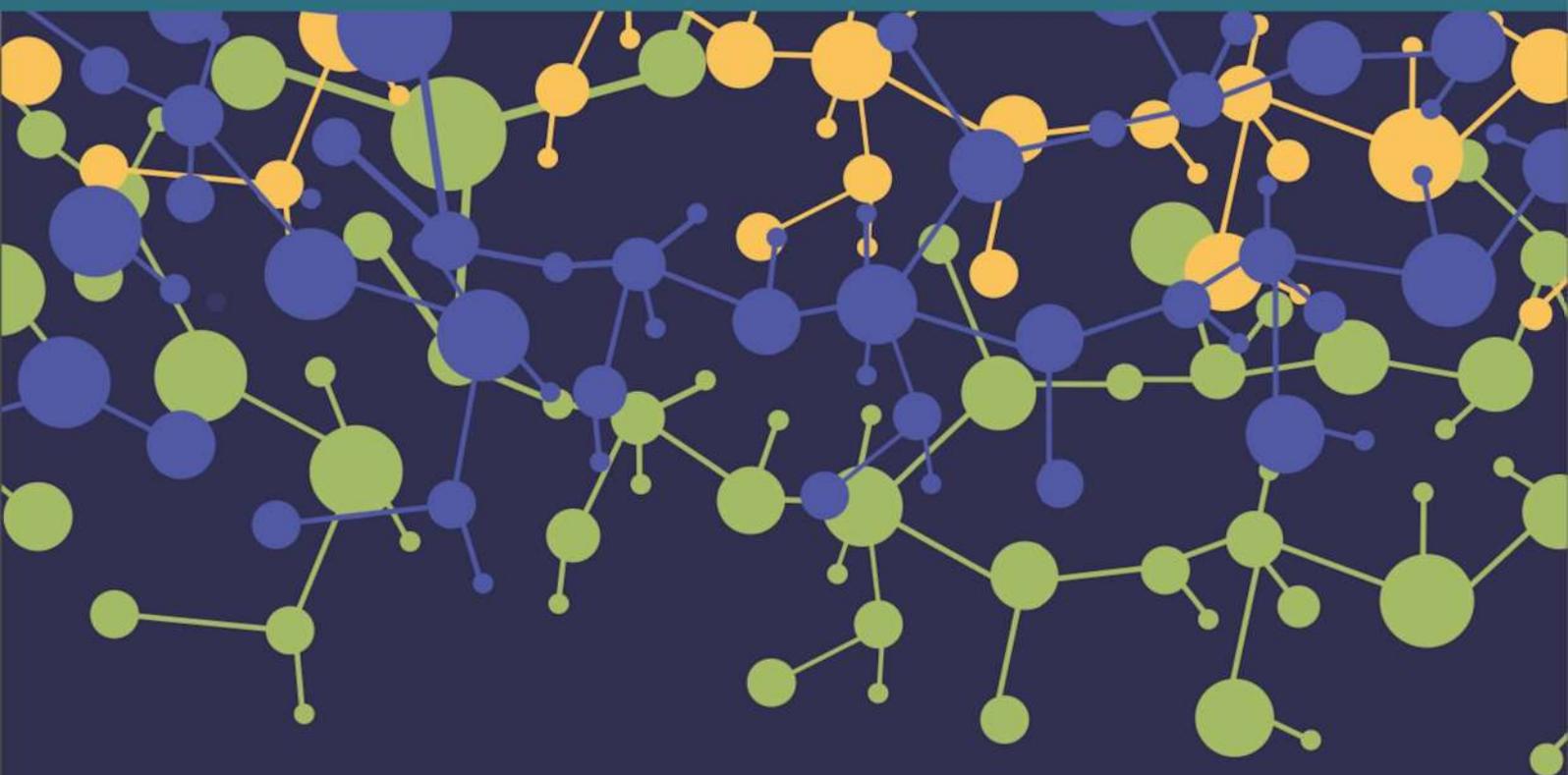


The logo for RevICAp features a stylized 'R' composed of overlapping yellow, green, and blue curved shapes.

