X (DRX), utilizando un difractómetro PANalytical X'Pert Pro con un detector PIXcel3D, con radiación  $\text{Cu K}\alpha$  (40 mA, 45 kV). Los difractogramas se registraron en un intervalo de  $2\theta = 5^\circ - 80^\circ$ . Mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) se analizaron las señales características de cada especie, empleando un equipo Nicolet Nexus en un intervalo de 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Para estas medidas, se prepararon pastillas mezclando las muestras en polvo con KBr en una relación en peso muestra:KBr de 1:100. Con el objetivo de realizar una caracterización superficial de SZ-Al, la muestra fue montada, metalizada con oro y observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), utilizando un microscopio LEO EVO 40-XVP equipado con un detector de Microanálisis por energía dispersiva (EDS) Oxford X-max 50.

### *Actividad catalítica*

Se estudió la actividad catalítica de SZ-Al en términos de conversión a productos en la reacción de esterificación de ácido láurico ( $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$ , AL) y ácido cáprico ( $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$ , AC) en metanol (MeOH). El sistema contó con agitación constante, la temperatura se fijó en 60 °C y las experiencias se realizaron bajo presión atmosférica. Se evaluó la cinética de esterificación de AGL, tomando alícuotas a intervalos de tiempo prefijados y hasta 2 horas de reacción.

Las muestras se analizaron por cromatografía gaseosa en un Shimadzu CG-14B con detección FID, utilizando una columna HP-INNOWAX (0,25 mm x 0,25  $\mu\text{m}$ ) con  $\text{N}_2$  como gas carrier. El inyector y el

detector se mantuvieron a una temperatura de 250 °C. Para determinar el grado de esterificación se utilizó la ecuación (1)

$$\% CE = \frac{AE}{AE + AA} \cdot 100, \quad (1)$$

donde CE es la conversión a metil laurato (ML) o metil caprato (MC), dependiendo del ácido graso de partida, AE es el área del respectivo éster en el cromatograma, y AA es el área del ácido de partida.

Al finalizar la reacción el catalizador se filtró, se lavó con MeOH y se calcinó a 500 °C por 1 h. Posteriormente, se utilizó en sucesivos ciclos de esterificación, manteniendo la relación AGL:catalizador:MeOH constante, a fin de evaluar la estabilidad del material. A fines comparativos se realizaron reacciones de esterificación de los ácidos grasos en ausencia de catalizador y la catálisis homogénea con  $Al_2(SO_4)_3$ . Además, se evaluó la potencial actividad catalítica del óxido de zirconio o zirconia (Z), de la zirconia sulfatada (SZ) y del sulfato de aluminio calcinado (cAl), preparados de forma similar a la síntesis propuesta de SZ-Al.

Se determinó la energía de activación de SZ-Al con el AGL con el cual se logró la mayor conversión a metiléster en las condiciones experimentales estudiadas. Para esto, se analizaron los resultados de la reacción de esterificación a tres temperaturas (40 °C, 60 °C y 80 °C).

### 3. Resultados y Discusión

#### Caracterización de los materiales

Los difractogramas de los materiales sintetizados se muestran en la Fig. 1. El catalizador SZ-Al y el material cAl exhiben señales apreciables a valores de  $2\theta$  de 21,0° (104), 25,5° (113), 30,7° (024), 33,7° (116) y 34,3° (211), coincidentes con la estructura cristalina de sulfato de aluminio en fase romboédrica (ICSD 073249) (Matori et al., 2012).

Los análisis SEM del material SZ-Al revelan una estructura superficial homogénea (Fig. 2), con un patrón de forma regular en toda la muestra (Soc et al., 2020). Las medidas de las partículas rondan en 1,3-1,5  $\mu m$ .

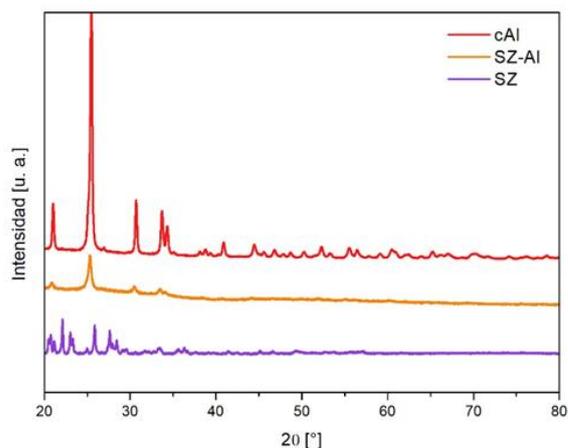


Figura 1. Perfiles de difracción de rayos X de los materiales sintetizados.

Respecto a los resultados obtenidos por EDS (Fig. 3 a-e) puede observarse que, si bien los elementos se encuentran distribuidos uniformemente en la superficie del material, el aluminio parece encontrarse asociado a zonas con mayor densidad de especies de oxígeno y azufre, coincidentes con la presencia de sulfato de aluminio en la estructura. Los porcentajes relativos de cada elemento en la muestra se observan en la Tabla 1.

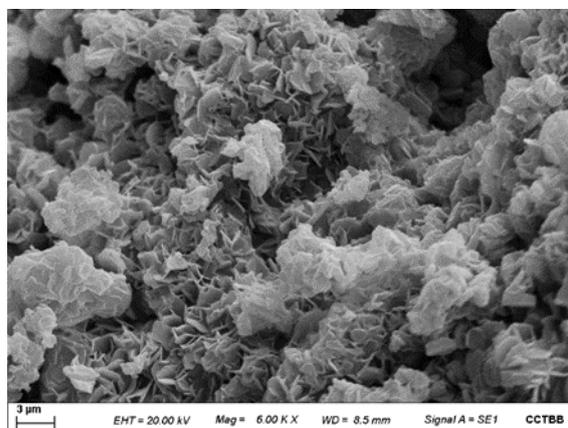
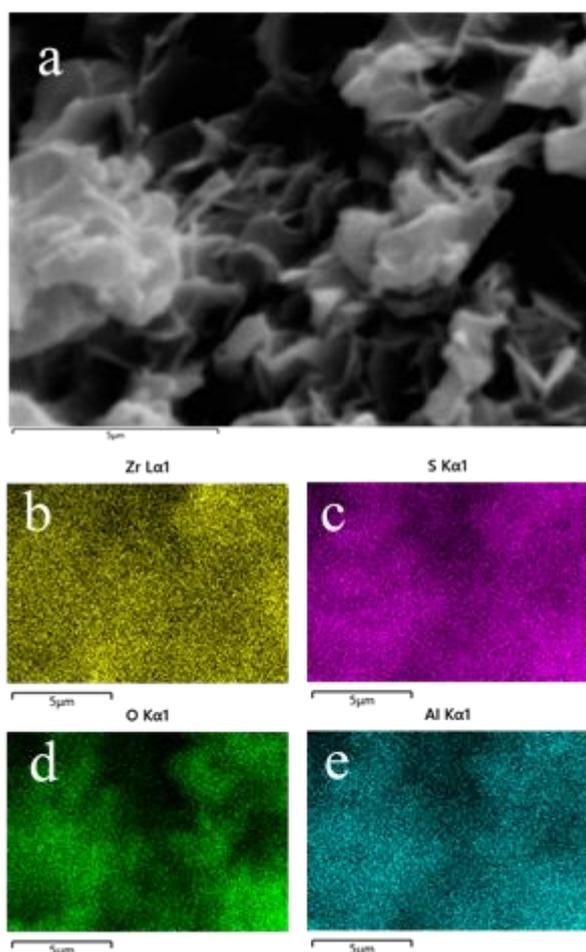


Figura 2. Imagen SEM del material SZ-Al.



**Figura 3.** Perfiles de mapeo elemental de las especies que componen el material SZ-Al.

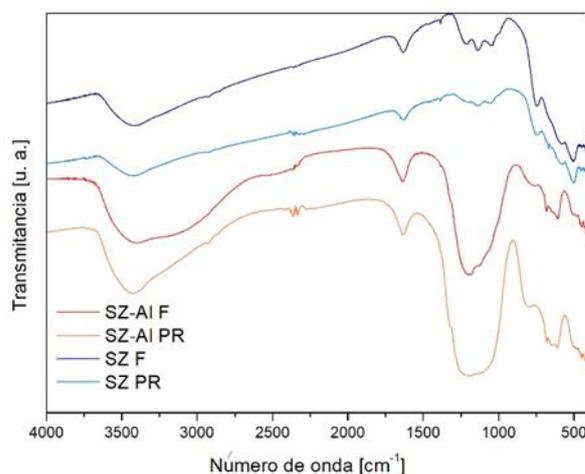
**Tabla 1.** Contenido relativo de las especies presentes en SZ-Al obtenidos por análisis EDS.

Catalizador	O (%)	S (%)	Zr (%)	Al (%)
SZ-Al	61,4	18,3	12,0	8,3

Los espectros FT-IR (Fig. 4) corresponden a los materiales SZ y SZ-Al, frescos y luego de un ciclo de reacción de 120 min con AL, a fin de analizar si existen cambios apreciables en la estructura de los materiales luego de su utilización.

La señal alrededor de  $750\text{ cm}^{-1}$ , evidenciada en todas las muestras, corresponde a vibraciones Zr-O. Además, pueden observarse señales débiles a  $445\text{ cm}^{-1}$  y  $630\text{ cm}^{-1}$  que podrían corresponder a las fases monoclinica y tetragonal de la zirconia, respectivamente (Rahmani Vahid et al., 2018). La banda alrededor de  $1050\text{ cm}^{-1}$  se asocia a vibraciones Zr=O, y las señales en  $1140$  y  $1230\text{ cm}^{-1}$  se asignan a las bandas del sulfato bidentado unido a cationes Zr.

Las débiles señales a  $994\text{ cm}^{-1}$  y  $1390\text{ cm}^{-1}$  (detectadas en todas las muestras) pueden asignarse a vibraciones de estiramiento simétricas y asimétricas de S-O, respectivamente (Wang et al., 2022).



**Figura 4.** Espectros FT-IR de SZ-Al y SZ, frescos (F) y luego de un uso en la esterificación de AL (post reacción, PR).

La introducción de especies de aluminio en la SZ genera modificaciones en el espectro infrarrojo, principalmente la aparición de la ancha banda que se encuentra en  $1000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ . Además, pueden identificarse señales de vibraciones O-H en  $1640\text{ cm}^{-1}$  y en el intervalo de  $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ .

#### Actividad catalítica

Cuando se evaluó la reacción de metil esterificación de los AGL en ausencia de catalizador, se obtuvieron conversiones notablemente bajas (<10% para AL y <1% para AC) a los 120 minutos. Utilizando  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  como catalizador en fase homogénea se obtuvieron conversiones de 86,2% en la esterificación de AL; sin embargo, el material no pudo recuperarse debido a su solubilidad en MeOH.

Las conversiones a éster de AL y AC aumentaron significativamente cuando se utilizó el catalizador SZ-Al, (>95% para AL y >76% para AC) y en menor medida con cAl y SZ (Figs. 5 y 6). La menor actividad se observó cuando se llevaron a cabo las reacciones de esterificación en presencia de Z. Esto podría explicarse teniendo en cuenta la acidez de los materiales, ya que la sulfatación y la adición de especies de aluminio en la zirconia generan un incremento en los sitios ácidos de este soporte, con un consecuente aumento en actividad catalítica (Gao et al., 1998).

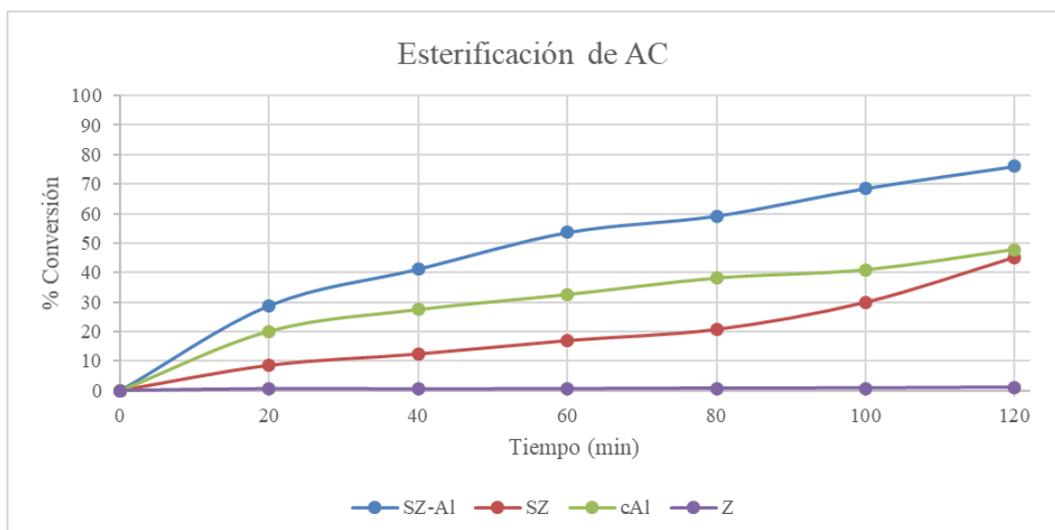


Figura 5. Cinéticas de reacción en la esterificación de AC con MeOH a 60 °C.

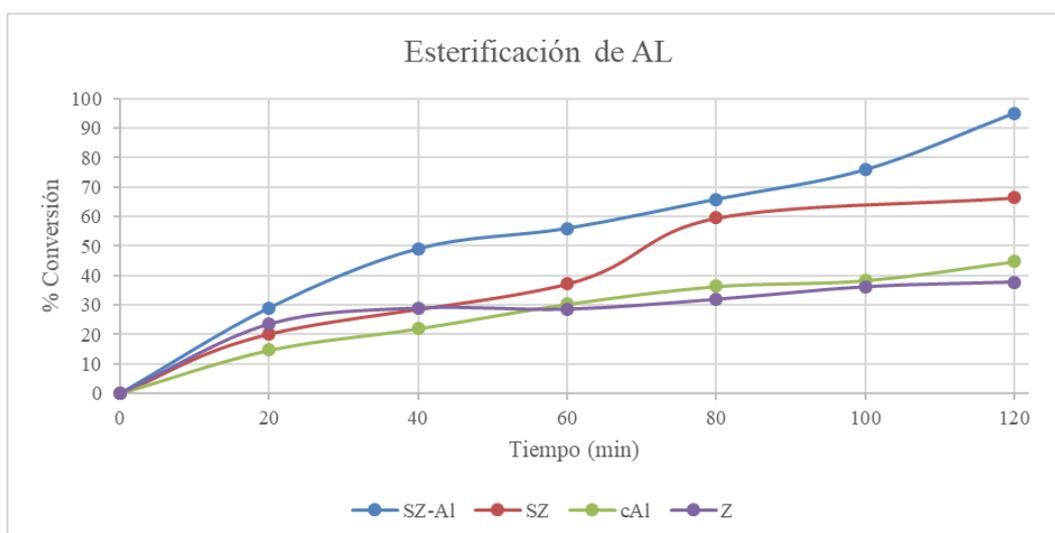


Figura 6. Cinéticas de reacción en la esterificación de AL con MeOH a 60 °C.

Pudo observarse que el AGL de cadena alifática más larga (AL, C12) experimentó mayores conversiones en términos generales respecto al ácido de cadena más corta (AC, C10) en las reacciones catalizadas por los materiales sintetizados. Esto podría explicarse asumiendo que la reactividad del ácido carboxílico aumenta al hacerlo la longitud de la cadena alifática de los AGL. Esto sucede a causa del efecto inductivo al que contribuyen los grupos metilos y metilenos, mejorando la capacidad electrodonora del ácido. Esto favorece la protonación del oxígeno carboxilato, lo que facilita el ataque nucleofílico por parte del MeOH. Si bien pueden existir efectos estéricos que se contrapongan a los presentados en lo que respecta a la velocidad de conversión, el efecto inductivo de las cadenas alquílicas de los AGL parece

dominar el mecanismo bajo las condiciones de este estudio (Silva et al., 2020).

#### Estabilidad de los catalizadores

Analizando los espectros infrarrojos de los catalizadores (Fig. 4), no se aprecian cambios significativos en las señales características de los mismos antes y después de ser utilizados en la reacción de esterificación, lo que permite inferir una cierta estabilidad estructural en los materiales luego de la reacción en MeOH. Es por esto que se estudió su actividad en términos de reuso.

Los materiales se evaluaron en cuatro sucesivos ciclos de reacción y los resultados se presentan en las Figs. 7 y 8. El catalizador SZ-AI presenta gran

estabilidad y actividad catalítica hacia la esterificación de AL, aun luego del 4º ciclo de uso. La disminución en la conversión a éster podría deberse a diversos factores, tales como la disolución de parte de la fase activa del catalizador en el medio de reacción o el envenenamiento del material catalítico con agua o alguno de los reactantes presentes. Este último mecanismo de desactivación puede

eliminarse casi en su totalidad con la calcinación que se utiliza como tratamiento previo a cada reuso (Eko & Rob, 2018). Por esto mismo, podría inferirse que la pérdida de actividad de los catalizadores se debe a la disolución parcial de iones sulfato y/o de sulfato de aluminio en el MeOH utilizado como reactivo, con la consecuente disminución de sitios activos en el material.

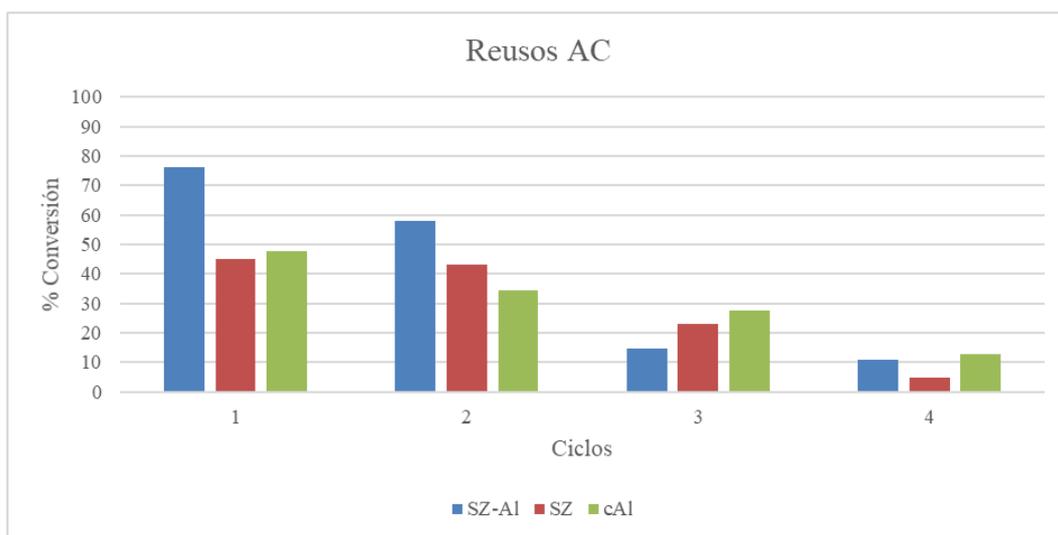


Figura 7. Reutilización de los materiales para cuatro ciclos catalíticos de esterificación de AC (120 min, 60 °C).

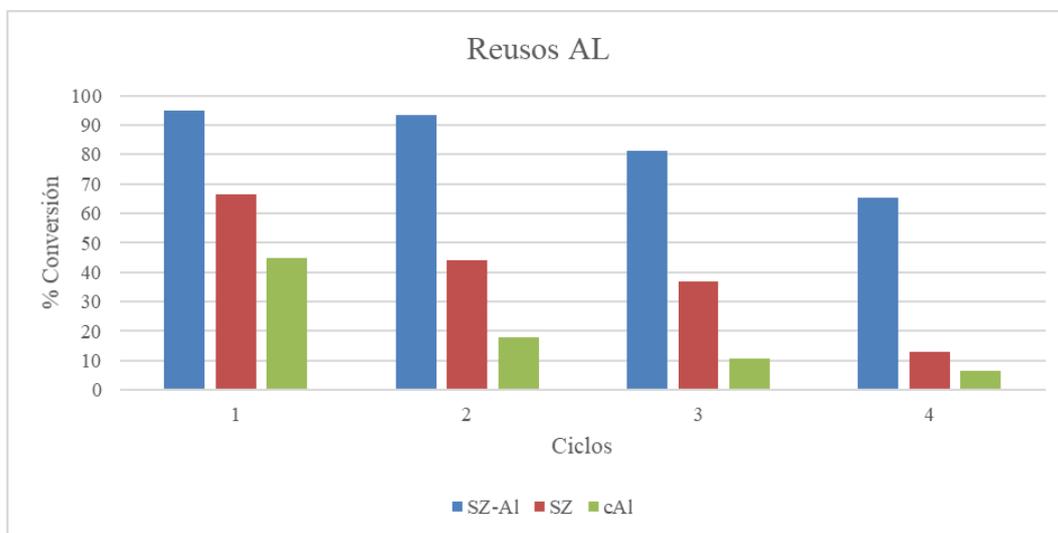


Figura 8. Reutilización de los materiales para cuatro ciclos catalíticos de esterificación de AL (120 min, 60 °C).

#### Energía de activación

La temperatura es un factor clave que influye en la actividad de los catalizadores. La Fig. 9 muestra el efecto de la temperatura del sistema en la cinética

de esterificación de AL usando SZ-Al como catalizador. Como es esperable, mayores conversiones a éster se obtienen al aumentar la temperatura del sistema.

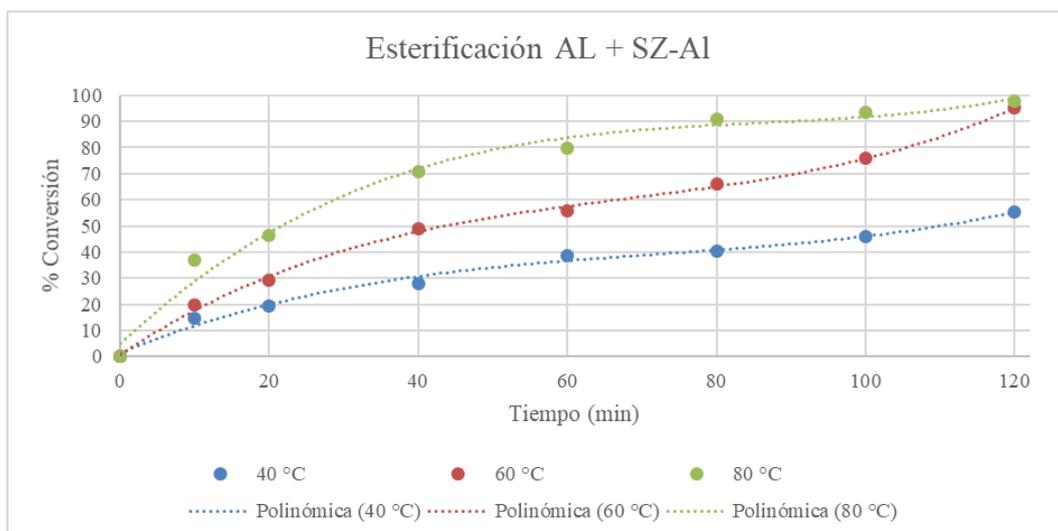


Figura 9. Dependencia de la conversión a éster de AL con la temperatura, utilizando SZ-Al como catalizador.

Las velocidades iniciales de reacción para cada temperatura ( $k$ ), calculadas a  $t=0$  a partir de la

primera derivada de las curvas de conversión  $(d\%CE/dt)_{t=0}$  se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Constantes de velocidad de esterificación para perfiles de conversión-tiempo a diferentes temperaturas ajustados a la ecuación de velocidad cúbica.