# RevICAp

## Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ISSN 2796-9444 / Vol. 3 Num. 1 - 2022



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE CIENCIAS  
APLICADAS A LA INDUSTRIA

## INDICE

Efecto de la tecnología y condiciones de secado en el contenido de componentes bioactivos y minerales de microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	1
Métodos objetivos de estimación del contenido de azúcares añadidos en alimentos, para su declaración en la Información Nutricional Obligatoria y etiquetado frontal en Argentina.....	11
Estudio de las curvas de adsorción en una columna de lecho fijo.....	25
Proceso combinado de electrocoagulación y electro-oxidación para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera.....	31
Inactivación de una peroxidasa comercial por peróxido de hidrógeno.....	38
Educación para el desarrollo sostenible desde una visión integradora.....	45
La evaluación en la asignatura Química en FCEIA UNR durante ambos cuatrimestres 2020.....	52
Aula invertida en tiempos de convergencia tecnológica: una experiencia en Física Universitaria durante la COVID-19 en la carrera de ingeniería en informática de la Universidad de Mendoza...	57
Laboratorios remotos y virtuales: recursos para la educación en Física.....	63

# Efecto de la tecnología y condiciones de secado en el contenido de componentes bioactivos y minerales de microalga *Scenedesmus obliquus*

## Effect of drying technology and conditions on bioactive component and mineral content of microalgae *Scenedesmus obliquus*

Luz Marina Zapata<sup>1,2</sup>, Cecilia Cabrera<sup>1</sup>, Evelin Carlier<sup>1</sup>, Mercedes Rasia<sup>1</sup>, Gianella Itatí Dalzotto<sup>1</sup>,  
Sofía Carla Aumenta<sup>1</sup>, Tomás Russo<sup>1</sup>, Fiana Ayelén Schiebert<sup>1</sup>, Natalia Sacks<sup>1</sup>

1. Facultad de Ciencias de la Alimentación de la Universidad Nacional de Entre Ríos. Avenida Monseñor Tavella 1450-Concordia-3200.
2. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos (ICTAER). Avenida Monseñor Tavella 1450-Concordia-3200.

E-mail: [luzmarina.zapata@uner.edu.ar](mailto:luzmarina.zapata@uner.edu.ar)

### Resumen

Las microalgas son fuentes de nutrientes, pero se requieren tecnologías para prolongar su vida útil. Se estudió el efecto de las tecnologías de liofilización (L) y secado por atomización (SA) en componentes bioactivos y minerales de microalga *Scenedesmus obliquus*. La microalga fue cultivada en medio Allen y Arnon en fotobiorreactores de 25L. Cuando se alcanzó la fase estacionaria, las microalgas fueron cosechadas y deshidratadas por L y SA. En la L se trabajó con discos de 2cm de diámetro y espesores de 5, 20 y 20mm. En el SA se estudiaron 3 factores experimentales: material de pared (maltodextrina y gelatina), temperatura de ingreso de aire al secadero (130 y 150°C) y caudal de alimentación (6 y 9mL/min). Las variables respuesta fueron: humedad (H), carotenoides totales (CT), fenoles totales (FT) y minerales (M). En la L se logró mayor retención de los analitos de interés en los discos de microalga de 5mm de espesor; siendo H=5,98g/100g, CT=91,78mg/g, FT=30,08mg/g y M=0,04-13,24mg/g. En el SA el mejor tratamiento fue con maltodextrina, temperatura de 130°C y 6 mL/min, logrando H=6,85g/100g, CT=16,91mg/g, FT=16,87mg/g y M=0,04-13,24mg/g, dependiendo del mineral. Se concluye que con la liofilización se alcanzaron mayores concentraciones de componentes de interés, pero ambas tecnologías pueden ser consideradas para la deshidratación de microalgas.

Palabras clave: microalga, liofilización, secado por atomización.

### Abstract

Microalgae are sources of nutrients, but technologies are required to extend their useful life. The effect of lyophilization (L) and spray drying (SD) technologies in bioactive and mineral components of microalga *Scenedesmus obliquus* was studied. Microalga was cultivated in Allen and Arnon medium in 25L photobioreactors. When stationary phase was reached, microalgae were harvested and dehydrated by L and SD. In lyophilization, discs of 2cm in diameter and a thickness of 5, 20 and 20mm were utilized. In SD three experimental factors were studied: wall-material (maltodextrin and gelatin), air inlet temperature to the dryer (130 and 150°C) and feed flow (6 and 9mL/min). Response variables were: moisture (M), total carotenoids (TC), total phenols (FT) and minerals (M). Lyophilization achieved a major retention of analytes of interest in microalga discs of 5mm thickness; where M=5.98g/100g, TC=91.78mg/g, TF=30.08mg/g and M=0.04-13.24mg/g. The best spray drying treatment was with maltodextrin, at 130°C and 6mL/min, achieving H = 6.85g/100g, TC=16.91mg/g, FT=16.87mg/g and M=0.04 -13.24mg/g, depending on the mineral. In conclusion, with lyophilization higher concentrations of components of interest were reached, both technologies could be considered for the dehydration of microalgae.

Keywords: microalgae, lyophilization, spray drying.

## 1. Introducción

Las microalgas constituyen una fuente de metabolitos secundarios de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, tales como proteínas, vitaminas, antioxidantes, polisacáridos, ácidos grasos poliinsaturados, minerales (Quevedo et al., 2008; Plaza del Moral, 2010; De Marchin et al., 2015; Tramontin et al., 2018;).

Por su elevado contenido de nutrientes con propiedades beneficiosas para la salud humana, ciertas microalgas se consideran alimentos funcionales (Quevedo et al., 2008), que son de interés en la industria alimentaria. Varios estudios han reportado que bajo diferentes condiciones de estrés las microalgas producen compuestos bioactivos como un mecanismo de protección celular (Dammak et al., 2018).

Estudios realizados con microalgas han atraído la atención de las industrias farmacéutica y de alimentos debido a su alto contenido de compuestos bioactivos. Sin embargo, su alto contenido de humedad contribuye a la degradación de estos compuestos y hace que las microalgas sean muy perecederas (Silva et al., 2019). Por lo tanto, se debe emplear alguna técnica de preservación como el secado, que facilite el almacenamiento prolongado y el fácil transporte desde los sitios locales de producción de microalgas a las plantas de procesamiento (Costa et al., 2016).

La liofilización es un proceso de secado utilizado en la industria de los alimentos, farmacéutica y biotecnológica, con el fin de estabilizar y conservar productos, reduciendo así las pérdidas de compuestos lábiles en virtud de que es una tecnología que trabaja a muy bajas temperaturas. El proceso consiste en una congelación del material de interés, seguida de la sublimación del hielo a presión subatmosférica (Cortés et al., 2015).

El secado por atomización también es una técnica ampliamente utilizada en la industria alimentaria, que consiste en la formación de gotas pequeñas dentro de la cámara de secado, la que se encuentra a elevada temperatura, dando lugar a la formación de polvo en donde se encuentran microencapsulados los analitos de interés (Cardona-Tangarife, et al., 2021). Este proceso se compone de cuatro pasos básicos: i) atomización, ii) contacto entre gotas y aire caliente, iii) evaporación de agua y iv) separación aire-polvo. (Sagar y Suresh-Kumar, 2010). Se caracteriza por ser una técnica rápida, altamente reproducible, apropiada para aplicaciones industriales y cuyos costos de procesamiento son

relativamente bajos (Desai y Park, 2005). En el secado por atomización se suelen utilizar materiales de pared, como maltodextrina, goma arábica, gelatina, entre otros, que sirven como protección de los analitos de interés; tales como los de la presente investigación, carotenoides, compuestos fenólicos y minerales (Bonilla-Ahumada et al., 2018). Referido a la temperatura de trabajo algunos autores señalan que el secado por atomización es una técnica que tiene la capacidad de evaporar la humedad rápidamente y que mantiene una temperatura baja en las partículas de interés (Cardona-Tangarife, et al., 2021), otros mencionan que el deterioro por altas temperaturas en el producto es relativamente pequeño debido a los cortos tiempos de procedimiento (Cortés-Rojas et al., 2015; Campelo et al., 2018), mientras que hay publicaciones que indican que la principal desventaja es el empleo de elevadas temperaturas necesarias en el proceso de evaporación del solvente, las cuales pueden afectar los analitos que se desean preservar (Desai y Park, 2005).