Catalizador	Temperatura (°C)					
	40		60		80	
	k [min <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>	k [min <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>	k [min <sup>-1</sup> ]	R <sup>2</sup>
SZ-Al	1,169	0,991	1,906	0,998	2,638	0,985

La energía de activación se determinó mediante la ecuación de Arrhenius (2)

$$k = A \exp \frac{-E_a}{RT} \quad (2)$$

donde  $A$  es el factor de frecuencia,  $E_a$  es la energía de activación,  $R$  es la constante universal de los gases y  $T$  es la temperatura absoluta. El valor de la energía de activación para esta experiencia en las condiciones presentadas fue de 19,05 kJ/mol, ( $R^2$  0,995).

#### 4. Conclusiones

Se sintetizó un material basado en zirconia sulfatada dopada con aluminio. El mismo fue caracterizado y se evaluó su actividad como catalizador ácido heterogéneo en la esterificación de dos AGL modelo,

comparando los resultados con diferentes experiencias control. Las mejores conversiones se alcanzaron utilizando SZ-Al en la esterificación de AL (95 %); esto puede deberse al efecto inductivo de la cadena alquílica en los AGL. El catalizador pudo recuperarse fácilmente y reutilizarse exitosamente en varios ciclos de reacción. Estos resultados son producto de la estabilidad del material junto con el aumento de la acidez ocasionada por las especies de Al y S, en contraste con la zirconia sin estos promotores. Se determinó además la energía de activación del sistema AL/SZ-Al/MeOH en las condiciones estudiadas.

Puede inferirse entonces que el material SZ-Al presentaría potencial para ser utilizado como catalizador ácido heterogéneo en la obtención de biodiesel a partir de aceites usados.

## 5. Referencias

- Eko, A., & Rob, B. (2018). The effect of calcination temperature of sulfated zirconia catalyst for simultaneous reactions in biodiesel production. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 22(Special issue II), 157–162.
- Gao, Z., Xia, Y., Hua, W., & Miao, C. (1998). New catalyst of  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2$  for n-butane isomerization. *Topics in Catalysis*, 6(1998), 101–106.
- Hamerski, F., Dusi, G. G., Fernandes dos Santos, J. T., da Silva, V. R., Pedersen Voll, F. A., & Corazza, M. L. (2020). Esterification reaction kinetics of acetic acid and n-pentanol catalyzed by sulfated zirconia. *International Journal of Chemical Kinetics*, 52(8), 499–512. <https://doi.org/10.1002/kin.21365>
- Ma, Z., Meng, X., Yang, C., Liu, N., Zhang, Y., & Shi, L. (2017). Study of High-Aluminum-Content Sulfated Zirconia: Influence of Aluminum Content and Washing. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 56(19), 5598–5606. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00832>
- Marques, G. S., Domingues, L. H. P., Fitz Bregenski, V., Dusi, G. G., Hamerski, F., & da Silva, V. R. (2023). Synthesis of propyl acetate by sulfated zirconia: kinetics and mechanism modeling. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 136(1), 397–414. <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02353-8>
- Matori, K. A., Wah, L. C., Hashim, M., Ismail, I., & Mohd Zaid, M. H. (2012). Phase transformations of  $\alpha$ -alumina made from waste aluminum via a precipitation technique. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 16812–16821. <https://doi.org/10.3390/ijms131216812>
- Rahmani Vahid, B., Saghatoleslami, N., Nayebzadeh, H., & Toghiani, J. (2018). Effect of alumina loading on the properties and activity of  $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$  for biodiesel production: Process optimization via response surface methodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 83, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.12.007>
- Şenoymak Tarakçı, M. İ., & İlgen, O. (2022). Parametric and kinetic study of simultaneous esterification and transesterification of model waste sunflower oil by using zirconium sulfate catalyst. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 85–106. <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02322-7>
- Silva, S. M., Peixoto, A. F., & Freire, C. (2020). Organosulfonic acid functionalized montmorillonites as solid catalysts for (trans) esterification of free fatty acids and (waste) oils. *Renewable Energy*, 146, 2416–2429. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.073>
- Soc, J. I. C., Arora, R., Pal, A., & Kumar, R. (2020). Parametric study of esterification of high free fatty acid rice bran oil using aluminum doped sulfated zirconia. 97(March), 450–454.
- Tavizón-Pozos, J. A., Chavez-Esquivel, G., Suárez-Toriello, V. A., Santolalla-Vargas, C. E., Luévano-Rivas, O. A., Valdés-Martínez, O. U., Talavera-López, A., & Rodríguez, J. A. (2021). State of art of alkaline earth metal oxides catalysts used in the transesterification of oils for biodiesel production. *Energies*, 14(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/en14041031>
- Wang, S., Yin, T., Meng, X., Liu, N., & Shi, L. (2022). Synthesis of Al-incorporated sulfated zirconia with improved and stabilized surface sulfur species for removal of trace olefins from aromatics. *Catalysis Science and Technology*, 12(1), 212–225. <https://doi.org/10.1039/d1cy01443a>



## Fotocatálisis para la desinfección y degradación de contaminantes orgánicos presentes en aguas contaminadas

Marisa J. Sandoval<sup>1,2</sup>, Lorena I. Brugnoli<sup>2</sup>, Flavia M. Carranza<sup>3</sup>, Mabel Rizzo<sup>4</sup>, Claus Samuelson Lucea<sup>5</sup>, Anabela S. Lorenzetti<sup>5</sup>, Claudia E. Domini<sup>5</sup>, Cecilia I. N. Morgade<sup>1,6\*</sup>

1. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461 (8000), Bahía Blanca, Argentina.
2. Universidad Nacional de Sur. Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia – INBIOSUR-CONICET, Av. Alem 1253 (8000), Bahía Blanca, Argentina.
3. Laboratorio Susana Palazzesi LSP, Tarapaca 1982 (8000), Bahía Blanca, Argentina.
4. Hospital Interzonal Dr. José Penna, Av. Lainez 2401 (8000), Bahía Blanca, Argentina.
5. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Química – INQUISUR-CONICET, Av. Alem 1253 (8000), Bahía Blanca, Argentina.
6. Universidad Nacional de Sur. Departamento de Física – IFISUR-CONICET, Av. Alem 1253 (8000), Bahía Blanca, Argentina.

\*E-mail: [cmorgade@frbb.utn.edu.ar](mailto:cmorgade@frbb.utn.edu.ar)

### PALABRAS CLAVES

Fotocatálisis  
TiO<sub>2</sub>  
ZnO  
Norfloxacin

### RESUMEN

Este trabajo muestra resultados de un estudio realizado con nanopartículas de ZnO y TiO<sub>2</sub> (anatasa y rutilo), como fotocatalizadores con actividad bactericida frente a dos cepas bacterianas con diferentes estructuras de pared celular (*Escherichia coli* ATCC 25922 y *Enterococcus faecalis* ATCC 25212). También fue analizada la actividad de remediación de los óxidos frente al antibiótico norfloxacin en disolución acuosa. Fueron evaluadas la fotólisis, la adsorción y la fotocatalisis. Se estudiaron además los halos de inhibición de las muestras del antibiótico degradado por fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> anatasa frente a una cepa de *Escherichia coli*. Los resultados obtenidos en cuanto al poder bactericida de los óxidos estudiados, muestran mayor eficiencia para ZnO. Entre los polimorfos de titanía, anatasa presentó resultados más eficaces que TiO<sub>2</sub> rutilo para ambos microorganismos. En cuanto a la degradación de la norfloxacin los mayores porcentajes se obtuvieron fotocatalíticamente con TiO<sub>2</sub> anatasa seguida de la obtenida con ZnO y por último con TiO<sub>2</sub> rutilo. La fotólisis por otra parte, fue menos eficiente que la fotocatalisis, sin embargo, presentó mejor remoción que la adsorción en todos los casos.

## Photocatalysis for disinfection and degradation of organic contaminants in contaminated waters

### KEYWORDS

Photocatalysis  
TiO<sub>2</sub>  
ZnO  
Norfloxacin

### ABSTRACT

This work shows results of a study carried out with ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles (anatase and rutile), as photocatalysts with bactericidal activity against two bacterial strains with different cell wall structures (*Escherichia coli* ATCC 25922 and *Enterococcus faecalis* ATCC 25212). The oxide remediation activity against the antibiotic norfloxacin in aqueous solution was also evaluated. Photolysis, adsorption and photocatalysis were evaluated. The inhibition zones of the samples of the antibiotic degraded by photocatalysis with TiO<sub>2</sub> anatase against *Escherichia coli* strains were also studied. The results obtained regarding the bactericidal power of the oxides studied show greater efficiency for ZnO. Among the polymorphs of titania, anatase presented more effective results than TiO<sub>2</sub> rutile for both microorganisms. Regarding the degradation of norfloxacin, the highest percentages were obtained photocatalytically with TiO<sub>2</sub> anatase followed by that obtained with ZnO and finally with TiO<sub>2</sub> rutile. Photolysis, on the other hand, was less efficient than photocatalysis, however, it presented better removal than adsorption in all cases.

## 1. Introducción

El agua es un bien finito, al que se le suma, la falta de oportunidades y la desigualdad de acceso al recurso de calidad. Microorganismos presentes en ellas tales como virus, bacterias y protozoos provocan gran morbi-mortalidad en humanos y animales en vastas regiones del planeta (Ganguly, 2018). Por otro lado, pueden encontrarse productos químicos, derivados de la actividad industrial. En particular la industria farmacéutica genera contaminantes emergentes que, debido a la introducción en cantidades bajas pero crecientes en los ecosistemas pueden causar importantes desequilibrios, (Zhang, 2007).

Dentro de estos contaminantes, los antibióticos representan un grupo de compuestos cuya presencia es preocupante y si bien son usados desde hace varias décadas, recientemente se los reconoce como contaminantes medioambientales. Estudios muestran que los metabolitos de los antibióticos tienen una persistencia considerable y están localizados tanto en las aguas subterráneas como así también en los suministros de agua potable de varios lugares en el planeta (Manzetti, 2014). Residuos en el suelo pueden contaminar las masas de agua mediante lixiviación, infiltración y escorrentía superficial y pueden acumularse en los sedimentos, lo que puede tener efectos adversos en organismos acuáticos y, en consecuencia, amenazar la salud humana también a través de la cadena alimentaria. Además esta descrito que la mayoría de los antibióticos no pueden eliminarse eficientemente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Fang, 2021). Entre ellos, la ciprofloxacina (CPX), un antibiótico sintético de segunda generación, encontrado en efluentes de aguas de varios lugares en el mundo, (Qingguo, 2021) es utilizado en este trabajo como representante de los muchos antibióticos factibles de encontrarse en el agua como contaminantes emergentes entre otras sustancias.

Por otra parte, tradicionalmente la desinfección del agua se realiza añadiendo cloro. Sin embargo, numerosos informes han confirmado la formación de sustancias, subproductos de desinfección formados a partir de la reacción del cloro con sustancias orgánicas (Hoda, 2019), las cuales podían ser sustancias potencialmente mutagénicas y cancerígenas.

Es de amplio conocimiento que las bacterias son microorganismos que conviven con los seres humanos en su ambiente, e incluso en grandes cantidades en el interior de su cuerpo conocida como microbiota. Sin embargo, algunas de ellas pueden causar serias enfermedades. Entre ellas, *Escherichia coli* es una bacteria Gramnegativa, no formadora de esporas, que se encuentra en el sistema digestivo de los animales homeotermos y de los seres humanos, y al ser parte de la microbiota intestinal se puede utilizar como indicador de contaminación fecal en la evaluación de la seguridad de los alimentos y el agua. Las bacterias gramnegativas tienen un lipopolisacárido en la membrana externa. Esta capa actúa como una barrera que impide la entrada de especies reactivas de oxígeno (ROS), potencialmente bactericidas, con carga negativa (Russell, 2003). Por su parte, los *Enterococcus faecalis* es un coco Grampositivos, la membrana celular de este tipo de bacterias presenta menor carga negativa lo que permite la penetración de las mencionadas especies ROS, (Gordon, 2011). En este trabajo se eligieron dos bacterias factibles de hallarse en medios acuosos representantes cada una de un tipo particular de forma y pared para enriquecer el estudio comparativo de los catalizadores analizados.

La fotocatalisis, por su parte, es un proceso de óxido-reducción avanzada, el cual emplea la energía solar para la generación u optimización de reacciones químicas mediante la generación de especies ROS y el uso de un sistema adecuado. Los óxidos fotocatalíticos estudiados en este trabajo, ZnO y TiO<sub>2</sub> son económicos, inocuos y químicamente estables (Gnanaprakasam, 2015).

A partir de todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es la comparación de materiales fotocatalíticos, referente a su eficiencia bactericida sobre dos especies con diferentes tipos de pared celular y la degradación de un contaminante emergente como la norfloxacina. Es preciso aclarar que en este trabajo se hace uso de un TiO<sub>2</sub> en estado puro y no como mezcla de ambos polimorfos mayoritarios como es habitual encontrar en otros trabajos.

## 2. Materiales y métodos

Los materiales utilizados en el presente trabajo son TiO<sub>2</sub> (anatasa y rutilo) y ZnO grado analítico Marca Sigma-Aldrich. Los tamaños de partículas se

determinaron en un Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM), Marca: JEOL, modelo: 100 CX II, operado a un voltaje de aceleración de 100 kV y magnificaciones de 20000x y 50000x. La medición de tamaños se realizó utilizando el software Digital Micrograph, versión 1.8. Para  $\text{TiO}_2$  anatasa las mediciones arrojaron un promedio de 126,4 nm, para  $\text{TiO}_2$  rutilo de 228,1 nm y las de ZnO de 218,3 nm.

Para el cultivo bacteriano se utilizaron dos cepas de *Escherichia coli* ATCC 25922 y de *Enterococcus faecalis* ATCC 25212 cultivadas en caldo trip casa soja (TSB, Biokar) durante 18 h a 37°C. En cada caso, se lavó tres veces con agua tridestilada estéril (centrifugando a 4000 x g durante 10 min.). Se ajustó la concentración a  $1 \times 10^7$  células/mL. Posteriormente 1 mL de dicha suspensión se diluyó en 99 mL de agua tridestilada estéril de pH 6.5 (S-H<sub>2</sub>O) o, en 99 mL de suspensión de  $\text{TiO}_2$  estructuras anatasa y rutilo y en ZnO respectivamente. Se sembró 1 mL de cada condición por la técnica de agar volcado en agar para recuento en placa (PCA, Britania) e incubó a 37°C durante 24-48 h para evaluar el poder bactericida de los óxidos sin activar. Para evaluar el efecto de los materiales semiconductores, se colocaron las muestras preparadas en igual condición que las anteriores bajo el efecto de la lámpara UVA (~340 nm) con agitación controlada y se fueron tomando alícuotas de 1 mL a diferentes tiempos (15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 300 min.). En la experiencia se utilizaron recipientes de vidrio pyrex de borosilicato para permitir el pasaje de la radiación en estudio y controlar aspectos referidos a absorción y transmisión de radiación. Asimismo, el grosor del vidrio de borosilicato utilizado es de 2 mm. Las distancias entre la fuente de radiación y la suspensión bacteriana fueron de 15 y de 30 cm no obteniéndose diferencias en los recuentos, por lo que se reportan las obtenidas a esta última, considerada apropiada como un valor medio a partir de las experiencias de Duarte y colaboradores (Duarte, 2009).

Las muestras tratadas como se describió (1 mL de cada tiempo) se sembraron para recuento en placa incubando a 37 °C por 24-48 h. Los recuentos de colonias microbianas se expresaron como UFC/mL (unidades formadoras de colonias por mililitro de muestra) y se convirtieron en una relación de supervivencia (N/NO) donde NO es el valor de (UFC)/mL al tiempo 0 y N representa el mismo valor

a un tiempo de exposición dado. Para la determinación de la actividad degradativa de los óxidos sobre la norfloxacin se utilizó una solución del antibiótico 1000 ppm preparada en HCl 0,1 M. A partir de ella se prepararon diluciones 2 ppm en agua de pH 8 (agua + NaOH) (50 mL). Se trabajó con soluciones 1 g/L de  $\text{TiO}_2$  o ZnO según correspondiera. Los ensayos se realizaron, con agitación magnética constante. El pH inicial se ajustó entre 6.5 y 7.0, utilizando NaOH 1 M. Se utilizó una lámpara UV marca Philips (15 W, 254 nm). Las mediciones se realizaron a 271 (espectrofotómetro Agilent modelo 8453 con celda de cuarzo). Para el análisis del efecto bactericida residual posterior a la degradación antibiótica se utilizó el Método de Kirby-Bauer. Una suspensión ajustada de cada microorganismo, (aprox.  $10^6$  cél/ml) se extendió mediante hisopado sobre placas de agar Mueller-Hinton (MH, Britania). Se realizaron pocillos de 5 mm de diámetro con sacabocados (6 por placa) donde se colocaron 50  $\mu$ l de cada muestra (completa y sobrenadante (s) previa centrifugación a 5500 x 5 min). Los resultados se expresaron en mm del halo de inhibición a las 24, 48 y 72 hs de cultivo a 37°C.

### 3. Resultados y Discusión

#### Actividad microbicida

En primera instancia se evaluaron los efectos bactericidas del catalizador en oscuridad y de la propia lámpara en ausencia de óxido. En ambas experiencias el resultado fue negativo, sin inhibición de crecimiento bacteriano. Los resultados obtenidos en presencia de catalizador se muestran en las Tablas 1 y 2.

En el caso del ZnO es sabido que al efecto fotocatalítico se le adiciona la actividad bactericida del  $\text{Zn}^{+2}$  producto de la solubilidad del ión a partir del óxido. Si bien para las condiciones de nuestro estudio esto es sólo importante para el *Enterococcus faecalis*, según la bibliografía cationes como  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$  reducirían drásticamente la toxicidad del  $\text{Zn}^{2+}$  para *E. coli*, (Mei, 2013).

La Tabla 1 muestra los resultados del crecimiento bacteriano a diferentes tiempos (0 a 1440 minutos) para el óxido de titanio en sus variantes alotrópicas (anatasa y rutilo) frente a las bacterias *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*.

**Tabla 1.** Crecimiento bacteriano a diferentes tiempos para TiO<sub>2</sub> en sus variantes alotrópicas frente a las bacterias.

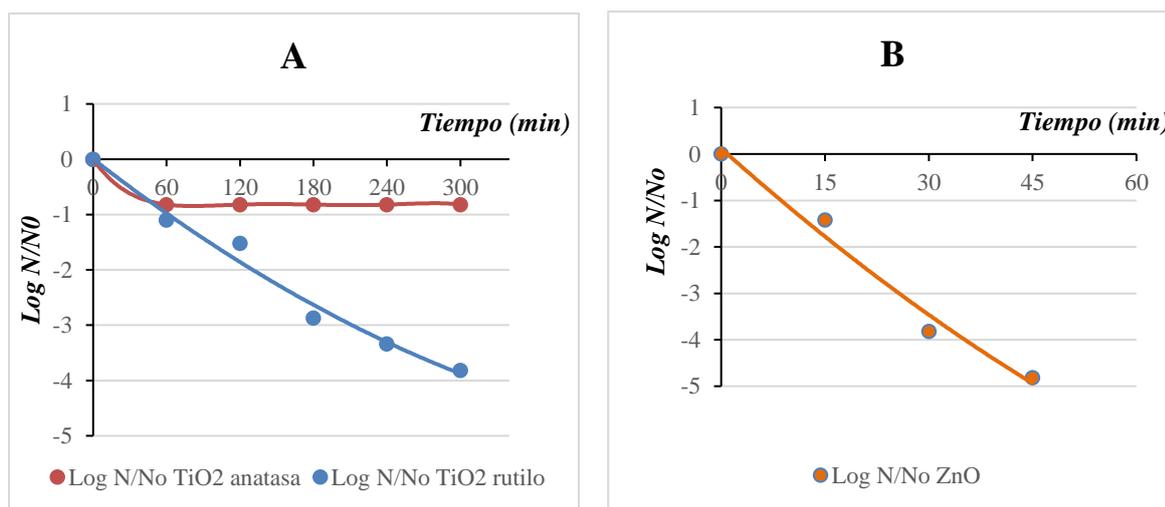
Tiempo (min.)	TiO <sub>2</sub> Anatasa				TiO <sub>2</sub> Rutilo			
	<i>Escherichia coli</i>		<i>Enterococcus faecalis</i>		<i>Escherichia coli</i>		<i>Enterococcus faecalis</i>	
	N° colonias	Log N/No	N° colonias	Log N/No	N° colonias	Log N/No	N° colonias	Log N/No
0	6.6 x 10 <sup>5</sup>	0.00	1.3 x 10 <sup>5</sup>	0.00	6.6 x 10 <sup>5</sup>	0.00	1.3 x 10 <sup>5</sup>	0,00
60	5.2 x 10 <sup>4</sup>	-1.10	1.0 x 10 <sup>4</sup>	-1.11	1.0 x 10 <sup>5</sup>	-0.82	1. x 10 <sup>4</sup>	-1.11
120	2.0 x 10 <sup>3</sup>	-1.52	5.5 x 10 <sup>2</sup>	-2.37	1.0 x 10 <sup>5</sup>	-0.82	1.0x 10 <sup>3</sup>	-2.37
180	9.0 x 10 <sup>2</sup>	-2.87	2.0 x 10 <sup>2</sup>	-2.81	1.0 x 10 <sup>5</sup>	-0.82	4.0 x 10 <sup>2</sup>	-2.81
240	3.0 x 10 <sup>2</sup>	-3.34	2.0 x 10 <sup>2</sup>	-2.81	1.0 x 10 <sup>5</sup>	-0.82	4.0 x 10 <sup>2</sup>	-2.81
300	1.0 x 10 <sup>2</sup>	-3.82	1.0	-5.11	1.0 x 10 <sup>5</sup>	-0.82	4.0 x 10 <sup>2</sup>	-5.11
1440	Sin crecimiento							

La Tabla 2 muestra los resultados del crecimiento bacteriano a diferentes tiempos (0 a 60 minutos) para el óxido de cinc. La diferencia en los mismos con respecto a la Tabla 1 se debe a la actividad

bactericida acentuada a tiempos cortos del catalizador. La Figura 1 muestra comparativamente, el efecto bactericida de los tres óxidos (A: TiO<sub>2</sub> y B: ZnO).

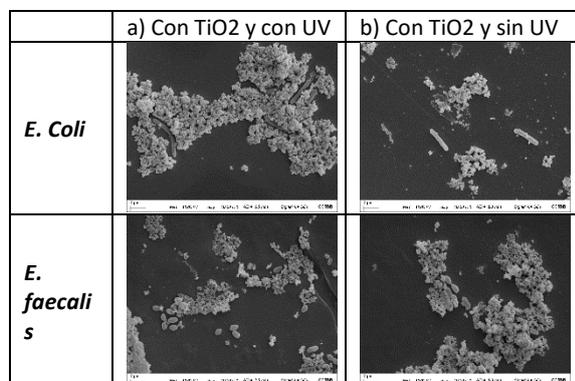
**Tabla 2.** Crecimiento bacteriano a diferentes tiempos para ZnO frente a las bacterias.

Tiempo (min.)	ZnO			
	<i>Escherichia coli</i>		<i>Enterococcus faecalis</i>	
	N° colonias	Log N/No	N° colonias	Log N/No
0	6.6 x 10 <sup>5</sup>	0.00	1.3 x 10 <sup>5</sup>	0.00
15	2.5 x 10 <sup>4</sup>	-1.42	1.0 x 10 <sup>2</sup>	-3.11
30	1.0 x 10 <sup>2</sup>	-3.82	0	indefindo
45	1.0 x 10 <sup>1</sup>	-4.82	0	indefindo
60	Sin crecimiento			



**Figura 1.** Se muestran los Log N/No para cada óxido detallado en las tablas 1 y 2 (N: número de colonias bacterianas a un dado tiempo; No: número de colonias al tiempo inicial) para cada óxido (A: TiO<sub>2</sub> y B: ZnO).