Por tal motivo es que se considera que deben realizarse estudios para cada matriz particular para conocer el efecto de tecnologías y variables de secado en los compuestos bioactivos de interés.

El objetivo de la investigación fue estudiar el efecto de las tecnologías de liofilización y secado por atomización en los componentes bioactivos y minerales presentes en microalga *Scenedesmus obliquus*.

## 2. Materiales y métodos

### *Microalga y obtención de cultivo*

Se trabajó con microalga autóctona de la provincia de Entre Ríos (Argentina) *Scenedesmus obliquus* aislada por el grupo de investigación del Embalse Salto de Grande a 30° 59' 19,07'' de latitud sur y 57° 54' 19,24'' de latitud oeste (Jimenez-Veuthey et al., 2018). La microalga fue cultivada en medio Allen y Arnon modificado en fotobiorreactores de 25 L (Figura 1) dentro de cámara de cultivo a 25 ± 1 °C, 55-60 % HR y fotoperíodo luz:oscuridad donde la irradiancia se fue modificando según se señala a continuación: 8,75  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$  – 2 h; 17,50  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$  – 3 h; 26,25  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$  – 6 h; 17,50  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$  – 3 h, 8,75  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$  – 2 h y oscuridad 8 h.

Para mantener el cultivo de manera homogénea se colocó aireación continua en cada fotobiorreactor utilizando un compresor (GAST, 3HBE-31T-M303X) cuya función fue enviar aire a través de tubería de 4 mm de diámetro interior y 6 mm de

diámetro conectada a una válvula de 6 mm. La inyección de aire fue de 0,78 Laire/(min Lcultivo).



**Figura 1.** Cultivo de microalga *Scenedesmus obliquus* en fotobiorreactores de 25 L.

Para conseguir un medio de cultivo con elevada concentración de microalgas y lograr mayor concentración de componentes bioactivos el día 18 de cultivo se incorporó al medio de cultivo 0,24 g/L de úrea y 5,02 g/L de acetato de sodio como fuentes de nitrógeno y carbono. El día 35 comenzó la fase estacionaria y en el día 40 se procedió a la concentración del cultivo microalgal. Para ello se agregó una solución de quitosano al 0,8 % acidificada con ácido acético al 1 % con el fin de provocar la floculación de las microalgas y obtener un cultivo microalgal concentrado.

#### *Secado por liofilización*

El cultivo microalgal concentrado se centrifugó y las microalgas fueron recolectadas para llevar a cabo el secado por liofilización. La biomasa microalgal se moldeó en cilindros de 2 cm de diámetro y en espesores de 5, 10 y 20 mm. Los cilindros fueron congelados en freezer doméstico y liofilizados en liofilizador (HETO DRYWINER) a -90 °C hasta peso constante. A continuación se cuantificaron: fenoles totales, carotenoides totales, minerales y humedad.

#### *Secado por atomización*

Material de pared. El cultivo microalgal concentrado fue mezclado con material de pared previo a la etapa de secado y el conjunto se mantuvo en fotobiorreactores durante 24 h. Se trabajó con dos materiales de pared: maltodextrina (20 %) y gelatina (2 %).

Secado por atomización. La deshidratación de la biomasa se realizó por secado por atomización en Mini Spray Dryer (Büchi Labortechnik AG, Modelo: B-290) (Figura 1).



**Figura 2.** Secado por atomización de microalga *Scenedesmus obliquus* en Mini Spray Dryer (Büchi Labortechnik AG, Modelo: B-290).

En el secado por atomización se llevaron a cabo 12 tratamientos según se señala a continuación.

- 1) M-150°C-6. Material de pared: 20 % de maltodextrina, temperaturas del aire de entrada: 150 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min. La temperatura de salida estuvo determinada por la temperatura y caudal antes mencionados. Para este tratamiento la temperatura de salida fue 85 °C.
- 2) M-150°C-9. Material de pared: 20 % de maltodextrina, temperaturas del aire de entrada: 150 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 75 °C.
- 3) M-130°C-6. Material de pared: 20 % de maltodextrina, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min, temperatura de salida: 73 °C.
- 4) M-130°C-9. Material de pared: 20 % de maltodextrina, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 58 °C.
- 5) G-150°C-6. Material de pared: 2 % de gelatina, temperaturas del aire de entrada: 150 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min, temperatura de salida: 85 °C.
- 6) G-150°C-9. Material de pared: 2 % de gelatina, temperaturas del aire de entrada:

- 150 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 75 °C.
- 7) G-130°C-6. Material de pared: 2 % de gelatina, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min, temperatura de salida: 73 °C.
  - 8) G-130°C-9. Material de pared: 2 % de gelatina, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 58 °C.
  - 9) 150°C-6. Biomasa microalgal sin material de pared, temperaturas del aire de entrada: 150 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min, temperatura de salida: 85 °C.
  - 10) 150°C-9. Biomasa microalgal sin material de pared, temperaturas del aire de entrada: 150 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 75 °C.
  - 11) 130°C-6. Biomasa microalgal sin material de pared, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 6 mL/min, temperatura de salida: 73 °C.
  - 12) 130°C-9. Biomasa microalgal sin material de pared, temperaturas del aire de entrada: 130 °C, caudal de alimentación: 9 mL/min, temperatura de salida: 58 °C.

La presión de pulverización se mantuvo constante en 45 bar.

En el material microencapsulado en cada tratamiento se cuantificó la humedad, concentración de carotenoides totales, fenoles totales y minerales.

#### *Técnicas analíticas*

**Fenoles Totales.** Se cuantificaron mediante el método que consiste en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu (Copia et al., 2012; Zia y Alibas, 2021). Este reactivo es una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se reduce al oxidar los compuestos fenólicos de la muestra originando óxidos azules de wolframio (W8O23) y molibdeno. Se midió la absorbancia del color azul desarrollado a 760 nm en espectrofotómetro HACH, DR-6000. La curva de calibrado se construyó tomando como referencia estándar de ácido gálico. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/g<sub>ms</sub> (ms: materia seca).

**Carotenoides totales.** Por Espectroscopía con espectrofotómetro HACH, DR-6000 midiendo la absorbancia a 480 nm (Lira et al., 2017; Arredondo-Vega et al., 2007). Se construyó curva de calibrado

con β-caroteno. Los resultados se expresaron en mg β-caroteno/gms.

**Minerales (Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Hierro, Zinc y Manganeso):** Previo a la cuantificación de minerales la biomasa deshidratada fue digerida. Para ello a 2 g de biomasa deshidratada y se mezcló con 10 mL de ácido nítrico 70%, se llevó a cabo la digestión en plataforma de reacción por microondas (ANTON PAAR, MULTIWAVE PRO). A continuación se llevó a volumen con agua bidestilada y se inyectó en Espectrómetro de Emisión Atómica de Plasma (Agilent, 4200 MP-AES) (Normas APHA-Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 3111). Para cada mineral se utilizaron estándares AccuTrace. Los resultados se expresaron en mg/ kg<sub>ms</sub>.

**Humedad.** Según metodología AOAC. Para ello 1 g de muestra será calentada a 105 °C hasta obtener peso constante. Los resultados se expresaron en g/100g.

#### *Análisis estadístico*

Los resultados se analizaron estadísticamente con software STATGRAPHICS® Centurión XVI mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (P < 0,05).

### **3. Resultados y Discusión**

#### *Cultivo microalgal concentrado*

Las microalgas en la fase estacionaria alcanzaron una densidad celular de  $3,2 \times 10^7$  células/mL. A los 40 días de cultivo se efectuó la etapa de coagulación de las microalgas con quitosano para lograr un medio con mayor concentración de microalgas al momento de efectuar la etapa de secado.

Luego de 5 min de agregado el quitosano se produjo la floculación y las microalgas se localizaron en mayor proporción en la parte superior de los fotobiorreactores, por lo que se extrajo parte del medio de cultivo con menor proporción de microalga quedando los fotobiorreactores con medio de cultivo con una concentración mayor de microalgas. Así, la proporción de microalgas frescas pasó de 1% a 10 % en el medio de cultivo. El medio de cultivo con menor concentración de microalgas se colocó en otros fotobiorreactores para continuar con el cultivo de microalgas.