La Figura 2 muestra imágenes de las partículas de TiO<sub>2</sub> anatasa y ambos tipos bacterianos en presencia y en ausencia de radiación.



**Figura 2.** Imágenes TEM de *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* (magnificación de 10000x) en presencia de TiO<sub>2</sub> y 4 horas de radiación UV (a) y en presencia de catalizador pero ausencia de radiación (b).

Como es sabido, la integridad de las paredes y particularmente de las membranas celulares es extremadamente importante en el mantenimiento de la viabilidad de las bacterias. Los transportadores de electrones y las enzimas responsables de las reacciones redox deben estar adecuadamente ensamblados en la membrana celular para acoplar el cambio de energía libre a la síntesis de ATP. Por lo tanto, cualquier alteración provoca la descarga del potencial de membrana comprometiendo la supervivencia celular. La bibliografía indica que el efecto de la fotocatalisis provoca la oxidación de las paredes y membranas de los microorganismos expuestos a partir de las especies ROS generadas (Jiang, 2008). De hecho, en la literatura se registran imágenes de fotografías de microscopía electrónica de barrido (SEM) que revelan el deterioro y destrucción de bacterias de *Escherichia coli* (Ganguly, 2018). Sin embargo, en las fotografías de TEM (Figura 2) no se evidencia explícitamente el daño celular a este nivel de magnificación óptica.

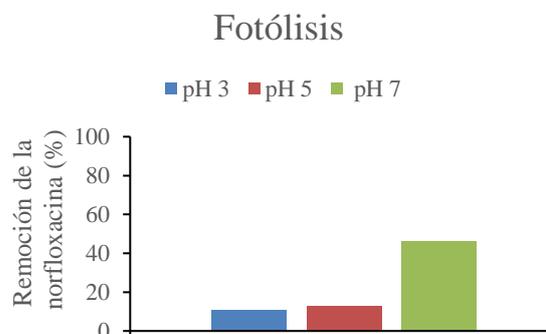
#### Degradación de norfloxacin

Para el estudio comparativo de la degradación de norfloxacin se utilizó una lámpara UVC de 254 nm. Por otro lado, también se evaluó la capacidad adsorptiva de los materiales en ausencia de excitación lumínica. En todos los casos, los porcentajes de remoción, adsorción o fotocatalisis se calcularon como la diferencia entre la concentración a tiempo cero del antibiótico y la concentración al tiempo indicado multiplicado x 100 y dividido por concentración a tiempo cero (Ecuación 1).

Eficiencia de degradación o adsorción

$$(\%) = [(C_o - C_t)/C_o] \times 100 \quad (1)$$

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran el porcentaje de remoción del antibiótico a las 5 horas por fotólisis, por adsorción y por fotocatalisis, respectivamente.



**Figura 3.** Porcentaje de remoción de la norfloxacin por fotólisis a diferentes pH. El experimento se llevó a cabo a las 5 horas de exposición.

Con respecto a los resultados obtenidos mediante fotólisis, el porcentaje de remoción a la primera hora es del 20% a pH neutro y 0% a pH ácido. A las 3 horas se incrementó al 28% a pH neutro, mientras que en condiciones ácidas sólo aumentó a un 5%. A las 5 horas, como se muestran en la Figura 3, la fotólisis resultó un 35% más eficiente a pH neutro (46,25%) que a pH ácido (pH = 3 y pH = 5).

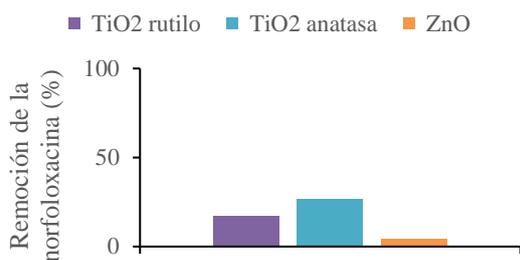
El espectro de absorción UV-Vis de la norfloxacin consta a pH neutro de un pico principal a 277 nm y una banda aproximadamente, entre 300 a 350 nm, (Zhang, 2014). La estructura molecular del antibiótico contiene grupos ionizables (-COOH, -NHn) vinculados a los diferentes estados de disociación en disolución acuosa, siendo las respectivas constantes de disociación ácida: pKa<sub>1</sub> ~ 3,11; pKa<sub>2</sub> ~ 6,10; pKa<sub>3</sub> ~ 8,60 y pKa<sub>4</sub> ~ 10,5. De las especies posibles según el pH del medio, la neutra o zwitterión y las mono o bicatiónicas, son las dominantes en ambientes acuáticos naturales, en general neutros o ácidos. Esa es la razón por la que no fue incluida la fotólisis en medio básico (Wang, 2017).

Estudios previos experimentales también indican que la tasa de fotólisis de la norfloxacin está muy influenciada por el pH de la solución, (Ahmad, 2015). Wang y colaboradores estudiaron mediante cálculos químicos, mecanismos de fotólisis directa de

norfloxacina a diferentes pH y también encuentran que las diferentes formas iónicas del antibiótico tenían diferentes longitudes de onda de absorbancia electrónica máxima, mostrando diferente reactividad la fotólisis (Wang, 2017).

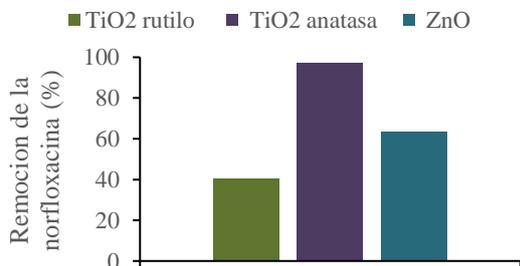
En cuanto a la adsorción, ésta es mayor en TiO<sub>2</sub> anatasa.

### Adsorción



**Figura 4.** Porcentaje de remoción de la norfloxacina por adsorción. El experimento se llevó a cabo a las 5 horas de exposición.

### Fotocatálisis



**Figura 5.** Porcentajes de remoción de la norfloxacina por fotocatalisis. El experimento se llevó a cabo a las 5 horas de exposición.

De la Figura 5 se evidencia que TiO<sub>2</sub> anatasa presenta la mayor eficiencia fotocatalítica de remoción del antibiótico, aunque ésta no alcance el 100 % al tiempo de la experiencia. El ZnO es por su parte, un 23 % más eficiente que TiO<sub>2</sub> rutilo presentando este último un 40 % de eficiencia a las 5 horas de estudio. Un dato interesante surge a la hora de evaluar los cambios de pH con el agregado del semiconductor a la disolución de norfloxacina. En los casos de agregado de TiO<sub>2</sub> el mismo se eleva, mientras que disminuye con ZnO. Para la fotocatalisis, en el caso de titanía el pH sube 0.4 puntos con respecto al

inicial y baja en la misma magnitud cuando el fotocatalizador es el ZnO. Sabiendo que las reacciones redox del agua producen un aumento de pH en el caso de la reducción y una disminución del mismo en el caso de la oxidación (Morgade, 2017) podría pensarse para ambos catalizadores diferencias en los mecanismos de reacción producto de sus diferentes posiciones de los bordes de las bandas o potenciales redox.

### Efecto bactericida de los productos de degradación

También se evaluó sobre *Escherichia coli*, el efecto bactericida de los residuos producto de la degradación del antibiótico con TiO<sub>2</sub> mediante el Método de Kirby-Bauer. Para ello, se extendió una suspensión bacteriana (10<sup>6</sup> cél/mL) sobre placas de agar MH. Se realizaron pocillos de 5 mm de diámetro con sacabocados (6 por placa) donde se colocaron 50 µL de cada muestra (completa (T) y sobrenadante (S) previa centrifugación a 5500 x 5 min). El estudio de las muestras completas tuvo la finalidad de evaluar si compuestos adsorbidos sobre el óxido presentaban actividad bactericida residual. Los resultados se expresan en la Tabla 3 en mm del halo de inhibición a las 24, 48 y 72 hs de cultivo a 37°C.

**Tabla 3.** Halos de inhibición a las 24/48/72 horas de las suspensiones de TiO<sub>2</sub> rutilo (RT) y TiO<sub>2</sub> anatasa (AT) a los tiempos del intervalo entre 0 y 300 minutos de fotocatalisis. También se muestran los resultados en los sobrenadantes obtenidos de las suspensiones centrifugadas de rutilo (RS) y anatasa (AS).

Muestra	Halos de inhibición	Muestra	Halos de inhibición
Norfloxacina T0	17/15/14	Norfloxacina T0	17/15/14
RT 0	25/20/17	AT 0	10/8/6
RT 30	20/18/15	AT 30	0/0/0
RT 60	15/12/10	AT 60	0/0/0
RT 120	10/0/0	AT 120	0/0/0
RT 180	0/0/0	AT 180	0/0/0
RT 240	0/0/0	AT 240	0/0/0
RT 300	0/0/0	AT 300	0/0/0
RS T0	25/20/18	AS 0	0/0/0
RS T30	17/15/13	AS 30	0/0/0
RS T60	14/12/10	AS 60	0/0/0
RS T120	10/0/0	AS 120	0/0/0
RS T180	0/0/0	AS 180	0/0/0
RS T240	0/0/0	AS 240	0/0/0
RS T300	0/0/0	AS 300	0/0/0

De la observación de los resultados obtenidos puede concluirse que los productos de degradación del antibiótico por fotocatalisis no presentan actividad

bactericida. La diferencia en los resultados obtenidos para ambos polimorfos de  $\text{TiO}_2$  coinciden con los obtenidos en la degradación, siendo la misma, superior para anatasa. En el caso del rutilo, el efecto bactericida se evidencia hasta los 120 minutos si se estudia la suspensión total y, hasta 60 minutos si se analiza sólo el sobrenadante. Esto indicaría que el primer paso en la fotocatalisis donde el antibiótico esta adsorbido sobre la superficie del óxido, aun presenta o retiene cierta actividad microbicida. En cuanto a la anatasa, el efecto bactericida sólo se evidencia a tiempo cero para la suspensión total, donde parte del antibiótico se encontraría adsorbido sobre la superficie.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos del estudio comparativo para nanopartículas de ZnO y  $\text{TiO}_2$  (anatasa y rutilo), como fotocatalizadores con actividad bactericida frente a dos cepas bacterianas con diferentes estructuras de pared (*Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*) y degradadora de un compuesto orgánico muestran que, en cuanto al poder bactericida, el ZnO presenta mayor eficiencia a pesar de tener menor superficie específica por presentar un mayor tamaño de partícula. Este es seguido por  $\text{TiO}_2$  anatasa, siendo  $\text{TiO}_2$  rutilo el de menor letalidad. En cuanto a la degradación de la norfloxacin los mayores porcentajes se obtuvieron fotocatalíticamente con  $\text{TiO}_2$  anatasa seguida por el ZnO y por último el  $\text{TiO}_2$  rutilo. La fotólisis por otra parte, fue menos eficiente que la fotocatalisis, sin embargo, presentó mejor remoción que la adsorción en todos los casos. Estudios con mezclas de ZnO y  $\text{TiO}_2$  anatasa serían convenientes de realizarse.

#### 5. Referencias

- Ahmad, I., Bano, R., Musharraf, S.G., Sheraz, M.A., Ahmed, S., Tahir, H., ulArfeen, Q., Bhatti, M.S., Shad, Z. and Hussain, S.F. (2015). Photodegradation of norfloxacin in aqueous and organic solvents: A kinetic study. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 302, 1–10.
- Chen, Q., Hao, Y., Song, Z., Liu, M., Chen, D., Zhu, B., Chen, J. and Chen, Z. (2021). Optimization of photocatalytic degradation conditions and toxicity assessment of norfloxacin under visible light by new lamellar structure magnetic ZnO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112742.
- Duarte, I., Rotter, A., Malvestiti, A. and Silva, M. (2009). The role of glass as a barrier against the transmission of ultraviolet radiation: an experimental study. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 25, 184-181.
- Fakour, H., Lo, S-L. (2019). Formation and risk assessment of trihalomethanes through different teabrewing habits. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222 (1), 117-124.
- Ganguly, P., Byrne, C., Breen, A. and Pillai, S.C. (2018). Antimicrobial activity of photocatalysts: Fundamentals, mechanisms, kinetics and recent advances. *Applied Catalysis B: Environmental*, 225, 51-75.
- Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Sivayogavalli, P. L. and Thirumarimurugan, M. (2015). Characterization of  $\text{TiO}_2$  and ZnO nanoparticles and their applications in photocatalytic degradation of azodyes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 121–125.
- Gordon, T., Perlstein, B., Houbara, O., Felner, I., Baninb, E. and Margel, S. (2011). Synthesis and characterization of zinc/iron oxide composite nanoparticles and their antibacterial properties. *Colloids Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 374, 1–8.
- Jiang, W., Kim, B.Y. S., Rutka, J.T. and Chan, W.C. (2008). Nanoparticle-mediated cellular response is size-dependent. *Nature Nanotechnology*, 3, 145–150.
- Li, M., Lin, D. and Zhu, L. (2013). Effects of water chemistry on the dissolution of ZnO nanoparticles and their toxicity to *Escherichia coli*. *Environmental Pollution*, 173, 97-102.
- Manzetti, S., Ghisi, R. (2014). The environmental release and fate of antibiotics. *Marine Pollution Bulletin*, 79 (1-2), 7-15.
- Morgade, C.I.N., Cabeza, G.F. (2017). First-principles study of codoping  $\text{TiO}_2$  systems capable of improving the specific surface area and the dissociation of  $\text{H}_2\text{O}$  to generate  $\text{H}_2$  and  $\text{O}_2$ . *Computational Materials Science*, 127, 204-210.
- Russell, AD. (2003). Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52:750–763.
- Wang, F, Gao, J., Zhai, W., Cui, J., Liu, D., Zhou, Z. and Wang, P. (2021). Effects of antibiotic norfloxacin on the degradation and enantioselectivity of the herbicides in aquatic environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111717.
- Wang, S., Wang, Z. (2017). Elucidating Direct Photolysis Mechanisms of Different Dissociation Species of Norfloxacin in Water and  $\text{Mg}^{2+}$  Effects by Quantum Chemical Calculations. *Molecules*, 22 (11), 1949.
- Xu, W., Zhang, G., Zou, S., Li, X. and Liu, Y. (2007). Determination of Selected Antibiotics in the Victoria Harbour and the Pearl River, South China Using High-Performance Liquid Chromatography-Electrospray

Ionization Tandem Mass Spectrometry. Environmental Pollution, 145, 672-679.

Zhang, P., Li, H., Yao, S. and Wang, W. (2014). Effects of pH and polarity on the excited states of norfloxacin and its 4'-N-acetyl derivative: A steady-state and time-resolved study. Science China Chemistry, 57, 409–416.



## Determinación de parámetros característicos del proceso de secado de frutillas (*Fragaria ananassa*) aplicando modelos cinéticos

María Cristina Ciappini<sup>1</sup>, Fernando Santiago Stoppani<sup>1</sup>

1. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos. Zeballos 1341 (2000), Rosario – Argentina.

\*E-mail: [mcciappini@frro.utn.edu.ar](mailto:mcciappini@frro.utn.edu.ar)

### PALABRAS CLAVES

Frutilla  
Secado convectivo  
Cinética de secado

### RESUMEN

La ingesta de frutillas constituye un aporte de compuestos antioxidantes cuando se incorpora a la dieta humana. Sin embargo, se trata de un fruto altamente perecedero. El secado es una alternativa para prolongar la utilización de las frutillas, reduciendo las pérdidas poscosecha de biocompuestos y facilitando el transporte, por reducción de costos. Hay diversos métodos para llevar a cabo esta operación, sin embargo, a nivel industrial el secado convectivo es la opción de menor costo operativo y de inversión. El objetivo de este trabajo fue secar frutillas y modelar la cinética de secado, a 60°C, 70°C y 80°C en un secadero con circulación forzada de aire. Se ensayaron cinco modelos matemáticos, a través de regresiones no lineales. Para todos los modelos propuestos se evaluó la bondad de ajuste de los datos experimentales, mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE). Se calculó también el coeficiente de difusividad efectiva. El modelo con mejores ajustes fue el Polinómico, seguido por el modelo de Midili y el modelo Exponencial generalizado. En estos tres casos, los valores de  $R^2$  fueron mayores a 0,96. El coeficiente de difusividad efectivo obtenido se encontró dentro de los valores esperados.

## Determination of characteristic parameters of the drying process of strawberries (*Fragaria ananassa*) applying kinetic models

### KEYWORDS

Strawberry  
Convective drying  
Drying kinetics

### ABSTRACT

The intake of strawberries is a contribution of antioxidant compounds when it is incorporated into the human diet. However, it is a highly perishable fruit. Drying is an alternative to prolong the use of strawberries, reducing postharvest losses of biocompounds and facilitating transportation, due to cost reduction. The objective of this work was to dry strawberries and to model the drying kinetics, at 60°C, 70°C and 80°C in a dryer with forced air circulation. Five mathematical models were tested, through non-linear regressions. For all the proposed models, the goodness of fit of the experimental data was evaluated, using the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the square root of the mean square error (RMSE). The effective diffusivity coefficient was also calculated. The model with the best fit was the Polynomial, followed by the Midili model and the generalized Exponential model. In these three cases, the  $R^2$  values were greater than 0.96. The effective diffusivity coefficient obtained was within the expected values.

## 1. Introducción

La incorporación de compuestos con capacidades antioxidantes, antimicrobianas y/o anticancerígenas es un aspecto fundamental para la salud. Un gran número de estudios, por ejemplo, establecieron el potencial anticancerígeno de constituyentes sencillos purificados encontrados en las bayas. Entre estos fitoquímicos, se incluyen compuestos fenólicos tales como las antocianinas, quercitina, pro-antocianidinas, taninos hidrolizados y otras moléculas, relacionadas con los flavonoides (Ondarza Beneitez y Ciapara Higuera, 2016). Además las bayas, son extremadamente ricas en vitamina C y ácidos fenólicos, principalmente ácido elálgico (Odriozola, 2009), lo que los convierte en alimentos de gran interés para incorporar en nuestra dieta.

Hay estudios que indican que la actividad antioxidante de los frutos se relaciona principalmente con la especie y la variedad, entre otros factores. Por ejemplo, se encontró que el contenido total de antocianina y la actividad antioxidante en frambuesas están influenciados por el grado de maduración de la fruta, la que a su vez se relaciona con el color del fruto (Peña Varela et al., 2006). En general, los frutos rojos tienen aproximadamente de 2 a 11 veces más antioxidantes (polifenoles, flavonoides y antocianinas) que la manzana o el kiwi. La mejora en las variedades de frutas es un desafío actual (Coronado et al., 2015), considerando la importancia de incorporar antioxidantes a la dieta.

Uno de los frutos rojos es la frutilla, que pertenece a la familia de las Rosáceas, género *Fragariae*. El tamaño del fruto está comprendido entre los 2 y 4 cm de diámetro, pueden ser de color rojo a blanquecino, con pulpa de color rojizo a blanco y es hueca o compacta. Su maduración en climas templados se da en aproximadamente 30 días a partir de la floración (Caminiti, 2008).

En Argentina, el bajo consumo de frutilla no encuentra su justificación en la calidad del alimento en cuestión ni en la oferta disponible. En nuestro país el área cubierta por cultivos de frutilla es de 1.000 hectáreas, con una productividad anual de 30.000 T. Los rendimientos son muy variables por regiones y productores. Coronda, una de las zonas productivas más importantes a nivel nacional,

produce desde septiembre hasta diciembre, siendo una fruta de alto valor económico y con grandes posibilidades de industrialización. Sin embargo, pérdidas mayores al 5 % de humedad hacen que la fruta no conserve la supervivencia comercial, provocan un descenso importante de la calidad sensorial y una disminución en la calidad nutricional, al afectar la apariencia y la textura del fruto. Estos cambios suceden después de tres horas de la cosecha, pero son más notorias a partir del tercer día (Becerra et al., 2013).

La falta de conocimiento técnico y la escasa tecnología aplicada al manejo postcosecha son algunos de los principales problemas que afectan a este cultivo, debido a la corta vida útil que presentan los frutos después de cosechados, lo que reduce el periodo de comercialización. Las frutillas pueden procesarse para obtener productos como harina integral, con diversas aplicaciones posibles que van desde la alimentación animal, la fortificación de matrices alimenticias para otorgarles cualidades antioxidantes y colorantes, entre otras. Bustos et al. (2014), estudió la elaboración de pastas con incorporación de harinas de frutos rojos, encontrando una alternativa de aprovechamiento para estos.

El secado es una alternativa para prolongar la utilización de las frutillas, reduciendo las pérdidas poscosecha de biocompuestos (Hasna et al., 2022) y facilitando el transporte, por reducción de costos. A su vez, se puede contar con materia prima disponible todo el año (Radojčin et al., 2021). Hay diversos métodos para llevar a cabo esta operación, tales como el secado convectivo, la acción de microondas, la deshidratación osmótica con o sin ultrasonido y el secado al vacío (Bruijn y Bórquez, 2014). Sin embargo, a nivel industrial el secado convectivo termina siendo la opción de menor costo operativo y de inversión. Otras ventajas son su simplicidad y la posibilidad de controlar adecuadamente la temperatura de secado (Novikova et al., 2021).

Esta es una variable muy importante a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues es esencial elegir la temperatura para definir el proceso adecuado, que permita, además, obtener un producto de la calidad esperada. Para controlar y optimizar el proceso de secado, se hace necesaria la utilización de ecuaciones matemáticas para la simulación de la cinética de transferencia de

materia (agua) ocurrida durante esta operación unitaria, en función de las condiciones de secado utilizadas. Un modelo matemático del proceso puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos, tales como daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o disminución del rendimiento (Olivas et al., 1999). Considerando los antecedentes mencionados acerca de las propiedades nutritivas de las frutillas, su corta vida útil y teniendo en cuenta su producción en Argentina, el objetivo de este trabajo fue secar frutillas, para su posterior utilización como potencial ingrediente alimentario, y modelar la cinética de secado, para distintos tratamientos térmicos.

## 2. Materiales y métodos

El material empleado consistió en frutillas (*Fragaria ananassa* var. San Andrea) cosechadas en agosto de 2021. El material vegetal fue provisto por un productor de frutillas ubicado en Coronda (O60°42'0" - S31°37'59,99", Santa Fe, Argentina). Las frutillas fueron despalladas, lavadas con agua potable y fileteadas en láminas de 2 mm de espesor y tamaño uniforme, cortándolas manualmente en forma paralela al eje principal.

### Experiencias de secado

Las láminas de frutillas se secaron a 60°C, 70°C y 80°C en un secadero con circulación forzada de aire (Tecno Dalvo, Modelo CHC/F/I, Argentina), con un ventilador centrífugo ajustable, resistencias eléctricas, filtro de aire, bandejas de malla de acero inoxidable y controlador de temperatura proporcional. La velocidad de aire se midió con un anemómetro de sonda de molinete, con una precisión de  $\pm 0,03$  m/s, y fue igual a 0,7 m/s.

Los pesos del producto parcialmente deshidratado

se obtuvieron por pesada discontinua, con una balanza digital de precisión  $\pm 0,01$  gramo y se midieron por triplicado. Los resultados se expresaron como Humedad [g de agua /100 g de material b.h.] y se representaron en función del tiempo de secado. El tratamiento térmico se aplicó hasta alcanzar la humedad de equilibrio, la cual se consideró igual a cero para este trabajo (McMinn et al., 2005; Rayaguru y Routray, 2012).

$$\% \text{ Humedad } [H] = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100 \quad (1)$$

Dónde:  $P_h$  es el peso húmedo de la muestra y  $P_s$ , el peso seco de la muestra. Los resultados se informaron como promedio de ensayos triplicados con su desviación estándar.

### Modelado matemático de las curvas de secado

En base a los pesos obtenidos experimentalmente, se calculó el contenido de humedad para cada tiempo, y luego estos valores se convirtieron a relación de humedades, según la ecuación (2).

$$RH = \frac{H - H_e}{H_o - H_e} \quad (2)$$

Donde:  $H$ ,  $H_o$  y  $H_e$  son el contenido de humedad en base húmeda en un tiempo dado, inicial y de equilibrio (en g agua/ 100g frutilla fresca), respectivamente.

Las relaciones de humedades se ajustaron a distintos modelos de secado, con el objetivo de seleccionar aquel que mejor describiera las curvas de secado. Los modelos de secado propuestos se muestran en la Tabla 1, donde A y B son constantes del modelo y t representa el tiempo, expresado en minutos.

**Tabla 1.** Ecuaciones aplicadas para modelar las curvas de secado

Modelo	Ecuación matemática RH	Referencia
Exponencial	$A e^{-Bt}$	Henderson y Pabis, 2004
Logarítmico	$A + B \ln(t)$	Sarimeseli, 2011
Ley de potencia	$A t^B$	Akpinar y Bicer, 2006
Midilli	$A \cdot e^{-Bt^C} + Bt$	Midilli et al., 2007
Polinómico	$1 + At + Bt^2$	Wang y Singh, 1978

Los modelos matemáticos se aplicaron a los datos experimentales a través de regresiones no lineales, utilizando el programa Polymath 6.1. Para todos los modelos propuestos se evaluó la bondad de ajuste

de los datos experimentales, mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE). Cuanto mayores sean los valores de  $R^2$  y más bajos los valores del

RMSE, mejor es la bondad del ajuste (Akpınar y Bicer, 2006).

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RH_{\text{exp},i} - RH_{\text{pre},i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Donde:  $RH_{\text{pre},i}$  es la relación de humedad predicha,  $RH_{\text{exp},i}$  es la relación de humedad experimental,  $N$  es el número de datos experimentales y  $z$  es el número de parámetros del modelo.

#### Coeficiente de difusividad efectiva $D_{ef}$

El proceso de secado de productos alimenticios en general ocurre en estado no estacionario (Wang y Brennan, 1991). Crank (1975) propuso la ecuación (4), utilizando la segunda ley de Fick, para modelar la difusividad efectiva de la humedad de una lámina infinita, teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

- ✓ La humedad está inicialmente uniformemente distribuida en toda la masa de la muestra.
- ✓ La transferencia de masa es simétrica respecto al centro.
- ✓ El contenido de humedad de la superficie de la muestra alcanza instantáneamente el equilibrio con las condiciones del aire ambiente.
- ✓ La resistencia a la transferencia de masa en la superficie es insignificante en comparación con la resistencia en el interior de la muestra.
- ✓ La transferencia de masa se debe solamente a la difusión.
- ✓ El coeficiente de difusión es constante y la contracción es insignificante.

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

Donde  $n=1, 2, 3, \dots, \infty$ , es el número de términos que se consideran,  $t$  es el tiempo de secado en segundos,  $D_{ef}$  es el coeficiente de difusividad efectiva en  $m^2/s$  y  $L$  es el espesor de la muestra en metros. Para tiempos de secado largos solamente

se utiliza el primer término de la ecuación (4), obteniéndose la ecuación (5).

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (5)$$

El coeficiente de difusividad efectiva se puede calcular a partir de la representación gráfica de  $\ln(RH)$  en función del tiempo, para cada uno de los tratamientos.

$$\ln(RH) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) \left[ -\frac{\pi^2 D_{ef}}{4L^2} t \right] \quad (6)$$

$$\text{Pendiente } m = \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L^2} \quad (7)$$

El coeficiente de difusividad efectiva ( $D_{ef}$ ) engloba todos los fenómenos que pueden intervenir en la pérdida de agua. La difusividad varía según cambien las condiciones de secado (temperatura y velocidad del aire), por lo que no es una propiedad intrínseca del material.

### 3. Resultados y Discusión

El efecto de la temperatura del aire de secado influye en la  $RH$  durante todo el proceso, como se observa en la Figura 1, donde se informan los valores experimentales de humedad y las relaciones de humedad en función del tiempo, en las etapas del estado no estacionario del proceso. El incremento en la temperatura del aire de secado disminuye el tiempo total e incrementa la velocidad del proceso. Como se observa, los tiempos de secado fueron de 490 min, 440 min y 360 min para los secados a 60°, 70° y 80 °C, respectivamente.

En la Figura 2, se observaron tres etapas bien diferenciadas de velocidad de secado: creciente, constante y decreciente. La etapa de secado correspondiente a la caída de la velocidad fue reportada por Silva et al. (2005) en el secado de hojas de cilantro y por Krokida et al. (2005) durante el secado de zapallo, zanahorias y papas. Dichos autores demostraron que la difusión es el principal mecanismo de migración de la humedad durante el período de velocidad de secado decreciente

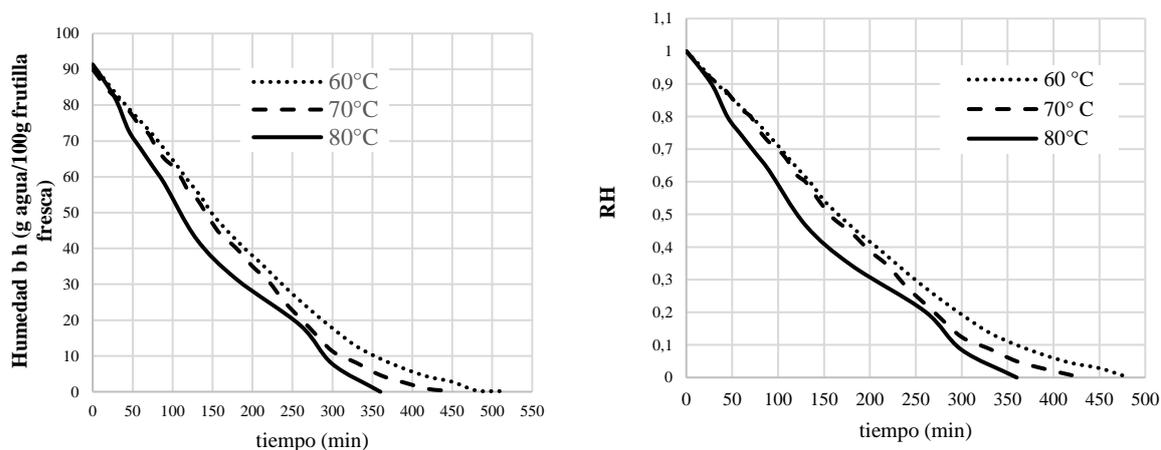


Figura 1. Efecto de la temperatura durante el proceso de secado de frutillas.

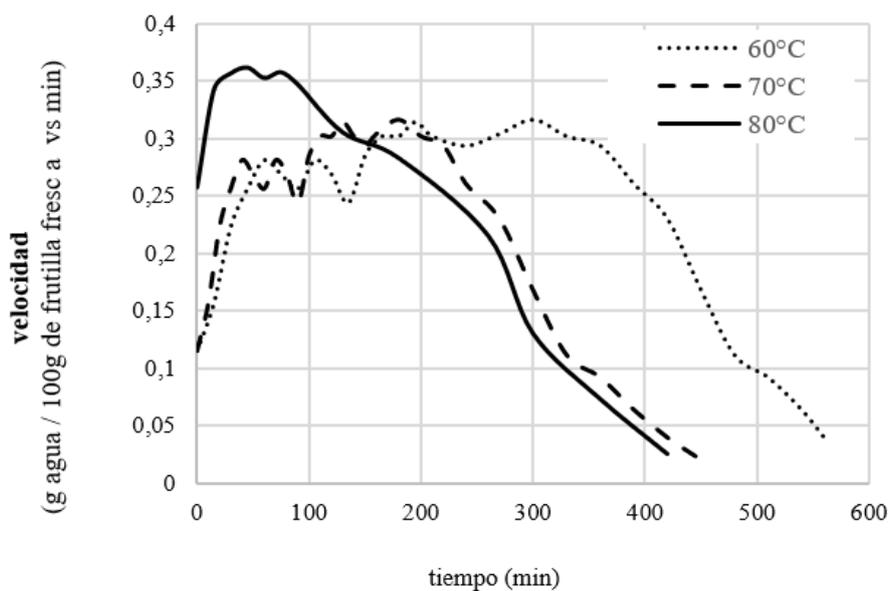


Figura 2. Efecto de la temperatura en la velocidad de secado de frutillas.

*Modelado de las curvas de secado*

A partir de los datos experimentales del contenido de humedad, se calculó la relación de humedades [Ec. (2)] y luego los coeficientes de cada uno de los cinco modelos indicados en la Tabla 1. Los resultados se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Coeficientes para los modelos de ajuste ensayados.

Modelo	Temperatura	Parámetros		
		A	B	C
Exponencial generalizado o Henderson y Pabis	60°C	1,0927	-5,100E-3	-
	70 °C	1,0946	-5,400E-3	-
	80°C	1,0577	-6,400E-3	-
Logarítmico	60°C	1,4541	-201,9E-3	-
	70°C	1,4759	-202,6E-3	-
	80 °C	1,3080	-177,8E-3	-
Ley de potencia	60°C	4,2104	-452,4E-3	-
	70°C	3,0397	-376,0E-3	-
	80 °C	3,8460	-452,8E-3	-
Midilli	60°C	0,9369	7,460E-5	1,7710
	70°C	0,9396	6,922E-5	1,8080
	80°C	0,9354	18,64E-5	1,6971
Polinómico o de Wang y Singh	60°C	-0,0035	2,780E-6	-
	70°C	-0,0035	2,496E-6	-
	80°C	-0,0045	4,902E-6	-

La comparación de los modelos empleados sobre la base del coeficiente de regresión ( $R^2$ ) y de la raíz

cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros estadísticos  $R^2$  y RMSE para los modelos ensayados.

Modelos	Temperatura de secado					
	60 °C		70 °C		80°C	
	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE
Exponencial generalizado	0,9712	0,0110	0,9622	0,0116	0,9819	0,0127
Logarítmico	0,7146	0,0347	0,6972	0,0329	0,7168	0,0503
Ley de potencia	0,3394	0,0528	0,3190	0,0494	0,0394	0,0926
Midilli	0,9944	0,0049	0,9941	0,0046	0,9824	0,0125
Polinómico	0,9971	0,0035	0,9953	0,0041	0,9972	0,0050

Observando los parámetros de la Tabla 3, el modelo que mejor ajusta al secado de frutillas a las tres temperaturas propuestas es el Polinómico, seguido por el modelo de Midilli. El modelo Exponencial generalizado muestra un adecuado desempeño. En estos tres casos, los valores de  $R^2$  fueron mayores a 0,90, valor considerado como adecuado para aceptar el ajuste (Doymaz, 2008). Los modelos Logarítmico y de Ley de potencia mostraron el menor desempeño, a diferencia de lo encontrado por Doymaz (2008), quien obtuvo que el modelo Logarítmico fue el que mostró el mejor ajuste, cuando se secaron frutillas

por secado convectivo, a temperaturas de 50° y 55 °C y con un pretratamiento por inmersión en solución alcalina de oleato de etilo al 2% (2 % Oleato de Etilo + 5 %  $K_2CO_3$ ). En este trabajo, además del modelo Logarítmico, se ensayaron los modelos de Lewis y Page.

En la Figura 3 se muestra la comparación de las curvas de secado obtenidas representando los datos experimentales y los obtenidos por aplicación del modelo polinómico, reforzando la bondad del ajuste ya indicada por los valores de  $R^2$  y RMSE.

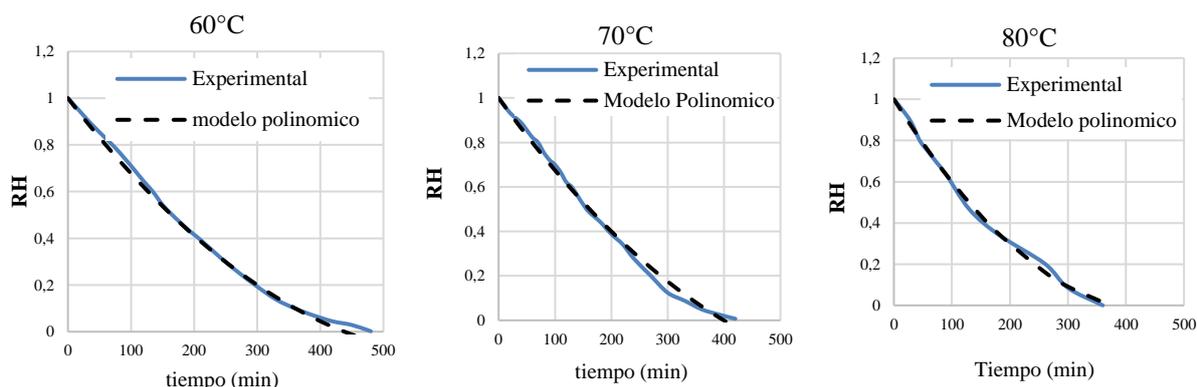


Figura 3. Comparación de las curvas de secado con el modelo polinómico y con los datos experimentales.

*Coefficiente de Difusividad efectiva*

En la Figura 4 se muestra la representación gráfica del  $\ln(RH)$  en función del tiempo, para cada uno de

los tratamientos ensayados y la Tabla 4 muestra los valores del  $D_{ef}$  obtenidos.

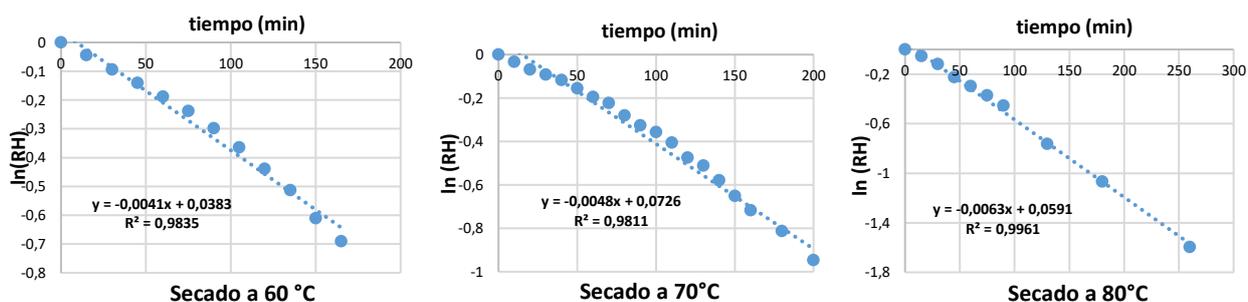


Figura 4. Representación gráfica de  $\ln(RH)$  en función del tiempo, para cada uno de los tratamientos.

Se observa que el coeficiente de difusividad efectiva del agua aumentó con el incremento de la temperatura del aire de secado. Como se esperaba, el uso de temperaturas del aire de secado más altas, promovió una mayor movilidad del agua en los sistemas alimentarios, desde el interior hasta la superficie y aumentó la difusividad efectiva de la transferencia de masa. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del intervalo hallado para los alimentos ( $10^{-10}$  y  $10^{-8}$   $m^2/s$ ) (Zogzas et al., 1996) y

son del mismo orden de magnitud que los reportados por otros autores para el secado en estufa de frutas y vegetales (Doymaz, 2004; Vega Galvez et al., 2009; Masciarelli et al., 2007). Vega et al. (2005), por ejemplo, para el secado de pimientos rojos a 60 °C reportaron valores del coeficiente de difusión de  $6,9 \times 10^{-9}$   $m^2/s$ . Doymaz (2007) encontró valores entre  $4,95 \times 10^{-10}$  y  $1,42 \times 10^{-9}$   $m^2/s$ , en sus trabajos acerca del secado convectivo de frutillas, a temperaturas del aire de secado entre 50° y 65 °C.

Tabla 4. Coeficiente de Difusividad efectiva  $D_{ef}$  a 60 °, 70 ° y 80 °C.

60 °C	70 °C	80 °C
$1,11 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$	$1,30 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$	$1,70 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$
$R^2 = 0,9835$	$R^2 = 0,9811$	$R^2 = 0,9961$

#### 4. Conclusiones

Al comparar las cinéticas de secado de frutillas en láminas, se puede concluir que esta fue influenciada fuertemente por la temperatura del aire de secado; temperaturas menores llevaron a tiempos prolongados de secado para obtener frutilla con bajos valores de humedad.

Entre los modelos ensayados, el modelo polinómico mostró una mejor calidad de ajuste de los datos experimentales a las tres temperaturas trabajadas.

El coeficiente de difusividad efectivo obtenido se encontró dentro de los valores esperados. Será conveniente evaluar la influencia de pretratamientos de la fruta con diversas soluciones, que podrían permitir acelerar el proceso de secado.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto UTI5530TC, financiado por la Universidad Tecnológica Nacional.

#### 6. Referencias

Akpinar, E.K., Bicer, Y. (2006). Mathematical modelling and experimental study on thin layer drying of strawberry, *Inter. J. Food Eng.* 2 (1).

Becerra C, Robledo P, Defilippi B. (2013). Cosecha y poscosecha de frutilla [en línea]. Chillan: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias 262. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7626> (Consultado: 2 marzo 2023).

Bruijn, J., Bórquez, R. (2014). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International* 63 (2014) 42–48. doi/10.1016/j.foodres.2014.03.029

Bustos M. C.; Perez G. T.; Leon A. E. (2014). Elaboración de pastas con incorporación de frutos rojos. Conicet, Argentina.

Caminiti A. (2008). Cultivo de frutillas en la provincia del Neuquén. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. ISSN: 1667-4014. Disponible: [http://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2815/INTA\\_CRPatagoniaNorte\\_EEABariloche\\_Caminiti\\_A\\_Cultivo\\_Frutillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2815/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Caminiti_A_Cultivo_Frutillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Coronado, M., Vegay León, S., Rey Gutiérrez, T., Vázquez, M.F., Radilla, C.V. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2): 206-212.

Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford, USA.

Doymaz, I. (2004). Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on

the drying kinetics of apricots, *Biosys. Eng.* 89, 281–287.

Doymaz, I. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 914–919. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.02.003>

Hasna, S. S., Nugrahini, A. D. y Falah, M. A. F. (2022). Consumer acceptance of quality characterization of dehydrated strawberry product. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 980, 012035. doi:10.1088/1755-1315/980/1/012035

Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB, Marinou/Kouris D. (2005). Drying kinetics of some vegetables, *Journal of Food Engineering*, 54 4: 391-403.

Henderson, S.M.; Pabis, S. Grain drying theory. II. (1961). Temperature effects on drying coefficients. *J. Agric. Eng. Res.*, 6, 169–174.

McMinn, W.A.M., McLoughlin, C.M., Magee, T.R.A. (2005). Thin-layer modeling of microwave, microwave-convective, and microwave-vacuum drying of pharmaceutical powders, *Dry. Technol.* 23, 513–532.

Masciarelli R.; Lucero H.; Silvester S.; Tosi E. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante de harina de frambuesas obtenida luego del secado de los frutos a diferentes temperaturas y análisis estadístico del EC50. Disponible en: [http://www.publitech.com.ar/contenido/objetos/Evaluaciondelacapacidad\\_antioxidante.pdf](http://www.publitech.com.ar/contenido/objetos/Evaluaciondelacapacidad_antioxidante.pdf)

Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. (2007). A new model for single-layer drying. *Dry. Technol.*, 20, 1503–1513.

Novikova IK, Blinnikova OM, Eliseeva LG, Blinnikova DA. (2021). Influence of drying methods on preservation of biologically active substances of garden strawberries being raw material for food enrichment *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 845 012094. doi:10.1088/1755-1315/845/1/012094

Odrizola I. (2009). Obtención de zumos y frutos cortados con alto potencial antioxidante mediante tratamientos no térmicos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.

Olivas R, Molina FJ, Pérez A, Ortega E. (1999). Development of mathematical model for drying of jalapeño peppers in batch process, *Conference in Annual Meeting of AIChE*, New York, U.S.A.

Ondarza Beneitez M. A.; Ciapara Higuera I. (2016). Importancia biotecnológica de las frutillas de berries en la salud humana. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Mauricio\\_Ondarza/publication/293825805\\_Importancia\\_biotecnologica\\_de\\_Frutillas\\_de\\_Berries\\_en\\_la\\_Salud\\_Humana\\_Biotechnological\\_importance\\_of\\_Berry\\_fruits\\_on\\_Human\\_Health/links/56bc8c0308ae08d7a6bbf407.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Ondarza/publication/293825805_Importancia_biotecnologica_de_Frutillas_de_Berries_en_la_Salud_Humana_Biotechnological_importance_of_Berry_fruits_on_Human_Health/links/56bc8c0308ae08d7a6bbf407.pdf) (10/06/2018)

Peña-Varela G.; Salinas-Moreno Y.; Ríos-Sánchez R. (2006). Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2).

Radojčín, M., Pavkov, I., Bursač Kovačević, D., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., ... Gere, A. (2021). Effect

- of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: A review. *Processes*, 9(1), 132. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Rayaguru, K., Routray, W. (2012). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of stone apple slices. *Int. Food Res. J.*, 19, 1503–1510.
- Silva AS, Almeida F de AC, Lima EE, Silva FLH, Gomes JP. (2005). Dry kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and item. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6(1): 13-19.
- Sarimeseli, A. (2011). Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energy Convers. Manage*, 52, 1449–1453
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Tello-Ireland, C., Miranda, M., Yagnam, F. (2009). Kinetic study of convective drying of blueberry variety O'Neil (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(2), 171–178. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000200006>.
- Wang, N., Brennan, J.G. (1991). A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. *Journal of Food Engineering*, 24(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1607-Y](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1607-Y)
- Wang, C.Y.; Singh, R.P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Trans. ASAE*, 11, 668–672.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., Marinos-kouris, D. (1996). Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs. *Drying Technology* 14 (10), 2225-2253.



## Las potencialidades del aula invertida para el aprendizaje de las Ciencias Naturales: una propuesta tecnodidáctica para estudiantes del 2° año del nivel secundario

Leticia S. Corbellini<sup>1,2\*</sup>, Fabiana Gilardoni<sup>3</sup>

1. Escuela 4-202 “Río Atuel”, Roca 327 (5620), General Alvear, Argentina.
2. Instituto de Educación Superior N° 9-011 “Del Atuel”, Maza 750 (5600), San Rafael, Argentina.
3. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Tucumán 1946 (3300), Posadas, Argentina.

\*E-mail: [letycorbellini@yahoo.com.ar](mailto:letycorbellini@yahoo.com.ar)

### PALABRAS CLAVES

Aula invertida  
Enseñanza y aprendizaje  
TIC  
Ciencias Naturales

### RESUMEN

El Trabajo Integrador Final, titulado "Potencialidades del aula invertida para enseñar Ciencias Naturales a estudiantes de segundo año de secundaria", es parte del programa de Maestría en Enseñanza en Escenarios Digitales. Se desarrolló en la Escuela Secundaria 4-202 “Río Atuel” en General Alvear, Mendoza. Su objetivo fue implementar una estrategia tecnodidáctica para enseñar el sistema nervioso utilizando tecnología de la información y comunicación (TIC). La propuesta buscó aprovechar el aula invertida para mejorar la comprensión y el interés de los estudiantes en Ciencias Naturales. Se emplearon recursos tecnológicos como videos y plataformas en línea para presentar de forma dinámica los conceptos del Sistema Nervioso. Esto permitió a los estudiantes participar activamente en su aprendizaje. La implementación demostró ser efectiva para fomentar el aprendizaje significativo, la participación activa y las habilidades de investigación. Para los docentes, fue una oportunidad para guiar y promover la autonomía en los estudiantes. La integración tecnológica en el aula enriqueció la experiencia de aprendizaje, ayudando a los estudiantes a comprender mejor los procesos y funciones del sistema nervioso.