### Secado por liofilización

La apariencia de la biomasa microalgal liofilizada se puede observar en la Figura 3. El tiempo de secado fue de 20, 32 y 48 h para los cilindros de 5, 10 y 20 mm de espesor; respectivamente. En este tiempo no se tuvo en cuenta el tiempo correspondiente a la congelación.



**Figura 3.** Microalga *Scenedesmus obliquus* deshidratada por liofilización.

El contenido de componentes bioactivos y de minerales varió según el espesor de los cilindros de biomasa microalgal según se muestra en la Tabla 1. La concentración de carotenoides totales para los cilindros de 5 mm de espesor fue 1,7 veces más elevada que para los cilindros de 10 y 20 mm; mientras que el contenido de fenoles totales en dichos cilindros fue 14 veces superior que los fenoles totales presentes en los cilindros de 10 mm y 38 veces más alta que la obtenida para los cilindros de 20 mm.

**Tabla 1.** Contenido de componentes bioactivos y minerales en discos de microalga liofilizada.

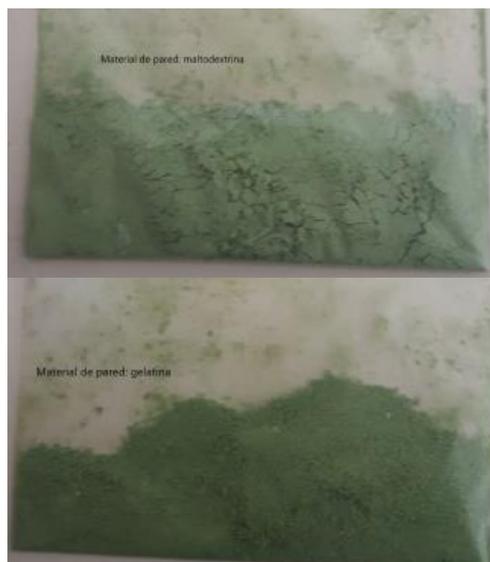
Componente	Espesor 5 mm	Espesor 10 mm	Espesor 20 mm
Humedad, g/100 g	5,98±0,61 <sup>a</sup>	6,20±0,68 <sup>a</sup>	6,31±0,65 <sup>a</sup>
Carotenoides totales, mg β-caroteno/g <sub>ms</sub>	91,75±8,16 <sup>a</sup>	53,09±5,33 <sup>b</sup>	52,49±3,83 <sup>b</sup>
Fenoles totales, mg EAG/g <sub>ms</sub>	30,08±2,45 <sup>a</sup>	2,14 <sup>c</sup> , 20 <sup>b</sup>	0,79±0,06 <sup>c</sup>
Sodio, mg/g <sub>ms</sub>	13,24±0,01 <sup>a</sup>	9,30±0,01 <sup>b</sup>	13,27±0,01 <sup>a</sup>
Potasio, mg/g <sub>ms</sub>	9,54±0,01 <sup>b</sup>	10,19±0,10 <sup>a</sup>	9,58±0,01 <sup>b</sup>
Calcio, mg/g <sub>ms</sub>	3,38±0,02 <sup>b</sup>	3,10±0,08 <sup>b</sup>	4,17±0,04 <sup>a</sup>
Magnesio, mg/g <sub>ms</sub>	1,95±0,01 <sup>a</sup>	1,86±0,02 <sup>b</sup>	1,74±0,05 <sup>c</sup>
Hierro, mg/g <sub>ms</sub>	0,80±0,04 <sup>b</sup>	1,07±0,10 <sup>a</sup>	0,69±0,01 <sup>c</sup>
Zinc, mg/g <sub>ms</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>b</sup>

En cuanto al contenido mineral, si bien hubo diferencias para los distintos espesores, estas diferencias no fueron tan importantes como para los compuestos carotenoides y fenólicos.

En términos generales se puede señalar que cuanto menor fue el espesor de los cilindros mayor fue contenido de los analitos de interés.

### Secado por atomización

En la Figura 4 se puede observar los polvos de biomasa microalgal obtenidos para diferentes tratamientos. Los materiales encapsulados con maltodextrina tuvieron una coloración ligeramente verdosa y los encapsulados con gelatina, una tonalidad verdosa.