## The potential of the inverted classroom for learning Natural Sciences: a techno-didactic proposal for 2nd year high school students

### KEYWORDS

Flipped classroom  
Teaching and learning  
IT  
Natural Sciences

### ABSTRACT

The Final Integrative Work, titled "The Potential of the inverted classroom for learning Natural Sciences to 2nd year high school students", is part of the Master's program of Teaching in Digital Scenarios. It was developed at 4-202 Río Atuel High School in General Alvear, Mendoza. Its objective was to implement a techno-didactic strategy to teach the nervous system using information and communication technology (ICT). The proposal sought to take advantage of the flipped classroom to improve students understanding and interest in Natural Sciences. Technological resources such as videos and online platforms were used to dynamically present the concepts of the Nervous System. This allowed students to actively participate in their learning. The implementation proved to be effective in fostering meaningful learning, active participation, and research skills. For teachers, it was an opportunity to guide and promote autonomy in students. Technology integration in the classroom enriched the learning experience, helping students in the better understanding of the processes and functions of the nervous system.

## 1. Introducción

El mundo en general y la escuela en particular, durante el ciclo lectivo 2020 tuvo que atravesar momentos difíciles, impensado por todos, pero verdaderos y concretos en todas las latitudes debido a la presencia de una nueva enfermedad causada por un virus, denominado coronavirus, que obligó a las autoridades de salud a declarar una pandemia mundial (COVID-19).

Ante esta situación inesperada, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) irrumpen la vida de las personas en todos los sentidos y se convierten en una alternativa para seguir conectados con los demás. La educación no quedó exenta a este aislamiento social y preventivo (ASPO) y necesitó del andamiaje de las tecnologías para continuar desarrollando los procesos conexos a las funciones sustantivas de la Escuela. Esto brindó para muchos docentes y estudiantes una oportunidad de cambio, una reflexión que permitió y permite repensar y dar un nuevo sentido al acto de enseñar y aprender, que nos interpela y nos anhela un futuro mejor.

En este escenario, el rol docente y el de los estudiantes adoptaron nuevas configuraciones para acompañar la evolución constante de las tecnologías digitales e Internet. Por ello, teniendo en cuenta lo expresado, es necesario renovar los métodos de enseñanza y aprendizaje experimentando enfoques pedagógicos innovadores.

En este sentido, este trabajo tuvo como propósito implementar una propuesta tecnodidáctica enfocada en la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Naturales, específicamente sobre el Sistema Nervioso, mediante el uso de las TIC con estudiantes de segundo año del secundario. Cuyo propósito fue aprovechar las potencialidades del aula invertida para brindar mejor acceso a los materiales, mejorar la comprensión, desarrollar habilidades del pensamiento crítico y aumentar el interés y compromiso de los estudiantes en este campo de conocimiento. Para ello, se utilizaron diferentes recursos tecnológicos como videos, imágenes y plataformas educativas en línea, para lograr una presentación dinámica y visualmente atractiva de los conceptos relacionados con el Sistema Nervioso.

Es importante resaltar se trabajó en base a tres ejes, construcción del conocimiento en la era digital; aula

invertida como estrategia de aprendizaje en las Ciencias Naturales y estrategias de enseñanza para el aprendizaje de las Ciencias Naturales.

Comenzando por el primer eje se toman las palabras de Irigoyen y Morales (2013) los cuales reflexionan sobre la obra de Siemens y postulan que el aprendizaje es un proceso complejo que se da en el interior de ambientes difusos con elementos vertebradores y cambiantes, por ello el aprendizaje debe ser aplicado a una situación concreta y además se adquiere en cualquier sitio, es decir fuera del individuo. Puede estar presente en artefactos no humanos, por ejemplo, en la red.

En el caso del aula invertida es definido en primer momento por Bergmann y Sams en 2014, dos profesores de química de la escuela preparatoria Woodland Park High Schoolde, para ayudar a los estudiantes que tenían dificultades. Dicho método consiste en un enfoque pedagógico distinto, donde las instrucciones se realizan fuera del aula analizando material audiovisual y el tiempo presencial se utiliza para esclarecer dudas frente al profesor, permitiendo un aprendizaje personalizado y a su vez colaborativo.

Teniendo en cuenta a Anijovich y Mora (2009) ellas, entienden por estrategias de enseñanza todo lo que se va a tener en cuenta para planificar la clase, pensando en quienes son esos sujetos que aprenden, que se quiere enseñar y para qué. Es a partir de aquí que, el docente comienza a realizar una selección de los contenidos, las herramientas necesarias para lograr esos saberes, las destrezas que se pondrán en juego a partir del planteo de cada actividad y la comprensión de los mismos teniendo en cuenta los entornos sociales, históricos, científicos, artísticos, culturales, entre otros. Es por ello que la propuesta educativa propone el aprendizaje significativo y al auto aprendizaje compartido.

## 2. Materiales y métodos

El propósito de esta investigación fue acercarse de modo comprensivo a las vivencias de los estudiantes sobre el aula invertida para el aprendizaje de las Ciencias Naturales, por lo cual se trató de un estudio de enfoque cualitativo cuyo propósito fue comprender el fenómeno desde la perspectiva de los participantes en su ambiente y en relación con el

contexto. El alcance fue descriptivo porque se proyectó especificar propiedades y/o características de este fenómeno (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Como diseño se eligió el estudio de caso. La muestra fue por conveniencia y las unidades de análisis fueron 4 estudiantes.

Como técnica de investigación se utilizó la entrevista y observación.

Como técnica de análisis de datos se utilizó el software Atlas ti.

### 3. Resultados y Discusión

La propuesta se llevó a cabo en el segundo trimestre del año 2022 en un curso de segundo año del secundario en la cátedra Ciencias Naturales para desarrollar el contenido del Sistema Nervioso. Por lo tanto, la propuesta está pensada para realizarse de manera presencial, bajo la modalidad de aula invertida, donde el enfoque pedagógico acuñado por Bergmann y Sams (2014), quienes idearon una solución para evitar que los estudiantes perdieran clases, por ejemplo, por enfermedad, ellos grababan los contenidos a impartir en sus clases y los distribuían entre sus alumnos para que los visualizaran en casa antes de la clase presencial, como se puede apreciar en la figura 1.



**Figura 1.** Captura de pantalla de los recursos del aula virtual para el trabajo asincrónico.

En este sentido, el trabajo en el aula consistió en realizar proyectos para poner en práctica los conocimientos adquiridos y resolver dudas, invirtiendo las actividades con respecto al modelo tradicional, donde generalmente en clases se imparte el conocimiento, el estudiante aprende y en casa asimila el concepto. Con este enfoque los estudiantes en casa adquieren los conocimientos y en clase con ayuda del docente comparten y

consolidan la información, de esta manera se generan aprendizajes significativos.

A partir de aquí, se trabajó con la plataforma classroom, donde los estudiantes accedieron a la propuesta de actividades planteadas en formato Genially, la cual se colocó en la pizarra y se explicitaron los tiempos y la forma de realizar las asignaciones, que fueron en gran medida colaborativas y diversas. A su vez, en dicha pizarra se observó un enlace hacia el cronograma de actividades y donde se explicitaron los criterios de evaluación a fin de que quedaran debidamente especificados los tiempos y actividades de trabajo que se necesitaban antes de acudir a clases, en el aula y aquellas que serán realizadas en casa, como así también los aspectos a evaluar.

Para ello, se realizó una selección de prácticas que resulten originales y novedosas para los estudiantes, intentando presentarles herramientas innovadoras que les permitan trabajar de manera colaborativa. Es así que, se plantearon actividades en grupos reducidos de tres o cuatro integrantes elegidos intencionalmente, ya que se buscó una integración social del grupo mediante la interacción de estudiantes con diferentes realidades socioeconómicas y culturales, esto tuvo por finalidad realizar un estudio a futuro en el campo de las ciencias sociales sobre las diferentes realidades de la comunidad educativa escolar y la necesidad del trabajo colaborativo para posibilitar la igualdad de posibilidades.

En este orden de ideas, se ha pensado presentar actividades optativas que les permitirá a los estudiantes profundizar algunos conceptos o comprobar su correcta comprensión o apropiación del material mediante actividades lúdicas elaboradas por el docente y buscadas en la web.

Dentro de este marco, se trabajó con el principio de ajuste de ayuda sostenida (Ornubia, 2005) durante todo el proceso, el cual fue continuo y dinámico, propiciando la interacción estudiante-profesor-estudiante, para aportar significado a la información.

Debe señalarse que, los estudiantes conocieron desde la presentación de la propuesta, las formas de evaluación, una de ellas fue procesual y forma parte de la planificación. Pudiendo observar en el aula los criterios de calificación y comprender cómo se formará su calificación, tal como lo propone Krichesky (2016).

Es por ello que, la propuesta de aprendizaje transmedia fue colocada en la plataforma Google classroom, a la cual tiene acceso todos los estudiantes de la institución y cada materia y curso posee un aula virtual.

En este caso, la plataforma sirvió como medio de comunicación y aprendizaje entre los docentes y los estudiantes, donde encontraron los diferentes materiales que se fueron habilitando a medida que se avanzó con el contenido a trabajar, dicha organización se observa en la figura 2.



El Sistema Nervioso	
Objetivos	Publicado: 28 oct 2021
Cronograma	Publicado: 28 oct 2021
Evaluación	Publicado: 28 oct 2021
Material de estudio	Última modificación: 14 sept ...
Actividad 1	Última modificación: 28 oct ...
Actividad 2	Publicado: 28 oct 2021
Actividad 3: Integrando saberes	Fecha de entrega: 9 nov 202...
Para finalizar	Última modificación: 17 nov ...

Figura 2. Captura de pantalla de la organización de temas del aula virtual en classroom.

Una vez que se finalizó la propuesta de enseñanza se realizó un encuentro con los demás docentes de Ciencias Naturales para invitarlos a elaborar algunas actividades con el uso de herramientas digitales.

Por tanto, es importante rescatar que el conocimiento como lo expresa Maggio (2012) es una construcción provisoria que se produce en un marco epistemológico que también lo es. En el posicionamiento que se tome del conocimiento es donde se construye, se valida, se interpela y se vuelve a construir. Cuando se enseña sin tener en cuenta esto, haciendo de cuenta que el mundo es plano, se está negando la posibilidad de ofrecer el pensamiento disciplinar que es aquello que otorga las herramientas que permiten seguir construyendo conocimiento y, por ende, posiblemente las únicas que valga la pena enseñar.

De esta manera, al utilizar las tecnologías en los entornos de aprendizaje permite poner en práctica la enseñanza poderosa descrita por Maggio (2012) que da cuenta de un abordaje teórico actual, permitiendo pensar la disciplina desde su construcción conceptual, metodológica y hasta

epistemológica, ofreciendo una estructura que es original, conmueve y perdura en el tiempo. Lo cual se puede ver reflejado en la figura 3, que corresponde a la primera actividad realizada por los estudiantes.

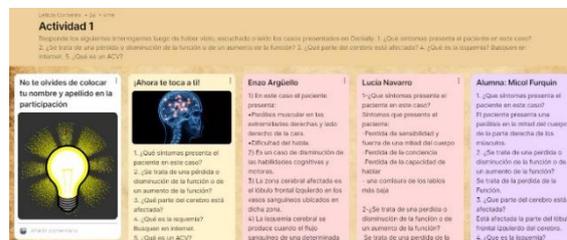


Figura 3. Captura de pantalla de la actividad N°1 en Padlet.

Luego de implementar las primeras actividades planificadas, un grupo de estudiantes fue consultado sobre algunos puntos clave, como lo son el uso de la tecnología en la realización de las actividades, la metodología implementada de aula invertida y los conocimientos adquiridos.

En cuanto a la modalidad de aula invertida, los estudiantes destacan fundamentalmente la visualización de videos y lectura del material antes de llegar a la clase de manera que ayuda a fortalecer saberes antes vistos, ayudando a concentrarse y organizar de mejor manera la tarea a realizar, como lo rescatan los estudiantes 1 y 2.

“Los videos me aportaron un gran conjunto de información que no conocía o no recordaba e incluso el interés de continuar visualizando videos o lectura de información para ampliar el conocimiento.” (estudiante 1)

“El aporte que me brindó la visualización de videos y actividades previas a la clase es poder realizar resúmenes, tener las actividades ordenadas y con un previo repaso” (Estudiante 2).

Si se tiene en cuenta, el modelo de aula invertida propuesto por Bergmann y Sams, (2014), el factor motivación juega aquí un papel importante ya que como los estudiantes saben de antemano que van a trabajar en la clase ya están preparados para aprender de verdad, no solo para completar las tareas de forma automática, concuerdan con las reflexiones del estudiante 2.

“Trabajar el material antes de clase me ayudó a concentrarme y organizar mejor la tarea” (estudiante 2)

Por tal motivo, los estudiantes son los responsables de aprovechar al máximo al docente, como experto, que se encuentra en el aula para actuar como guía de su proceso de aprendizaje, de esta manera el rol del profesor en la clase es ayudar a los estudiantes y no únicamente proporcionarles información. Como así también el rol del estudiante es sentirse partícipe de su formación académica.

De esta manera, al analizar las conclusiones del estudiante 1, hace que las ideas de González y Encizo (2016) tomen sentido cuando ellos postulan que es necesario en la actualidad el desarrollo de propuestas didácticas estén en concordancia con el desarrollo social y tecnológico en el mundo globalizado, de manera que se diseñen actividades privilegiando un aprendizaje personalizado, que atienda las individualidades de cada estudiante y que a su vez fomente la formación de competencias que pueda desempeñarse exitosamente en el mundo laboral, es decir que se acorte la diferencia entre el mundo real y el mundo escolar.

“No utilicé ninguna estrategia específica en especial porque no me suele ser necesario el uso de estas porque siempre abarco conocimientos previos y relación rápida de los conceptos”. (estudiante 1)

Analizando las respuestas de los estudiantes en cuanto a la modalidad de aula invertida se puede resaltar que la misma cumplió con uno de los objetivos propuestos que fue “Propiciar un ambiente digital de aprendizaje cuya estructura posibilite la navegación intuitiva” y con ello el despliegue de habilidades tecnológicas para la elaboración de actividades auténticas. Como lo resaltan los estudiantes 1, 2 y 3.

“Me significó una tarea simplificada y eficaz por el hecho de facilitarme el material para la resolución y el modo dinámico de éste”. (estudiante 1)

“Trabajar el material antes de clase me ayudó a concentrarme y organizar la tarea mejor” (Estudiante 2)

“Me ayudó a reforzar saberes antes vistos” (Estudiante 3)

En cuanto al aprendizaje de las Ciencias Naturales, los estudiantes responden que el trabajar con análisis de casos, permitió aplicar sus conocimientos a partir de hechos que ocurren en la vida real, llegando a entender cómo es que una lesión en el lado derecho del cerebro puede afectar el lado izquierdo de nuestro cuerpo, también como sucede el arco reflejo, entre otros saberes desarrollados, como lo resaltan los estudiantes 2 y 3.

“En los análisis de casos aprendí sobre un ACV, como se da y también sobre los nervios, pérdida de movilidad y sensibilidad” (Estudiante 2).

“Cómo nos afecta la fractura de la médula y según a que altura de la misma que los nervios se conectan (no directamente al cerebro)” (Estudiante 3).

En concordancia con los relatos de los estudiantes Díaz Barriga Arceo (2006), establece que la enseñanza situada es una corriente pedagógica que se centra en el aprendizaje contextualizado y situado en un contexto real y significativo, la idea es que los estudiantes aprendan mejor cuando el conocimiento se presenta en un contexto relevante y aplicable a la vida real, analizando cómo es que una lesión en el lado derecho del cerebro puede afectar el lado izquierdo de nuestro cuerpo. Es aquí que el conocimiento se construye a través de la experiencia y la interacción con el entorno. En este enfoque pedagógico, el estudiante se convierte en el centro del proceso de aprendizaje, y el papel del docente es el de facilitador del aprendizaje, más que el de transmisor de conocimiento, lo cual queda expresado por los dichos de los estudiantes 1, 2 y 3.

“Se podría decir en la detección y deducción de dichos casos para actuar y consentir lo que somos por dentro.” (estudiante 1)

“En mi vida cotidiana puedo informar la causa de ACV, ya que es algo que se podría evitar” (Estudiante 2).

“La parte del ejemplo de la persona que tuvo un accidente y quedó inválida, porque me impresiona las consecuencias de la fractura de la médula. (parálisis, etc.)” (Estudiante 3).

En concordancia con lo antes mencionado Irigoyen y Morales (2013) reflexionan sobre la obra de Siemens y postulan que el aprendizaje es un proceso

complejo que se da en el interior de ambientes difusos con elementos vertebradores y cambiantes, por ello el aprendizaje debe ser aplicado a una situación concreta y además se adquiere en cualquier sitio, es decir fuera del individuo. Puede estar presente en artefactos no humanos, por ejemplo, en la red.

Es así que los individuos al adquirir la nueva información dejan obsoleta la anterior. En este punto lo importante es desarrollar habilidades para discernir entre la información importante y la trivial, como también formar capacidades para reconocer cuándo esta nueva información altera las decisiones tomadas con base en información pasada. Como se observa en la respuesta de los estudiantes 1, 2 y 3.

“No conocía nombres específicos junto con sus funciones internas.” (estudiante 1)

“No sabía que un ACV se podía dar en todas las edades” (estudiante 2)

“Cómo nos afecta la fractura de la médula y según a que altura de la misma que los nervios se conectan (no directamente al cerebro)” (Estudiante 3).

Tomando en cuenta las palabras de los estudiantes en general, cuando se las consulta por la utilización de las herramientas digitales, al comienzo les resultó un poco incómodo y desconocido el uso del genially como así también la participación en padlet, sin embargo, fue un instante hasta que supieron cómo hacerlo. Como así también, rescatan el uso positivo y simple de la plataforma classroom, como lo resaltan los estudiantes 1 y 2.

“Trabajar con classroom se me resulta fácil ya que tengo mucha experiencia con la plataforma.” (estudiante 1)

“Estuvo bien ya que aprendí a usar mejor el classroom.” (estudiante 2)

Teniendo en cuenta que el conductismo, el cognitivismo y el constructivismo son las tres teorías de aprendizaje utilizadas a menudo en las instituciones educativas. Estas teorías, fueron desarrolladas en una época donde el aprendizaje no estaba atravesado por el impacto de las tecnologías. Si se toma en cuenta el desarrollo que ha tenido la tecnología en los últimos tiempos, ha hecho que se

deba reorganizar la forma en la que se vive, se establecen las comunicaciones y se aprende. Es aquí que el conectivismo da respuesta a los ambientes sociales subyacentes (Siemens 2004). Como lo refieren los estudiantes 1,2 y 3.

“Fue una buena experiencia por las facilidades de la tecnología.” (estudiante 1)

“Me gustaron resolver las dos actividades ya que tenían videos y explicaciones claras” (estudiante 2).

“No me gusta trabajar classroom, a la hora de subir los trabajos a la plataforma porque es mejor que el profesor corrija en clases y en papel, pero sí ver los videos ya que son más entretenidos” (Estudiante 3)

Sabiendo que, la tecnología por sí sola no guía, la puesta en marcha de este diseño tecnopedagógico, tiende a favorecer la autonomía de los estudiantes para alcanzar los objetivos propuestos, mostrando dónde está la información más valiosa; estableciendo criterios para su selección; facilitando las conexiones entre ideas y conocimientos dispares; eliminando el malestar frente al error, a la crítica y contribuir a que esa información se convierta en saber a través de un construir y facilitar la creación de vínculos, promoviendo encuentros desde la palabra y la retroalimentación. Como se aprecia en la respuesta del estudiante 1 y 2.

“Simplemente utilicé la información de conocimientos previos, información dada y una simple búsqueda por internet para terminar de chequear con la única utilización del teléfono.” (estudiante 1)

“Sabía usar poco classroom y tuve que ir aprendiendo y observando todo lo de las páginas para entenderlas” (Estudiante 2).

Otra manera de recabar información sobre la implementación de la propuesta tecodidáctica fue mediante herramienta digital Jamboard, donde los estudiantes pudieron plasmarlas la percepción del uso de la tecnología y el modelo de aula invertida, también con una intención de autoevaluación, haciéndolos partícipes de su proceso de aprendizaje, lo cual se puede observar en la figura 4.

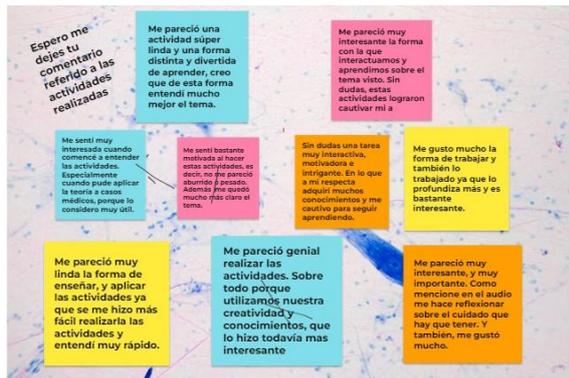


Figura 4. Respuestas de los estudiantes en cuanto a su percepción de la realización de actividades.

Pensando en el proceso de implementación de la propuesta las actividades mediadas por TIC brindan mayor posibilidad de desarrollar habilidades cognitivas, sin embargo, la falta de acceso al recurso tecnológico y a internet dificultan la puesta en marcha de estos diseños, igualmente vale la pena intentarlo, tomando otras medidas como por ejemplo llevar impresas las tareas, los videos descargados de manera de sortear los inconvenientes que se presenten ante la falta de conectividad.

Finalmente, es necesario entender que la evolución social, científica, técnica y económica actual requiere un aprendizaje diferente. La creación del conocimiento y los cambios tecnológicos se suceden a un ritmo vertiginoso, los docentes y estudiantes se ven obligados a renovar sus conocimientos y profundizar en los descubrimientos e innovaciones que le produzcan en su disciplina.

#### 4. Conclusiones

La incorporación del aula invertida a la educación secundaria viene aplicándose de manera progresiva porque ofrece a los docentes y estudiantes otro modo de enseñar y aprender en esta era de la información y comunicación.

Es por ello que, al haber utilizado la modalidad de aula invertida, esto permitió que los estudiantes pudieran acceder a los contenidos y recursos educativos de manera autónoma y previa a las clases presenciales, brindó la oportunidad de explorar y comprender los conceptos de las Ciencias Naturales a su propio ritmo, lo que facilitó la asimilación de los contenidos y la adquisición de conocimientos.

En este sentido, la implementación del diseño tecnodidáctico planteado mediante la modalidad de aula invertida potenció la participación y compromiso de los aprendices, dado que, al invertir el orden tradicional de la enseñanza, donde los estudiantes tienen un primer encuentro con los contenidos sobre un tema en particular, es decir que arman un anclaje de saberes para luego aplicarlo en la clase presencial, ellos llegaban a clase con una base de conocimientos y podían dedicar más tiempo a actividades prácticas, discusiones y resolución de problemas. Esto generó una mayor motivación y compromiso con el aprendizaje para participar en las actividades propuestas.

Las actividades permitieron a los estudiantes explorar, comprender y participar activamente de su proceso de aprendizaje.

Al realizar un análisis sobre la implementación de la propuesta tecnodidáctica se observó que la misma promovió el aprendizaje significativo porque predispuso el desarrollo de habilidades investigativas, el desarrollo de autonomía y transferencias de lo aprendido a situaciones de la vida cotidiana.

Para el docente fue una oportunidad para guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una enseñanza situada y propiciar el desarrollo de una experiencia de aprendizaje enriquecida y estimulante para los estudiantes, lo que les permitió comprender y apreciar de manera más profunda los procesos y funciones del sistema nervioso habilidades reflexivas y metacognitivas sobre el contenido a aprender en los estudiantes de secundaria.

En resumen, los estudiantes mencionaron que los videos y actividades previas les brindaron información adicional y les ayudaron a organizar el contenido. Algunos utilizaron estrategias como resúmenes para facilitar la comprensión. Aprendieron sobre enfermedades como el ACV y cómo afectan al sistema nervioso. Algunos estudiantes ya tenían conocimientos previos sobre el tema, pero las actividades les ayudaron a refrescarlos. En general, disfrutaron de la experiencia de aprendizaje en línea y encontraron útil el uso de la plataforma Classrrom. Lo cual puede verse representado en la figura 5, en esta nube de palabras, se entrelazan términos significativos que

reflejan la diversidad, la creatividad y la esencia misma de la propuesta de enseñanza.



**Figura 5.** Palabras más representativas resaltadas por los estudiantes en cuanto a la propuesta de enseñanza.

Cabe resaltar que, en el análisis y representación gráfica de términos destacados, se vislumbra la preeminencia de ciertas palabras clave, cuyo tamaño amplificado como “conocimiento”, “información”, “aula”, “videos” adquiere una relevancia significativa. Esta prominencia textual subraya la importancia intrínseca de dichos elementos en el contexto contemporáneo de la educación y la innovación pedagógica. Estas palabras, no solo por su tamaño resaltado, sino por su esencia conceptual, evidencian su papel fundamental en la construcción y transmisión del saber, así como en el desarrollo de propuestas educativas vanguardistas. Es mediante el adecuado manejo y aplicación de estas herramientas que se potencia la efectividad y la riqueza de los enfoques innovadores dentro del entorno educativo actual.

## 5. Referencias

- Anijovich, R Mora, S. (2009). ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Otra mirada al que hacer en el aula. Aique.
- Bergmann, J. Sams, A. (2014). Dale la vuelta a tu clase: Lleva tu clase a cada estudiante, en cualquier momento y cualquier lugar. Biblioteca Innovación Educativa.
- Díaz Barriga Arceo, F y Hernández Rojas, G. (2005). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo una interpretación constructivista (2a ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://buo.mx/assets/diaz-barriga%2C---estrategias-docentes-para-un-aprendizaje-significativo.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill Education.

- Irigoyen, C.A., Morales L.H. (2013). La obra de George Siemens: una alternativa para el aprendizaje en la era digital. Archivos en Medicina Familiar, (15), 53-55. <https://www.medigraphic.com/pdfs/medfam/amf-2013/amf134c.pdf>
- Maggio, M. (2012). La enseñanza poderosa. Paidós.
- Krichesky G, Charovsky M, Larrondo M. y Pezzolo A. (2016) Modelos y escalas en la planificación, Ediciones UNGS, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Onrubia, J. (2005). Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción del conocimiento. Revista de Educación a Distancia, número monográfico II. <http://www.um.es/ead/red/M2/>
- Siemens, G. (2004). Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital. <https://skat.ihmc.us/rid=11134XMRS-1ZNYMT4-13CN/George%20Siemens%20-%20Conectivismo-una%20teor%C3%ADa%20de%20aprendizaje%20para%20la%20era%20digital.pdf>



## Enfoques innovadores en la Didáctica de las Ciencias Naturales: aula invertida y enseñanza por indagación en la formación inicial del profesorado

Liliana Tudesco<sup>1\*</sup>

1. Instituto Superior de Formación Docente N° 19, Almafuerte 565 (7600), Mar Del Plata, Argentina.

\*E-mail: [ltudesco@abc.gob.ar](mailto:ltudesco@abc.gob.ar)

### PALABRAS CLAVES

Aula invertida  
Enseñanza por indagación  
Aula taller  
Formación docente inicial

### RESUMEN

Este estudio descriptivo resalta la exitosa implementación de las estrategias de aula invertida y enseñanza por indagación, como enfoques pedagógicos innovadores para fortalecer la Didáctica de las Ciencias Naturales. El propósito es presentar la utilización de las estrategias mencionadas en el marco del aula taller para fortalecer los procesos de enseñanza y de aprendizaje en la formación inicial docente. Se aborda el desafío de fomentar la comprensión, interés y desarrollo de destrezas para realizar diseños áulicos innovadores. Se creó un instrumento de evaluación con preguntas de diferentes tipos para medir la percepción de los participantes. Aunque estos enfoques pueden presentar contradicciones, su combinación se revela como una estrategia eficaz. El aula invertida, permite a los estudiantes construir saberes previos con recursos multimedia y optimizando el tiempo para interacciones significativas. La enseñanza por indagación habilita el análisis de situaciones problemáticas, involucrando a los estudiantes en la ciencia como proceso a través de la exploración. Los resultados indican que los estudiantes experimentan mayor motivación, curiosidad y creatividad, logrando autonomía en la construcción de aprendizajes. En conclusión, la conjunción de estas estrategias potencia el aprendizaje de la Didáctica de las Ciencias Naturales, ofreciendo a los estudiantes una perspectiva innovadora para enseñar Ciencias en la escuela.

## Innovative Approaches in Natural Science Didactics: Flipped Classroom and Inquiry-Based Teaching in Initial Teacher Education

### KEYWORDS

Flipped Classroom  
Inquiry-based teaching  
Workshop classroom  
Initial teaching education

### ABSTRACT

This descriptive study highlights the successful implementation of flipped classroom and inquiry-based teaching strategies as innovative pedagogical approaches to strengthen Natural Science Didactics. The purpose is to introduce the use of these strategies within the framework of the workshop classroom to enhance teaching and learning processes in initial teacher education. The challenge of fostering understanding and interest, and skill development is approached so as to build innovative classroom designs. A different type question assessment tool was created to measure the participants insight. Although these approaches may present significant contradictions, their combined application is reveals itself as an effective strategy. An inverted classroom allows students to build on prior knowledge with multimedia resources, optimizing time for a meaningful interaction. Inquiry-based teaching enables the analysis of problematic situations, involving students in the scientific process through exploration. Results indicate that students experience increased motivation, curiosity, and creativity, achieving autonomy in knowledge building. In conclusion, the conjunction of these strategies enhances the learning of Natural Science Didactics, offering students an innovative perspective for teaching Sciences in school.

## 1. Introducción

La pandemia obligó a reinventar a gran parte de la sociedad y luego de ella muchas de las estrategias que se pusieron en práctica trascendieron y se mostraron como excelentes aliados para la formación inicial de docentes.

Ante la urgencia de la situación, los educadores se vieron compelidos a replantear sus estrategias pedagógicas para adaptarse a la enseñanza a distancia. Este desafío inesperado los impulsó a explorar nuevas metodologías de enseñanza en un proceso de aprendizaje colectivo e intensivo. En este contexto, se abrió un campo de experimentación que incluyó la utilización de diversos recursos y canales, como videos, tutoriales, libros en línea, plataformas de aprendizaje remoto, colaboración en documentos, redes sociales, correo electrónico, videollamadas y otros medios, con el objetivo de mantener la conexión con los estudiantes y sus familias (Petrie et al., 2020).

La incorporación y la combinación de nuevas tecnologías digitales en la educación han mostrado resultados positivos. Investigaciones indican que la educación en línea y semipresencial tienen el potencial de fomentar aprendizajes sólidos y mantener la motivación de los estudiantes (Cavanaugh, 2009). Siempre teniendo presente que es la Pedagogía y no la Tecnología la que define el éxito de las clases no presenciales.

Estas nuevas modalidades de enseñanza, más flexibles le exigieron a los/as Docentes en Formación (DeF) el desarrollo de destrezas para el aprendizaje que el pedagogo suizo Philippe Perrenoud (2006) bautizó, en conjunto, como "oficio de estudiante".

Estas competencias esenciales abarcan habilidades fundamentales para construir saberes. Esto comprende la habilidad de gestionar el tiempo, crear rutinas de estudio y planificar enfoques para abordar nuevos desafíos. Además, implica entender las instrucciones, procesar información de diversas maneras, y relacionar el aprendizaje con experiencias previas y la vida personal. También se refiere a mantener la concentración, cultivar la perseverancia, reflexionar sobre el aprendizaje y realizar autoevaluaciones.

En este sentido, la utilización del aula invertida en la Educación Superior muestra beneficios, entre los que se destaca que promueve la atención continua del estudiante en el proceso de aprendizaje. Este enfoque pedagógico estimula la autonomía, la colaboración y la autorreflexión, lo que lo convierte en un enfoque versátil y ajustable, contribuyendo a una mayor motivación y percepción positiva por parte del estudiante (Mason, et al, 2013)

En relación con la Enseñanza por indagación se pueden distinguir tres tipos, en función de la autonomía de los/as estudiantes:

- Indagación abierta: el alumnado decide sobre qué investigar y cómo hacerlo;
- Indagación estructurada: el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla; e
- Indagación guiada: el docente proporciona la pregunta y los alumnos deciden cómo resolverla.

En este caso en particular, se trabaja con indagación guiada. En ésta la propuesta considera a la investigación como un principio didáctico integral, en el que se busca inspirar en el aprendiz una mentalidad científica y las destrezas inherentes a su metodología. Esto debe permear los componentes esenciales del currículo escolar, tales como los objetivos, contenidos y las interacciones de enseñanza (Cañal, 1987).

Durante el 2022 se planteó en la Cátedra de Didáctica de las Ciencias Naturales I continuar trabajando con el aula invertida y recuperar la enseñanza por indagación utilizada durante la pre pandemia. Fue arriesgado atento a que ambas estrategias se contraponen ya que el aula invertida propone adelantar contenidos al encuentro presencial, mientras que la enseñanza por indagación parte de la problematización, el planteo de hipótesis, el diseño de preguntas investigables partiendo sólo de las ideas previas. ¿Cómo funcionarían ambas estrategias juntas? y se pudo observar que la respuesta de los estudiantes era satisfactoria, pero surgieron los interrogantes ¿es solo la percepción como docente?, ¿realmente los estudiantes responden mejor?, ¿están los estudiantes desarrollando habilidades de pensamiento y científicas? Para responder estas preguntas, se propone el presente trabajo con e Objetivo: Analizar el grado de aceptación por parte

de los docentes en formación del Profesorado en Educación Primaria sobre la conjunción de las estrategias de aula invertida y enseñanza por indagación en el marco del aula taller como enfoques pedagógicos innovadores para fortalecer los procesos de enseñanza y de aprendizaje en la Didáctica de las Ciencias Naturales.

## 2. Materiales y métodos

### *Tipo de investigación*

Se realizó una investigación descriptiva no experimental y transversal.

### *Participantes*

Se trabajó con un grupo de 18 estudiantes del 2do año del Profesorado en Educación Primaria del ISFD N°19, cito en la ciudad de Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, seleccionados de forma no probabilística, por conveniencia.

### *Instrumento de Recolección de Datos*

Se diseñó un instrumento que combinaba preguntas de distinto tipo, donde algunas utilizaban la escala de Likert y otras eran de opción múltiple con casillas de verificación para evaluar la percepción de los participantes sobre dos enfoques innovadores en la Didáctica de las Ciencias Naturales: el Aula Invertida y la Enseñanza por Indagación. La encuesta constó de cinco secciones, cada una relacionada con aspectos específicos de las estrategias implementadas.

### *Preguntas de la Encuesta*

#### A. Estrategia del Aula Invertida:

- i. Gestionar tiempos de estudio.
- ii. Crear rutinas de estudio.
- iii. Comprender consignas.
- iv. Procesar información desde diferentes fuentes.
- v. Relacionar el aprendizaje con ideas previas.
- vi. Reflexionar sobre el proceso de aprendizaje.
- vii. Realizar autoevaluaciones.

#### B. Enseñanza por Indagación en Encuentros Presenciales:

- i. Resolución de problemas.
- ii. Discusión en pequeños grupos.
- iii. Realizar consultas sobre dudas.
- iv. Vivenciar la implementación de la estrategia por indagación.
- v. Vivenciar la dimensión de la ciencia como proceso.

#### C. Enseñanza por Indagación Transformando el

#### Aula en un Taller:

- i. Manipular materiales.
  - ii. Realizar exploraciones.
  - iii. Realizar diseños experimentales sencillos.
  - iv. Plantear preguntas investigables.
  - v. Diseñar y/o seleccionar situaciones problemáticas.
  - vi. Diseñar modelos analógicos.
  - vii. Analizar simuladores.
  - viii. Tomar registros.
  - ix. Analizar gráficos.
  - x. Fomentar el trabajo colaborativo.
  - xi. Fomentar el pensamiento crítico.
  - xii. Construir saberes propios.
  - xiii. Desarrollar habilidades científicas.
  - xiv. Desarrollar habilidades cognitivas.
  - xv. Desarrollar habilidades metacognitivas.
- D. Motivación en la Enseñanza por Indagación:
- i. Sentirse más motivado/a a la hora de aprender.
  - ii. Experimentar con la creatividad.
  - iii. Experimentar con la curiosidad.
- E. Trabajo en Conjunción de Estrategias:
- i. Promover la comprensión del mundo natural.
  - ii. Desarrollar el interés por el mundo natural.
  - iii. Obtener mayor autonomía en la construcción de saberes.
  - iv. Pensar en maneras diferentes de enseñar Ciencias Naturales.
  - v. Desarrollar destrezas para producir diseños áulicos innovadores.
- F. Hubieras preferido clases teóricas tradicionales.

La escala estuvo compuesta por cinco opciones: Totalmente de acuerdo, muy de acuerdo, de acuerdo, poco de acuerdo, en desacuerdo.

### *Consideraciones Éticas*

Se garantizó la confidencialidad de la información recopilada, y los participantes fueron informados sobre el propósito de la investigación y su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias.

### *Limitaciones del Estudio*

Se reconoce la limitación del tamaño de la muestra, y se sugiere la replicación del estudio con un grupo más amplio para obtener resultados más generalizables. Además, se destaca que la interpretación de los resultados se basa en la percepción de los participantes y no en medidas objetivas de rendimiento académico.

### 3. Resultados y Discusión

Este estudio exploratorio se centra en la percepción de 18 estudiantes del Profesorado en educación Primaria sobre dos enfoques innovadores en la Didáctica de las Ciencias Naturales: el Aula Invertida y la Enseñanza por Indagación. La recopilación de datos se llevó a cabo mediante una encuesta estructurada en escala de Likert, y los resultados se presentan y analizan a continuación.

La percepción de los estudiantes frente a la estrategia del Aula Invertida se muestra en el gráfico 1. Éste proporciona una visión completa y detallada de su efectividad en diferentes aspectos relacionados con el proceso de aprendizaje.

#### Niveles de Aceptación

En términos generales, se observa una alta aceptación de la estrategia del Aula Invertida, ya que la mayoría de los estudiantes se encuentran en las categorías "Totalmente de acuerdo" y "Muy de acuerdo" en la mayoría de los aspectos evaluados.

#### Gestión del Tiempo y Rutinas de Estudio

Los resultados sugieren que la estrategia del Aula Invertida es percibida como efectiva para la gestión del tiempo de estudio y la creación de rutinas para el mismo, ya que la mayoría de los estudiantes han expresado acuerdo tal como lo expresan O'Flaherty et al. (2015) y Lage, et al (2000) quienes formulan que, en el ámbito educativo, se destaca que la implementación del aula invertida ya que presenta beneficios significativos, tales como la mejora de la atención continua del estudiante.

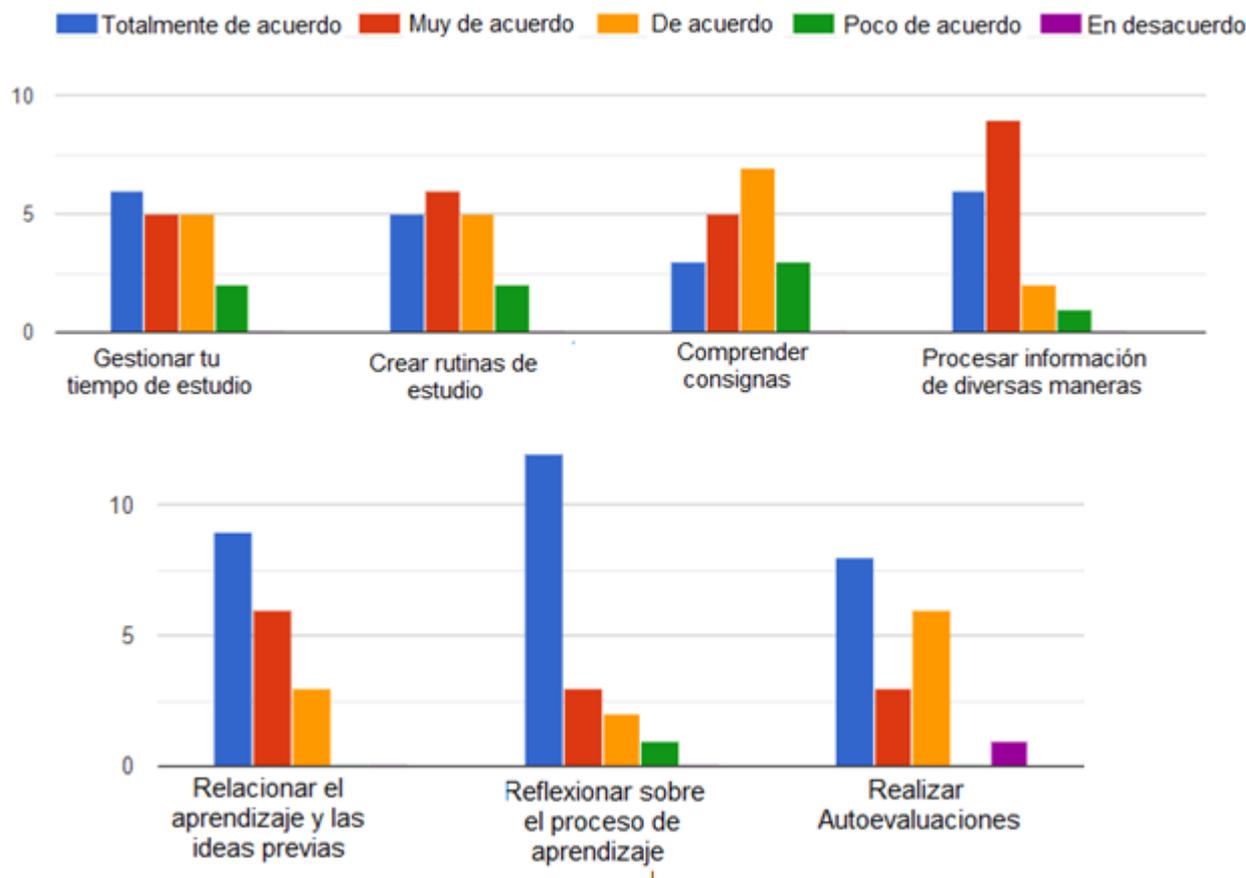


Figura 1. En relación con el aula invertida y el desarrollo de habilidades

#### Comprensión y Procesamiento de Información

Los estudiantes destacan la utilidad de la estrategia para comprender consignas y procesar información

desde diversas fuentes, indicando que la metodología facilita la comprensión y el análisis de la información. En este sentido y en acuerdo con Mason, et al, 2013 y Tourón, et al 2015, el

planteamiento didáctico fomenta la autonomía, colaboración y autorreflexión del estudiante, convirtiéndose en un método adaptable y flexible, lo cual resulta en mejoras notables en la motivación y percepción del estudiante.

#### *Relación con Ideas Previas y Reflexión*

La estrategia demuestra ser exitosa en fomentar la conexión entre los nuevos aprendizajes y las ideas previas de los estudiantes, así como en estimular la reflexión sobre su propio proceso de aprendizaje. A este respecto, esta metodología educativa implica que el estudiante lleve a cabo lecturas, visualizaciones, reflexiones y comprensión de los contenidos proporcionados por el docente fuera del aula, abordando en la clase presencial las preguntas y desafíos que puedan surgir. Este enfoque destaca la aplicación práctica del contenido como un momento crucial en el proceso de aprendizaje, ocurriendo durante la clase con el docente como guía y la colaboración de los compañeros (Andrade, et al, 2018). Esta transición del docente como mero proveedor de información a un facilitador de fuentes de conocimiento y aprendizaje se alinea con las ideas de Bergmann, et al (2014) y Hamdan et al. (2013).

#### *Autoevaluación*

En este caso, los resultados sugieren que la estrategia del Aula Invertida favorece la práctica de autoevaluaciones, proporcionando a los estudiantes la oportunidad de reflexionar sobre su desempeño y comprensión. Facilita la participación activa de los estudiantes en la construcción del aprendizaje mediante la recepción de sugerencias tanto de sus compañeros como del docente. Posteriormente, el diálogo entre los compañeros y el docente posibilita la identificación de fortalezas y debilidades, contribuyendo así al proceso de autoevaluación del estudiante (Rivadeneira Rodríguez, 2019).

En general, los resultados del gráfico sugieren que los estudiantes tienen una percepción positiva de la estrategia del Aula Invertida en todos los aspectos evaluados. La mayoría de los participantes se mostraron de acuerdo o muy de acuerdo en que la estrategia es efectiva para gestionar el tiempo, crear rutinas de estudio, comprender consignas, procesar información de diferentes maneras, relacionar aprendizajes con ideas previas, reflexionar sobre el proceso de aprendizaje y realizar autoevaluaciones. Estos hallazgos respaldan la eficacia percibida de la estrategia del Aula Invertida en diversos aspectos fundamentales del proceso de aprendizaje.

**Tabla 1.** En relación con La estrategia de enseñanza por indagación, en los encuentros presenciales.

	De acuerdo %	En desacuerdo %
Resolución de problema	77,78	22,22
Discusión en pequeños grupos	100	-
Realizar consultas sobre tus dudas	94,45	5,55
Vivenciar la implementación de la estrategia por indagación	88,89	11,11
Vivenciar la dimensión de la ciencia como proceso	83,33	16,67

#### *La enseñanza por Indagación en Encuentros Presenciales*

En general, los participantes expresaron un alto grado de conformidad (entre el 77% y el 100%) con la enseñanza por indagación durante los encuentros presenciales, según lo muestra la tabla 1. La unanimidad en aspectos como "Discusión en Pequeños Grupos" indica una percepción positiva general. Además, se destaca la eficacia percibida en la "Resolución de Problemas", "Realización de Consultas sobre Dudas," y la "Vivencia de la Dimensión de la Ciencia como Proceso."

La enseñanza por indagación se centra en el análisis y la resolución de situaciones problemáticas y su correspondiente pregunta investigable a través de la exploración y la experimentación. De esta forma se involucra, en la formación Docente inicial, la dimensión de la ciencia como proceso, es decir, en palabras de Gellón (2005) "un entendimiento acerca de cómo se arriba a los nuevos conceptos a través de la investigación".

#### *La Estrategia de Enseñanza por Indagación Transformando el Aula en un Taller*

En este sentido se puede observar en la Tabla 2 que ésta, refleja una alta conformidad (ente el 83% y el 100%) con la estrategia de enseñanza por indagación al transformar el aula en un taller. Aspectos como "Manipular Materiales," "Realizar Exploraciones," y "Realizar Diseños Experimentales Sencillos" obtuvieron el 100% de acuerdo, destacando la efectividad percibida de esta modalidad para fomentar la participación activa y práctica de los estudiantes. Acordando con Martínez-Chico (2015)

al experimentar directamente el proceso de aprendizaje de los contenidos, los docentes en formación toman conciencia de la importancia de dedicar el tiempo necesario para permitir la construcción de saberes. Este fenómeno evidencia un comienzo de cambio en su perspectiva respecto al enfoque de enseñanza: de un enfoque inicialmente transmisivo a una orientación centrada en plantear preguntas que involucren a los alumnos y la necesidad de buscar pruebas, como indican tanto las interrogantes planteadas como los contenidos propuestos por los futuros maestros al concluir el curso.

**Tabla 2.** Productividad en relación con La estrategia de enseñanza por indagación y la transformando al Aula en un Taller.

	De acuerdo %	En desacuerdo %
Manipular materiales	100	-
Realizar exploraciones	100	-
Realizar diseños experimentales sencillos	100	-
Plantear preguntas investigables	83,32	16,68
Diseñar y/o seleccionar situaciones problemáticas	88,89	11,11
Diseñar modelos analógicos	94,45	5,55
Analizar simuladores	94,45	5,55
Tomar registros	94,45	5,55
Analizar gráficos	94,45	5,55
Fomentar el trabajo colaborativo	94,45	5,55
Fomentar el pensamiento crítico	100	-
Construir sus propios saberes	88,89	11,11
Desarrollar habilidades científicas	94,45	5,55
Desarrollar habilidades cognitivas	88,89	11,11
Desarrollar habilidades metacognitivas	83,33	16,68

#### Motivación en la Enseñanza por Indagación

En relación con la estrategia de enseñanza por indagación, en la tabla 3 se observa que generó un alto nivel de motivación entre los participantes, con un 100% de acuerdo en sentirse motivados para aprender. Además, la mayoría expresó motivación para experimentar con la creatividad y la curiosidad, sugiriendo que la metodología impacta

positivamente en aspectos afectivos y cognitivos. Como afirma Furman (2020) los docentes debemos proponer estrategias que le den a los estudiantes un papel protagónico que genere mayor motivación por el aprendizaje. La metodología de aprendizaje por indagación ha sido respaldada como enfoque didáctico según informes nacionales en diversas naciones. En el Reino Unido, el gobierno destacó que las escuelas con mejores resultados en ciencias y una mayor implicación y motivación estudiantil empleaban metodologías prácticas centradas en el desarrollo de habilidades de investigación (Ofsted, 2011).

**Tabla 3.** La motivación en relación con La estrategia de enseñanza por indagación.

	De acuerdo %	En desacuerdo %
Aprender	100	-
Experimentar con la creatividad	94,45	5,55
Experimentar con la curiosidad	88,89	11,11

#### Trabajo en Conjunción de Estrategias

En la Tabla 4, se aborda la combinación de las estrategias de Aula Invertida y Enseñanza por Indagación. Los resultados indican que los participantes percibieron beneficios significativos en varios aspectos, como la promoción de la comprensión y el interés por el mundo natural, la autonomía en la construcción de saberes, la diversificación de enfoques para enseñar Ciencias Naturales, y el desarrollo de destrezas para producir diseños áulicos innovadores.

**Tabla 4.** En relación con el trabajo en conjunción de las estrategias de Aula Invertida y Enseñanza por Indagación.

	De acuerdo %	En desacuerdo %
Promover la comprensión del mundo natural	94,45	5,55
Desarrollar el interés por el mundo natural	83,32	16,68
Obtener mayor autonomía en la construcción de saberes	88,89	11,11
Pensar en maneras diferentes de enseñar Ciencias Naturales	94,45	5,55

---

Desarrollar destrezas con las que pudiste producir diseños áulicos innovadores	94,45	5,55
--	-------	------

---

Según destacados expertos en la Naturaleza de la Ciencia, la evidencia actual sugiere que la indagación es la forma más efectiva de aprender ciencias. La creencia generalizada es que los estudiantes adquieren un mejor entendimiento de los conceptos científicos cuando participan en la práctica de la ciencia" (Lederman, et al, 2013).

Con respecto al aula invertida, en la búsqueda de evidencias en relación con sus ventajas, se destaca a nivel nacional la investigación realizada por Ponce et al. (2017), quienes llevaron a cabo la implementación de la metodología de clase invertida en el curso de Ambientación a la vida universitaria en la Universidad Nacional de Entre Ríos. Los autores realizaron un análisis comparativo de los resultados obtenidos en comparación con cortes anteriores, concluyendo que la aplicación de este modelo presenta diversas ventajas, incluyendo la posibilidad de alcanzar un aprendizaje más profundo, la adquisición de competencias transversales y un aumento en la motivación de los estudiantes. Los autores observaron que pasaron de un 4% de aprobados con la metodología tradicional, pasaron a un 34% con la utilización del aula invertida.

En el caso del presente trabajo, se utilizan ambas metodologías, que, si bien muestran en varios puntos ser opuesta, en su utilización conjunta se potencian aumentando la eficacia de cada una por separado. La metodología de enseñanza se inicia con la estrategia de aula invertida que implica que los estudiantes construyan saberes previos al encuentro en la clase a través de recursos audiovisuales, lecturas complementarias, resolución de actividades individuales o grupales. Esto evita las extensas exposiciones teóricas y permite optimizar el tiempo del encuentro para dedicarlo a actividades de mayor interacción, como la resolución de problemas, discusiones en grupos pequeños, consultas de dudas, la implementación de la estrategia por indagación. De esta manera, se fomenta la participación activa de los docentes en formación, el pensamiento crítico y la construcción de aprendizajes significativos para sus futuras prácticas.

#### *Preferencia por Clases Tradicionales*

A consultar por la preferencia por las clases tradicionales, ésta arroja información relevante.

Un porcentaje relativamente bajo de estudiantes expresó estar de acuerdo con preferir clases tradicionales con exposiciones teóricas. Esto sugiere que una minoría de los participantes podría tener una inclinación hacia métodos de enseñanza más convencionales y basados en exposiciones teóricas.

La gran mayoría de los estudiantes (83,3%) indicó estar en desacuerdo con preferir clases tradicionales. Este resultado se alinea con la tendencia general observada en las tablas anteriores, donde los participantes mostraron una receptividad positiva hacia estrategias pedagógicas más innovadoras, como el Aula Invertida, la Enseñanza por Indagación y el trabajo activo en el aula. Este resultado puede estar relacionado con la resistencia a romper con la matriz del modelo de Trasmisión – Recepción con el que han trabajado lo largo de sus propias biografías escolares.

#### 4. Conclusiones

La investigación llevada a cabo con 18 estudiantes de formación inicial del Profesorado en educación Primaria, ha proporcionado una visión profunda sobre las percepciones y preferencias hacia estrategias innovadoras en la Didáctica de las Ciencias Naturales, centrándose en el Aula Invertida y la Enseñanza por Indagación en conjunción.

En relación con las percepciones de los estudiantes se puede concluir que existe una alta aceptación de estrategias innovadoras como el Aula Invertida y la Enseñanza por Indagación indicando un cambio positivo en la percepción de los estudiantes hacia métodos pedagógicos más participativos y centrados en el estudiante. Además, los resultados resaltan la eficacia de la estrategia del Aula Invertida, especialmente en aspectos relacionados con la gestión del tiempo, la creación de rutinas de estudio y la preferencia por métodos de aprendizaje activos. En relación con, la Enseñanza por Indagación, al transformar el aula en un taller y a realizar un trabajo activo en la misma, se identifica como un enfoque eficaz para el desarrollo de habilidades científicas, el pensamiento crítico y la motivación de los estudiantes. De igual importancia se puede considerar la baja preferencia por clases tradicionales subraya la necesidad de desafiar y

reconsiderar métodos de enseñanza más convencionales en favor de más dinámicos y participativos. En relación con las implicancias para Prácticas Pedagógicas, los educadores pueden considerar la adopción y adaptación de estrategias innovadoras, especialmente el Aula Invertida y la Enseñanza por Indagación, para enriquecer las experiencias de aprendizaje y fomentar la participación activa de los estudiantes. Asimismo, se destaca la importancia de diseñar actividades que promuevan la reflexión metacognitiva, la autoevaluación y el pensamiento crítico, en línea con los resultados que indican una receptividad positiva hacia estas prácticas. Con referencia a la flexibilidad en las prácticas pedagógicas, teniendo en cuenta las preferencias y estilos de aprendizaje individuales, se presenta como una estrategia clave para mejorar la eficacia de la enseñanza. Con respecto a algunas recomendaciones para futuros trabajos, se puede sugerir la realización de investigaciones longitudinales que evalúen el impacto a largo plazo de estrategias innovadoras en el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes.

En resumen, este trabajo resalta la importancia de abrazar y promover estrategias innovadoras en la Didáctica de las Ciencias Naturales, brindando una perspectiva valiosa sobre las preferencias y percepciones de los estudiantes, trabajando con el aula invertida y la enseñanza por indagación en el marco del trabajo en el aula como un taller en conjunción. Las implicancias sugeridas para las prácticas pedagógicas y las recomendaciones para futuros trabajos buscan enriquecer aún más el campo, apoyando la creación de entornos de aprendizaje más efectivos y comprometidos para los docentes en su formación inicial que tiendan a mejorar la enseñanza de las Ciencias Naturales en el ámbito de la educación primaria, nivel para el que están siendo formados. A partir de estos resultados obtenidos en el presente estudio, se buscará ampliar durante el 2024 la presente investigación.

## 5. Referencias

- Andrade, E. Y Chacón, E. (2018). Implicaciones teóricas y procedimentales de la clase invertida. *Pulso. Revista de Educación*, (41), 251-267. Recuperado a partir de <https://bit.ly/2Mc5Xvd>
- Bergmann J. Y Sams A. (2014). *Dale la vuelta a tu clase*. Madrid: Editorial SM.
- Cañal de León, P. (1987). Un enfoque curricular basado en la investigación. *Investigación en la Escuela*, (1), 43-50.
- Cavanaugh, C. S., Barbour, M. K. y Clark, T. (2009). Research and practice in K-12 online learning: A review of open access literature. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 10(1), 120-128
- Furman, M (2020) Tres lecciones que nos deja la pandemia para repensar la educación. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 241-252
- Gellon, G., et al. (2005). La Ciencia en el Aula: Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla. Buenos Aires: Paidós.
- Hamdan, N., Mcknight, P., Mcknight, K. y Arfstrom, K.M. (2013). A Review of Flipped Learning. *Flipped Learning Network*, 1-4.
- Lage, M. J., Platt, G. J. y Treglia, M. (2000). Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43.
- Lederman N.G., Lederman J.S., Antink A. (2013) Nature of science and scientific inquiry as contexts for learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology* 1(3), 138 – 147
- Mason, G.S., Shuman, T.R. y Cook, K.E. (2013). Comparing the Effectiveness of an Inverted Classroom to a Traditional Classroom in an Upper-Division Engineering Course. *Revista IEEE Transactions on Education*, 56(4), 430-435
- O’flaherty, J. y Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85–95.
- Ofsted (2011) *Successful science: An evaluation of science education*. Manchester, UK: Ofsted
- Perrenoud, P. (2006). *El oficio de alumno y el sentido del trabajo escolar*. Madrid: Editorial Popular
- Petrie, C., Aladin, K., Ranjan, P., Javangwe, R., Gilliland, D., Tuominen, S. y Lasse, L. (2020). *Spotlight: Quality education for all during Covid-19 crisis*. *HundrED-OECD Report*.
- Ponce, S., Marichal, A., Martínez, G., Soldini, M., Ponce, R (2017) Implementación de la clase invertida en el aula universitaria: posibilidades para la obtención de aprendizajes no superficiales. XII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología. La Matanza 159-168
- Rivadeneira Rodríguez, E. M. (2019) La metodología aula invertida en la construcción del aprendizaje autónomo y colaborativo del estudiante actual.

Revista San Gregorio, (31), 72-79  
Tourón, J. Y Santiago, R. (2015). El modelo Flipped Learning  
y el desarrollo del talento en la escuela. Revista  
de Educación, (368), 196-231



# El ambiente de clase virtual y el discurso multimodal en la producción de argumentos científicos escolares: el caso de la vacunación

Héctor Pedrol<sup>1\*</sup>, Adriana Calderaro<sup>1</sup>, Lucía Iuliani<sup>1</sup>

1. Laboratorio de Investigación en Ciencias Humanas, Escuela de Humanidades, UNSAM –CONICET, Av. 25 de Mayo 1169, Villa Lynch, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

\*E-mail: [hpedrol@usam.edu.ar](mailto:hpedrol@usam.edu.ar)

## PALABRAS CLAVES

Ambiente de clase  
Virtualidad  
Discurso multimodal  
Argumentación científica

## RESUMEN

La multimodalidad permite hacer un análisis integral de los lenguajes y recursos semióticos que constituyen la interacción discursiva. En las clases de ciencias se construyen significados a través de la orquestación discursiva que interviene en el proceso de argumentación científica escolar, favorecido por un ambiente de clase adecuado. En este trabajo se analizan las características de los ambientes de clases virtuales sincrónicas enmarcadas en el aislamiento educativo durante la pandemia. Se identifica la influencia del discurso multimodal en los procesos argumentativos en el desarrollo de una secuencia didáctica relacionada con una problemática socio científica: la vacunación. El objetivo es reconocer los elementos del discurso multimodal y los aprendizajes que promueven la argumentación científica escolar en ambientes de clases virtuales. La metodología es descriptiva-interpretativa. Los datos se obtuvieron a partir de la grabación de las clases sincrónicas no presenciales, entrevistas a la docente y producciones de los alumnos. Los mismos fueron tratados mediante la técnica de análisis de contenido. Como resultado identificamos la influencia de medios comunicacionales digitales en los segmentos de significatividad: vacunación, sistema inmunológico y estructura argumentativa que contienen un concepto central de la secuencia didáctica y donde se reconoce una trama semiótica.

# The virtual classroom environment and multimodal discourse in the production of school scientific arguments: the case of vaccination

## KEYWORDS

Class environment  
Virtual  
Multimodal speech  
Scientific argument

## ABSTRACT

El Multimodality allows a comprehensive analysis of the languages and semiotic resources that constitute discursive interaction. In science classes, meanings are constructed through the discursive orchestration that intervenes in the school scientific argumentation process, favored by an appropriate class environment. This work analyzes the characteristics of synchronous virtual class environments framed in educational isolation during the pandemic. The influence of multimodal discourse on argumentative processes is identified in the development of a didactic sequence related to a socio-scientific problem: vaccination. The objective is to recognize the elements of multimodal discourse and learning by promoting school scientific argumentation in virtual classroom environments. The methodology is descriptive-interpretive. The data was obtained from the recording of non-face-to-face synchronous classes, interviews with the teacher and student productions. They were examined by using the content analysis technique. As a result, we identified the influence of digital communication media in the segments of significance: vaccination, immune system and argumentative structure that contain a central concept of the didactic sequence and where a semiotic plot is recognized.

## 1. Introducción

### *El ambiente de la clase*

El alumnado argumenta si su papel en clase se lo requiere o si su rol asignado se lo permite. Esto ocurre si el diseño de tareas, y del ambiente de clase en general, favorece sus experiencias con la argumentación. El ambiente de clase requiere considerarlo como parte indisoluble del modelo didáctico. Los siguientes factores intervienen en su conformación: a). La configuración del espacio áulico, que en esta ocasión fue netamente virtual, como parte del modelo didáctico, facilitando o interfiriendo la construcción de aprendizajes científicos; b). Los procesos de transposición didáctica, entendidos especialmente en su dimensión de transición entre el lenguaje de la ciencia escolar y el de la ciencia profesional; c). El desarrollo de competencias por parte de los alumnos que incluyan instancias de diálogo y debate entre pares y con el docente, y que contengan elementos de fundamentación en modelos científicos, justificación, retórica, uso de pruebas y evidencias, etc.; d). Los niveles de autonomía y de autorregulación logrados por el grupo clase a lo largo del proceso de aprendizaje, que se evidencian a partir de los procesos metarreflexivos durante el desarrollo de secuencias didácticas; e). Propuestas didácticas que conciten la motivación del grupo clase, en especial a través de la transición gradual desde el lenguaje y el contexto cotidiano en el planteo de un problema hasta llegar al lenguaje y contexto científico escolar.; f). Un rol docente que busque gestionar las ideas de los alumnos a través de estrategias motivadoras para la construcción de conceptos científicos. (Pedrol y col. 2015).

### *Las características del aula virtual*

Una educación en entornos virtuales es posible sólo si hay una fuerte necesidad de usar los recursos tecnológicos y sobre todo el internet. La situación de Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) al que se recurrió durante la Pandemia de COVID-19, funcionó como incentivo o imperativo para utilizar, en un contexto de clase invertida, recursos como los programas de videoconferencia y repositorios materiales, entre otros ejemplos posibles. Este tipo de clase invertida requiere que los alumnos estudien asincrónicamente, y durante la clase sincrónica se trabaje con la ayuda del profesor sobre las actividades propuestas en la secuencia didáctica específica (Reisenegger, 2021). Mencionamos

algunas de las herramientas que se emplearon durante dicho período:

### -Google Meet

El uso de los entornos virtuales cambia radicalmente el aspecto arquitectónico del aula. En este caso del proceso de enseñanza y aprendizaje, en el juego sincrónico/asincrónico, está dado por las características que definen los programas Apps utilizados. Por ser en gran parte gratuito (solo se abona el costo de la conectividad) se ha extendido notablemente el uso del entorno desarrollado por Google. El programa Meet que permite participar de una reunión con solo introducir un código, es el que analizaremos en este estudio. Estos 'códigos' son las contraseñas únicas que se crean con cada conferencia, de forma que los participantes solo podrán entrar a esas reuniones si lo conocen previamente. Las videoconferencias a través de Meet cuentan con un cifrado en tránsito, y todas medidas de seguridad que se actualizan constantemente para ofrecer un nivel de protección óptimo. En tiempos de posibles hackeos o intromisiones externas estos elementos son centrales. Además, existe la posibilidad de programar próximas reuniones, integrándose con Google Calendar. Escobar, et al. (2020) señalan que Google Meet es una aplicación de videollamada con alta calidad, utilizada en educación y otros ámbitos con un máximo de 100 personas y un tiempo de 60 minutos de conectividad. Los centros educativos que utilizan Google Meet tienen las ventajas de grabar sus clases (de manera gratuita en pandemia), planificar las reuniones a cualquier hora y lugar. Una de las principales características de Meet es que se cuenta con muchas herramientas a la hora realizar la videollamada. Estas características permiten emular algunos aspectos de la presencialidad en el contexto sincrónico, como el diálogo, la exposición de parte de los diferentes actores, la presentación de las consignas de trabajo de las actividades, también el uso de diferentes recursos de carácter ampliatorio o de apoyo como un Power Point, aplicaciones que permiten la simulación de trabajos de laboratorio, participar de conferencias a través de Youtube, el uso de Padlet, trabajar en diferentes grupos en salas de reunión específicas, etc. Existe una limitación, entre otras, que afecta a todos los sistemas sincrónicos y que consiste en el acceso a la conectividad, que en algunos lugares puede no funcionar ágilmente. Más allá de esta limitación es posible acceder a la clase desde una laptop, tablet,

teléfonos inteligentes, lo que permitirá su conexión desde el lugar en donde se encuentre el alumno.

#### -Classroom

Por otra parte, el uso de Classroom como herramienta para el ejercicio de la enseñanza puede ser eficiente, ya que los docentes pueden publicar clases, compartir tareas, evaluar y calificar, enviar comentarios, etc. El hecho de tener acceso a todos los elementos de la clase desde un solo lugar hace que las tareas sean eficientes e interactivas, permitiendo que la gestión del aula virtual sea ágil y rápida con la ventaja relativa de que el estudiante puede ingresar y realizar sus tareas administrando el tiempo y hora oportuna. Desde el aspecto informático esta herramienta emplea las mismas medidas de seguridad que Google utiliza para proteger información y salvaguardar la privacidad. Estas condiciones descritas establecen un marco distinto al habitual, que definen otros recursos para la gestión de un ambiente de clase que permita o facilite el proceso de argumentación científica escolar.

#### -Google Docs

Este procesador de texto ofrecido en el paquete de Drive permite trabajar colaborativamente desde la nube, favoreciendo el trabajo de personas que están en lugares diferentes y en horarios convenientes para cada participante del documento. Se trata de una herramienta gratuita que no requiere de instalación de software. Tiene la ventaja de guardarse en la nube y actualizarse de manera automática. Si bien permite el trabajo simultáneo, también ofrece la posibilidad de trabajar de manera diferida, de manera sincrónica y asincrónica en relación con la clase, por ejemplo. El uso de esta herramienta para la elaboración de tareas académicas es percibida por la mayoría de los estudiantes de manera positiva ya que favorece el aprendizaje cuando los alumnos se organizan bajo sus propios estilos de aprender (2011).

#### -Whatsapp

Como complemento de estos modos de comunicación se incluyó el uso de una mensajería instantánea, en este caso WhatsApp (WP). Las mismas corresponden al conjunto de medios tecnológicos a través de los cuales las personas se comunican y se expresan con un lenguaje de diseño específico que se torna natural para los estudiantes (Inciarte Rodríguez, 2004).

Teniendo como referencia temporal la clase, se pueden definir momentos sincrónicos y asincrónicos. El WP puede funcionar en ambos sentidos. En el caso sincrónico aporta tramas de artefactos semióticos que enriquecen el discurso de la clase. En relación con la comunicación asincrónica involucra procesos de intercambio de sentido donde la interacción no es en tiempo real, sin embargo, es posible generar procesos sincrónicos en el aula extendida. El WP como medio facilita el encuentro interpersonal, sin que el lugar y el horario de los que se comunican sea una limitación importante. Posee su propia trama de artefactos semióticos, por ejemplo, emojis, mayúsculas, signos de admiración.

#### *El discurso multimodal y la argumentación en la enseñanza de las ciencias*

Un aspecto que aporta a este estudio es el análisis del papel de la multimodalidad en la argumentación científica escolar. En la construcción de los argumentos científicos son de suma importancia el dominio de los modelos científicos (Adúriz Bravo, 2017) y la consideración de las evidencias en la justificación. El reconocimiento de la naturaleza multimodal de la argumentación es entonces crucial.

La argumentación multimodal hace referencia al uso de múltiples lenguajes y reúne los aportes específicos de los estudios del lenguaje y modos semióticos que favorecen el aprendizaje. Durante la construcción de los conceptos, definiciones y enunciados de la ciencia se desarrollan simultáneamente los artefactos semióticos (esquemas e imágenes, gráficos, fórmulas, algoritmos, lenguaje matemático, imágenes construidas por computadoras, por satélites, por microscopios electrónicos, de barrido, entre otros (Kress y van Leeuwen, 2001). La creación de significado o semiosis se produce orquestadamente entre todas las acciones generadas en un ambiente de clase donde interactúan todos los artefactos semióticos diseñados a tal fin. Este ambiente de clase virtual se caracterizó por tener dos configuraciones complementarias, una sincrónica mediante el uso de una plataforma de videoencuentro (Meet) y otra asincrónica a través de una plataforma educativa (Classroom). Además, se incluyó como herramienta de comunicación ágil la aplicación de WhatsApp utilizada para la gestión de la clase con la función de cooperación con los otros modos semióticos.

En la investigación se considera que la relación de estos medios es de cooperación cuando los modos

comunican el mismo significado o cumplen la misma función. Por el contrario, se considera que la relación es de especialización cuando cada modo enriquece, de distinta manera, el significado del concepto o fenómeno abordado (Kress et al. 2001, citado en Ruiz Ortega, F.J., y Ocampo Cardona, L. A., 2019).

En cuanto a los argumentos, se considera como elementos componentes de los mismos: el componente teórico, en mención a los modelos científicos sobre sistema inmunológico y vacunación; el lógico o de justificación, conexión de las evidencias con conocimientos y teorías; el retórico, correspondiente a la intención de convencer al auditorio sobre un argumento y el uso de evidencias o pruebas de carácter científico utilizadas en los argumentos. La identificación de estos componentes da cuenta de la calidad del argumento construido.

#### *Los segmentos de significatividad*

Un segmento de significatividad es una unidad discursiva en la que se orquestan los modos semióticos y lingüísticos en pos de producir un significado sobre un concepto determinado. Este constructo está basado en el de segmentos de interactividad “expresión acuñada para designar la articulación de las actividades del profesor y de los alumnos en torno a un contenido o una tarea de aprendizaje” (Coll et al. 1992).

En este caso se reemplazó la idea de interactividad, que se considera parte del contexto situacional, por la de significatividad que corresponde a los segmentos o tramos de la clase, en los cuales se alinean los modos semióticos en el texto para lograr que los alumnos puedan otorgar un significado a los conceptos debatidos. En este estudio se determinan segmentos de significatividad incluidos en la secuencia didáctica empleada y basada en una controversia sociocientífica (CSC), vinculada con la obligatoriedad/libertad de la vacunación.

## 2. Materiales y métodos

Este trabajo propone describir las potencialidades de los medios y modos semióticos utilizados por la docente en el aula virtual y extendida para crear un ambiente de clase adecuado en función del aprendizaje significativo y el desarrollo de procesos de argumentación científica escolar. En cuanto al diseño metodológico, la presente es una investigación cualitativa de carácter interpretativo.

Los datos se relevaron a partir de:

-Entrevistas no estructuradas a la docente, que permitió conocer e interpretar las decisiones didácticas tomadas en el desarrollo de la secuencia.

-Grabación de las clases sincrónicas realizadas mediante Google Meet, que dieron cuenta del discurso multimodal empleado por la docente y del ambiente de clase generado.

-Registros provenientes del ambiente virtual del Classroom y WP empleados con el fin de expandir el aula, extendiendo el contacto con el grupo más allá de los momentos presenciales.

-Registros de argumentos y contra-argumentos tomados de las exposiciones de los estudiantes durante las clases sincrónicas y de las producciones elaboradas para la exposición, previamente revisadas por la docente.

Estos insumos fueron transcritos y analizados mediante la técnica de análisis de contenidos (Bardín, 2002). Además, se exploró el proceso comunicativo desarrollado en el ambiente virtual y de aula extendida, desde la perspectiva del análisis del discurso multimodal, lo que fue identificado en los segmentos de significatividad que se construyeron en referencia a los modelos teóricos involucrados.

El desarrollo de este trabajo implicó la puesta en marcha de una secuencia didáctica planificada para ser implementada en el tercer año de la asignatura Biología en una Escuela de la Provincia de Buenos Aires.

Se decidió el planteamiento de una CSC dado que las mismas son cuestiones polémicas a nivel social que tienen relación directa con la ciencia. Se trata de problemas socialmente relevantes, la mayoría con implicaciones éticas que no tienen una única solución o respuesta. En esta oportunidad, se definió la controversia a partir de posturas a favor o en contra de la vacunación obligatoria, tema de actual relevancia, incluso potenciada a causa de la situación de pandemia por COVID.

La secuencia se desarrolló en cuatro clases: clase 1, inicio de la propuesta de debate de controversia “pro y anti vacuna”; clase 2, construcción de marcos teóricos particulares para las argumentaciones grupales; clase 3, socialización de los marcos teóricos producidos al interior de cada grupo para completar

las argumentaciones; clase 4, escritura de los argumentos por parte de cada grupo en documentos compartidos que leen y revisan entre todos los estudiantes y la docente.

Las clases sincrónicas desarrolladas a través de la plataforma Meet cumplieron una función fundamental para la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos desarrollados, puesto que durante las mismas ocurrió la verdadera interacción entre estudiantes y estudiantes y docente. En ellas se recuperaron las producciones consignadas en el Classroom, permitiendo la aclaración de dudas y promoviendo la toma de posición sobre la controversia planteada. A través de estas acciones se promovió el verdadero aprendizaje.

Las clases asincrónicas en la plataforma Classroom fueron el soporte donde se desarrolló la propuesta de enseñanza, basada en el planteo de una controversia sociocientífica en torno a las vacunas, consignando las actividades como resolución de tareas, participación en foros y diseño de un trabajo en pequeños grupos en el que debían producirse los argumentos científicos escolares. Además, en este espacio se realizó el aporte bibliográfico y de material audiovisual seleccionado por la docente.

Como complemento de estos modos de comunicación se incluyó el uso de una mensajería instantánea, en este caso WhatsApp (WSP), la que se empleó para gestionar operativamente las actividades de la secuencia diseñada fundamentalmente en tareas de organizativas, tal como dar una indicación puntual o avisar algo a algún alumno, por ser un canal propicio para la comunicación fuera del horario de cursada. Por ello este medio aportó de manera asincrónica al segmento de significatividad "organización de la tarea". El propósito se centró en la argumentación en ciencias para que los estudiantes vivencien una

situación de debate en vistas de poder emplearla, con las adecuaciones correspondientes en sus clases. Para abordar el estudio del discurso, se reconocieron segmentos de significatividad que se definen a partir de los diversos conceptos a los que se pretendió dar significado a través del acto comunicativo entre docente-estudiantes. Se identificaron tres de ellos: la argumentación, las vacunas y la organización de la tarea (Tabla 1), los que configuran las unidades de análisis identificadas en el desarrollo de las clases. Se logró determinar los momentos en los que tuvieron lugar dichos segmentos de significatividad a lo largo de las mismas y descifrar así la trama comunicativa que define en ella la interacción que se produce entre diferentes artefactos (oralidad, textos, gestos y movimientos corporales, lenguaje escrito).

A partir de los datos volcados en la Tabla 1, se realizó un análisis comparativo entre los momentos destinados a cada segmento y la frecuencia registrada. El aporte de fuentes bibliográficas y su lectura ocurrieron en tiempos y espacios marcadamente distintos y dieron sentido al segmento de significatividad de organización de la tarea.

Se presenta a continuación la Tabla 1 donde se describen los segmentos de significatividad mencionados:

**Tabla 1.** Características de los segmentos de significatividad.

Segmento de significatividad	Aporte a la secuencia y contenidos/procedimientos asociados
Argumentación	Implica la construcción por parte de los alumnos de significados vinculados con la implementación de la argumentación en ciencias y la forma de incluirlo en el aula de Biología. Entre ellos se identificaron los siguientes conceptos y procedimientos: <i>Argumentación; Argumentación científica; Controversia socio científica; Distinción entre opiniones y argumentos; Selección y empleo de evidencias; La argumentación en la clase de Biología.</i>

Vacunas	Constituye el modelo científico en el que se basa el proceso de producción de argumentos. Entre ellos se identificaron los siguientes conceptos y procedimientos: <i>Sistema Inmunológico, células del sistema e Inmunización; Acción de las vacunas; Historia de la vacunación; Composición de las vacunas; Acción de vacunas: Sars cov 2; Ley Nacional de vacunación obligatoria Pruebas científicas sobre confiabilidad de las vacunas, organismos a cargo sobre los estudios sobre vacunación, parámetros que se consideran para comprender la eficacia de la vacuna,</i>
Organización de la tarea	Se trata de las intervenciones que realiza la docente frente a la organización de la tarea en los soportes virtuales que constituyeron el aula de clase y las actividades que desarrollan los estudiantes durante el proceso de búsqueda de materiales y producción de argumentos. Entre ellos se identificaron los siguientes conceptos y procedimientos: <i>Presentación de la controversia; Planteo de consignas; Seguimiento de consignas, plan de trabajo; Organización de grupos y materiales; Intervención en la dinámica grupal; Exposición de las temáticas indagadas por grupo y discusión sobre las mismas.</i>

### 3. Resultados y Discusión

En relación al análisis de los segmentos de significatividad presentados en la Tabla 1, el segmento “argumentación” aparece con importante frecuencia, al igual que el de “vacunación”, dado que la docente promueve la orquestación de modos discursivos en función de generar un ambiente donde la cooperación entre artefactos semióticos, favorezcan la construcción de significados, modelizaciones y conceptualizaciones en los estudiantes. La alta frecuencia del segmento “organización de la tarea” adquiere sentido por la participación docente en el diseño y conducción de la secuencia.

Por otra parte, se empleó un sistema de categorías con sus respectivas codificaciones que se presenta en la Tabla 2, en la que se contemplan tres dimensiones de análisis, atendiendo a los diferentes modos semióticos:

(D1)- Escenario espacio/temporal en el aula virtual: está conformado por los entornos virtuales. Sus categorías fueron Google Meet, Plataforma Educativa Classroom, Documentos colaborativos de Google y WP.

(D2)-Escenario de interacciones en el aula virtual: Se refiere a los procesos relacionales que se dan entre los alumnos y el docente y de los alumnos entre sí, conformando características del ambiente de clase. Entre sus categorías encontramos: Lenguaje hablado (LH), Lenguaje escrito (LE), Gestos y Movimientos corporales (GMC).

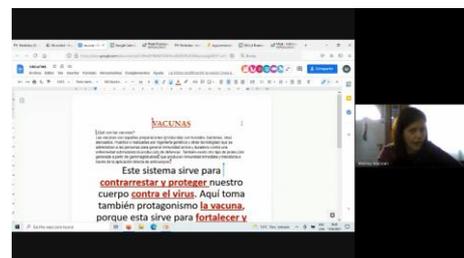
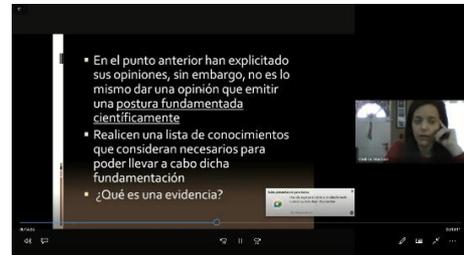
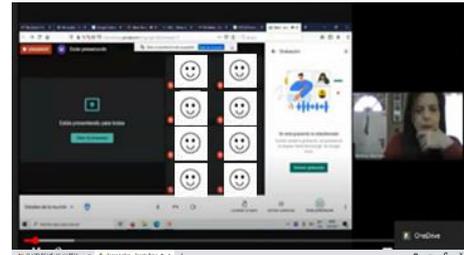
(D3)-Argumentación científica escolar: Corresponde a la constatación de la calidad de los argumentos/contra-argumentos producidos por los alumnos. Sus categorías fueron: Teórico (TE), Retórico (RE), Lógico y justificación (LO), Banco de información (BI), Uso de evidencias (EVI).

**Tabla 2.** Sistema de categorías y segmentos de significatividad.

TRAMA SEMIÓTICA	UNIDAD DE ANÁLISIS (CLASE VIRTUAL: GOOGLE MEET/CLASSROOM/GOOGLE DOCS/WP)
<b>SEGMENTO DE SIGNIFICATIVIDAD: ARGUMENTACIÓN</b>	
-Lenguaje hablado (LH) -Lenguaje escrito (LE)	-La docente gestualiza, sonríe invitando a las/los alumnos a compartir sus materiales.

-Gestos y Movimientos corporales (GMC)  
-Teórico (TE)  
-Retórico (RE)  
-Lógico y justificación (LO)  
Banco de información (BI)  
-Uso de evidencias (EVI)

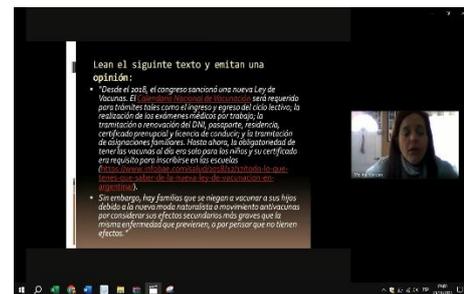
-La docente consulta “de dónde sacaron la información” para distinguir “opinión” de “datos”.  
-La docente mueve la cabeza y dice “se acuerdan que les dije que no se queden sólo con wikipedia” y les habla de la fiabilidad del google académico.  
-La docente reitera la importancia de la fuente para buscar información certera y enfatiza esto con los gestos de su rostro y mueve una mano.  
-Ejemplifica cómo usar los datos, por ejemplo, “la vacuna te puede matar” y una alumna aclara “que no hay un por qué”  
-Explica cómo dar peso (solidez) a sus argumentaciones. Gestualiza con su rostro y moviendo una mano.  
-La docente comenta que ya tienen datos, evidencias y enunciados que pueden servir para armar la argumentación según el grupo que les toque (a favor o en contra).  
-Habla de la argumentación como habilidades lingüísticas complejas que involucran explicaciones y justificaciones. Explica que se trata de enunciados deductivos.  
-Les recuerda que la intención es convencer al interlocutor.  
-La docente enfatiza que tiene que haber teoría de por medio.



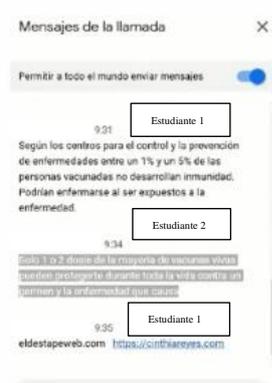
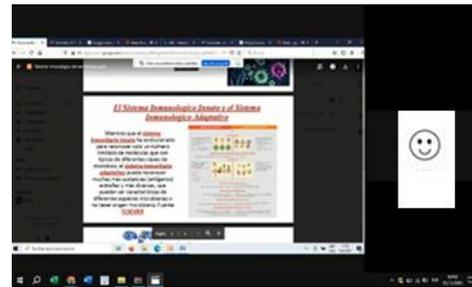
### SEGMENTO DE SIGNIFICATIVIDAD: VACUNAS

Lenguaje hablado (LH)  
-Lenguaje escrito (LE)  
-Gestos y Movimientos corporales (GMC)  
Banco de información (BI)  
-Uso de evidencias (EVI)  
-Teórico (TE)

-La docente lee un párrafo “vacunas y economía” porque una alumna dice que se le dificulta la lectura desde el celular.  
-Otra alumna lee parte del material sobre el tema cadena de frío. Continúa otra estudiante.  
-La docente interviene para aclarar la lectura de la temperatura (bajo cero) mueve sus manos.  
-Una estudiante interviene para aclarar qué es la OPS  
-Otra estudiante comentó “Según centros para el control y la prevención de enfermedades, entre un 1% y un 5 % de las personas vacunadas no desarrollan inmunidad. Podrían enfermarse si se enfrentan a la enfermedad”. Además, mencionó la página web de la cual extrajo la información.



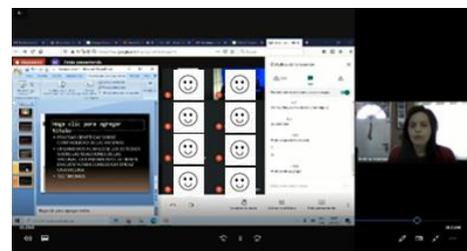
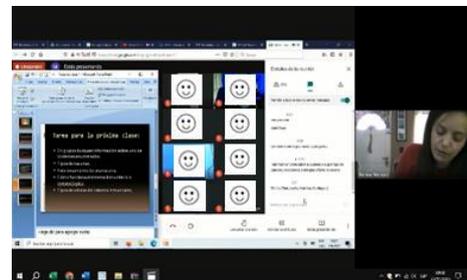
-Otra estudiante argumentó “Solo 1 ó 2 dosis de la mayoría de vacunas vivas pueden protegerte durante toda la vida contra un germen y la enfermedad que causa”.



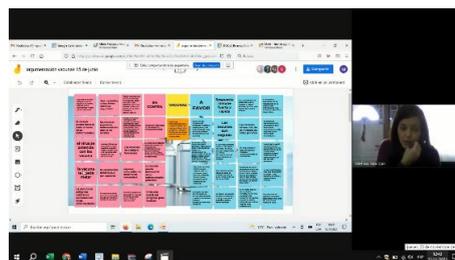
#### SEGMENTO DE SIGNIFICATIVIDAD: ORGANIZACIÓN DE LA TAREA

-Lenguaje hablado (LH)  
-Gestos y Movimientos corporales (MC)

-La docente presenta un recurso digital (Jamboard) y explica cómo intervenir con las notas rosas en contra de la vacunación y notas celestes a favor de la vacunación.  
-Los alumnos/as colocan en la pizarra algunas ideas a favor y en contra. La docente hace hincapié en las fuentes en las cuales se basan.  
-La docente muestra cómo corroborar una fuente (“El destape de la Web”) verificando que se trata de un diario digital.  
-Vuelve a mostrar cómo buscar información en el Google académico y remarca la corroboración de datos.  
-Corta dos papelitos con los nombres “vacunas y antivacunas” y le pide a su hija que saque un papel (sorteo). Queda: Burbuja A “Antivacunas” y Burbuja B “Vacunas”  
-Luego, mediante un Power Point, suma explicaciones sobre cómo argumentar científicamente.  
-Les propone a los grupos que abran un documento compartido (Google doc) con ella y que pueden discutir en la clase.  
-A los pocos minutos el grupo “vacunas” muestra sus avances en la escritura de argumentaciones.



-El Grupo "Antivacunas" comenta que tiene dificultades con el documento compartido y la docente muestra en pantalla cómo hacerlo. Una alumna es la que arma este documento siguiendo a la docente.



Nos preguntamos en este estudio sobre las potencialidades de los medios y modos semióticos utilizados por la docente en el aula virtual y extendida para crear un ambiente de clase adecuado en función del aprendizaje significativo y el desarrollo de procesos de argumentación científica escolar. Como una primera conclusión y respuesta podemos decir que ocurrió un proceso de orquestación de modos semióticos que derivaron en un proceso de semiosis sobre los contenidos alejándose del tratamiento tradicional transmisivo. La fisonomía del ambiente es claramente diferente a la del ambiente de una clase presencial. Hay una serie de elementos semióticos detallados en las tablas 1 y 2 que aportan positivamente al proceso semiótico.

El conjunto de aplicaciones utilizadas funcionó efectivamente en la gestión del ambiente del aula virtual, permitiendo que los alumnos construyan argumentos claros, fundamentados y de orden científico escolar. El Meet funcionó como la matriz del ambiente de clase sobre la que se insertaron los distintos soportes virtuales que fueron previstos por la docente en su secuencia didáctica, permitiendo a los alumnos la construcción de sus argumentos. El Classroom operó como el ámbito donde los alumnos recibían las consignas, resolvían sus debates al interior de cada grupo y disponían de un repositorio de materiales con modelos teóricos necesarios para otorgar sentido a las argumentaciones de cada grupo de trabajo. El Jamboard operó como pizarra que favoreció la socialización de los componentes argumentos para que todos los grupos puedan acceder a la información necesaria sin mayores grados de dificultad. En este mismo sentido se recurrió al Google Docs (documentos colaborativos) para la producción de lo demandado en cada actividad.

El uso de estos soportes/plataformas virtuales, como sus descripciones técnicas lo exponen, facilitan el

trabajo en colaboración. Ponen rápidamente en la discusión modelos teóricos complejos demandando a los alumnos un trabajo en grupo que sea real, es decir colaboran fuertemente en la construcción de un ambiente de clase donde el trabajo colaborativo es una constante.

Identificamos un ordenamiento en la participación de los alumnos determinado por la influencia de medios comunicacionales digitales, principalmente Meet, en los segmentos de significatividad: argumentación, vacunas y organización de la tarea. Dichos segmentos contienen un concepto central de la secuencia didáctica en torno al cual se reconoce una trama semiótica, que aporta a la construcción de un significado del modelo científico abordado (Pedrol et al, 2020). Cabe mencionar que, a causa del entorno virtual algunos de los modos semióticos, típicos de las clases presenciales no virtuales, no se han registrado.

Se reconoce la producción de argumentos científicamente válidos en los que se identifica: la solidez en la construcción y empleo de los conceptos del modelo teórico estudiado (vacunación, sistema inmunológico, tipos de respuestas inmunes, tipos de vacunas, parámetros de eficacia, entre otros), el rigor en la selección de las fuentes, la importancia de la adecuada estructura argumentativa, el uso de evidencias y pruebas, la justificación y, como menciona Adúriz (2017), la intención de convencer.

#### 4. Conclusiones

De las tres dimensiones consideradas para el análisis del ambiente de clase (escenario de la clase, interacción social en el aula entre docente y estudiantes y argumentación científica escolar) encontramos que, el escenario de la clase se desarrolla en el entorno virtual, con plataformas que incluyen una serie de recursos y herramientas (Jamboard, chat, plataformas educativas,

documentos colaborativos compartidos en el Drive, incluso el Whatsapp para avisos y agilización de la tarea) ordenan y permiten a los alumnos ser concretos en el dominio de los modelos científicos y argumentativos. Las otras dos dimensiones se ven directamente influenciadas por la dimensión escenario (D1), ya que debido a las interacciones sociales entre alumnos y docente que éste genera, se logra consistencia y densidad en los argumentos científicos construidos por los estudiantes.

En síntesis, en función de lo relevado en el ambiente de las clases virtuales, con énfasis en los modos semióticos utilizados, podemos reconocer que los estudiantes lograron:

-Identificar los hechos o los conceptos que utilizaron para la construcción de argumentos científicos escolares relacionados a favor o en contra de la vacunación.

-Adecuarse al interlocutor, en este caso compañeros del aula, que defenderán la postura contraria.

-Tener en cuenta el marco de referencia que se relaciona con el contenido biológico, específicamente la respuesta inmune.

-Establecer relaciones entre los hechos que se han de argumentar con leyes, teorías, modelos, etc.

-Seleccionar la información y modelos teóricos más adecuados avalados por fuentes confiables.

-Diferenciar las ideas personales de las que tienen valor científico.

-Defender la postura dando razones teóricas, buscando causas de procesos.

## 5. Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2017). Puentes entre la argumentación y la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias, (Extra)*, 4491-4496.
- Bardín, L. (2002). *El análisis de contenido*. 3ra. Edición. Madrid Ed. Akal.
- Coll, C. et al. (1992). Actividad conjunta y habla: una aproximación al estudio de los mecanismos de influencia educativa. *Infancia y aprendizaje*, 15 (59-60), 189-232.
- Escobar, M. R. C., Aguilar, E. E. P., Flores, Y. A. L., & Alonzo, V. E. P. (2020). Classroom y Google Meet, como herramientas para fortalecer el proceso de

enseñanza-aprendizaje. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(7), 388-405.

- Inciarte Rodríguez, M. de la E. (2004). Tecnologías de la información y la comunicación. Un eje transversal para el logro de aprendizajes significativos. *REICE, Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 2 (1), 0.
- Kress, G. y van Leeuwen, T. (2001). *Multimodal Discourse - The Modes and Media of Contemporary Communication*. Londres: Arnold.
- Kress et al. (2001). En Ruiz Ortega, F.J., y Ocampo Cardona, L. A., (2019). Relaciones de cooperación y especialización entre La argumentación y múltiples lenguajes en la clase de Ciencias. *Didacticae*, 5, 57-72.
- Lozano Rodríguez, A y otros. (2011). Uso de Google Docs como herramienta de construcción colaborativa tomando en cuenta los estilos de aprendizaje. *Revista de estilos de aprendizaje*. 2011, v. 8, n. 8, octubre; p. 23-39.
- Pedrol, H., Drewes, A., Tricárico, H. y Calderaro, A. (2015). Los ambientes de clase y su influencia sobre el proceso de argumentación científica escolar. En *Actas. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Ciencias Exactas y Naturales*. [https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.8126/ev.8126.pdf](https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.8126/ev.8126.pdf)
- Pedrol, H., Ortíz, F., Calderaro, A., & Avena, A. (2020). Argumentación multimodal en la enseñanza de la fisicoquímica. Controversia sobre el uso de protectores solares nanoparticulados. *Revista de enseñanza de la física*, 32(2), 1-10.
- Reisenegger Meissner, S. (2021). Una plataforma en línea para aula invertida. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181750>