**Figura 4.** Microalga *Scenedesmus obliquus* microencapsulada con maltodextrina (izquierda) y gelatina (derecha) como materiales de pared.

Los tiempos de secado con esta tecnología fueron muy cortos. Los tratamientos llevados a cabo a 130 °C tuvieron un tiempo de retención del producto en el secadero de 7 s y a 150 °C, 10 s.

### Humedad

El contenido de humedad cuando se trabajó con 20 % de maltodextrina como material de pared estuvo comprendido entre 5,88 y 9,65 g/100 g y cuando se usó 2 % de gelatina, entre 8,00 y 24,60 g/100 g (Tabla 2). No se observaron diferencias significativas entre los valores medios de contenido de humedad de los tratamientos M-150 °C -6, M-150 °C-9 y M-130 °C -6 como tampoco entre M-130 °C -9 y G-130 °C -9; entre las medidas de los demás tratamientos se obtuvieron diferencias significativas.

Con maltodextrina el tratamiento que consistió en una menor temperatura de entrada de aire al secadero y mayor caudal de alimentación (M-130 °C-9) fue el que mostró más elevado contenido de humedad, alcanzando los

9,65 ± 0,42 g/100 g; mientras que los tratamientos que consistieron en temperatura de secado más elevada o menor caudal tuvieron una humedad entre 5,88 y 6,85 g/100 g. Este fenómeno fue informado por Bonilla-Ahumada et al. (2018) argumentando que la humedad relativa de los productos microencapsulados disminuye a medida que aumenta la temperatura de secado. Con 2 % de gelatina los tratamientos que consistieron en un caudal de alimentación de 6 mL/min tuvieron valores muy elevados de humedad, 24,60 ± 1,15 g/100 g para el caso de G-150 °C -6 y 17,43 ± 0,80 para G-130 °C -6. En G-150 °C -9 se obtuvo el valor más bajo de humedad (8,00 ± 0,66 g/100g).

**Tabla 2.** Contenido de humedad y de componentes bioactivos en biomasa de microalga *Scenedesmus obliquus* deshidratada por atomización.

Tratamiento	Humedad g/100g	Carotenoides totales mg/g <sub>ms</sub>	Fenoles totales mg/g <sub>ms</sub>
M-150°C-6	5,93±0,27 <sup>a</sup>	14,88±0,45 <sup>a</sup>	14,11±0,73 <sup>a</sup>
M-150°C-9	5,88±0,21 <sup>a</sup>	17,13±1,20 <sup>b</sup>	7,23±0,28 <sup>b</sup>
M-130°C-6	6,85±0,43 <sup>a</sup>	16,91±1,02 <sup>bc</sup>	16,87±0,85 <sup>c</sup>
M-130°C-9	9,65±0,42 <sup>b</sup>	19,06±0,62 <sup>c</sup>	14,87±0,91 <sup>a</sup>
G-150°C-6	24,60±1,15 <sup>c</sup>	19,23±0,91 <sup>c</sup>	0,88±0,06 <sup>d</sup>
G-150°C-9	8,00±0,66 <sup>d</sup>	19,28±0,95 <sup>c</sup>	3,41±0,18 <sup>b</sup> <sup>e</sup>
G-130°C-6	17,43±0,80 <sup>e</sup>	17,96±0,74 <sup>bc</sup>	8,13±0,84 <sup>b</sup>
G-130°C-9	9,06±0,36 <sup>b</sup>	23,98±0,96 <sup>d</sup>	4,65±0,15 <sup>f</sup>
150°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
150°C-9	26,85±2,15 <sup>f</sup>	49,48±1,97 <sup>e</sup>	3,06±0,17 <sup>e</sup>
130°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
130°C-9	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		

Referido al material de pared, con maltodextrina la biomasa microalgal deshidratada tuvo menor contenido de humedad que con gelatina, con excepción de los tratamientos M-130 °C -9 y G-130 °C -9; que no tuvieron diferencias significativas. La mayor humedad en los tratamientos con gelatina fue atribuida a que la solubilidad de la gelatina en agua es afectada por la temperatura. En agua fría la gelatina es relativamente insoluble, mientras que en agua caliente solubiliza fácilmente. Por lo que el mayor contenido de humedad en la biomasa de microalga microencapsulada con gelatina, especialmente en el tratamiento G-150 °C-6 fue atribuido a la mayor hidratación de este material de pared durante el secado por atomización.

Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos por Bonilla-Ahumada et al. (2018), quienes obtuvieron menor humedad en la microalga *Tetraselmis chuii* deshidratada cuando utilizaron como material de pared maltodextrina:goma arábica (60:40) que cuando utilizaron gelatina. Estos autores justificaron sus resultados señalando que la gelatina al ser una proteína es insoluble en agua, por lo que durante el secado ésta no retiene tanta humedad como los carbohidratos.

### Carotenoides totales.

Cuando se utilizó maltodextrina como material de pared el contenido de carotenoides totales en las microalgas deshidratadas estuvo comprendido entre 14,88 y 19,06 mg β-caroteno/gms, observándose diferencias significativas entre todos los tratamientos, excepto entre M-150 °C -9 y M-130 °C -6 (Tabla 2).

Tanto para la temperatura del aire de entrada al secadero de 150 °C como para 130 °C la concentración de carotenoides totales fue superior al caudal de alimentación de 9 mL/min; mientras que para un mismo caudal de alimentación el contenido de este componente bioactivo fue superior a la menor temperatura de trabajo.

Se puede ver en la tabla que el tratamiento M-130°C-9 fue con el que se obtuvo mayor concentración de carotenoides totales. Sin embargo, de los tratamientos con maltodextrina este fue el que dio como producto una biomasa microalgal deshidratada con mayor contenido de humedad (9,65 ± 0,42 g/100g). Desde el punto de vista de la vida útil del producto es de interés lograr menores contenidos de humedad, por lo que los tratamientos M-150 °C -9 y M-130 °C-6 serían mejores ya que se lograron biomásas deshidratadas con 5,88 ± 0,21 y 6,85 ± 0,43 g/100 g de humedad y concentraciones de carotenoides totales de 17,13 ± 1,20 y 16,91 ± 1,02 mg β-caroteno/gms; respectivamente.

Cuando el material de pared consistió en gelatina el rango de variación de carotenoides totales estuvo comprendido entre 17,96 y 23,98 mg β-caroteno/gm. Se encontró diferencias estadísticas significativas entre las medias de carotenoides totales de los tratamiento G-130°C-9 y las medias de los demás tratamientos; sin embargo, no hubo diferencias entre las concentraciones de los tratamientos G-150°C-6, G-150°C-9 y G-130°C-6.

Para este material de pared el contenido de carotenoides totales se conservó mejor cuando el secado se llevó a cabo con 2 % de gelatina, temperatura de entrada de aire al secadero de 130 °C y caudal de alimentación de 9 mL/min; logrando 23,98 ± 0,96 mg β-caroteno/gms y una humedad de 9,06 ± 0,36 g/100 g. Esta humedad podría ser elevada desde el punto de vista de la caducidad del producto. Para los tratamientos con gelatina, la biomasa deshidratada con menor humedad se logró con el tratamiento G-150 °C -9 con 8,00 ± 0,66 g/100g de humedad y 24 % menos de carotenoides que el tratamiento G-150 °C -9.

Para las mismas condiciones de temperatura y caudal y diferente material de pared, el contenido de carotenoides totales fue superior cuando se utilizó 2 % de gelatina, con excepción del tratamiento G-130 °C -6 que no tuvo diferencias significativas con M-130 °C -6. En los tratamientos G-150 °C-6, G-150 °C-9 y G-130 °C-9 los contenidos de carotenoides totales fueron respectivamente superiores en un 29 %, 13 % y 26 % respecto de los tratamientos en los que se utilizaron 20 % de maltodextrina. Estos porcentajes fueron atribuidos a que al incorporar 20 % de maltodextrina al cultivo de microalga para llevar a cabo el secado por atomización, este material de pared tuvo un efecto diluyente en el contenido de carotenoides totales; puesto que si se compara con la gelatina ésta fue incorporada en un 2 % en el medio de cultivo. Por lo tanto, los resultados se interpretaron que tanto la maltodextrina como la gelatina tuvieron aproximadamente el mismo efecto de protección en los carotenoides totales.

Se mencionó en la metodología que también se realizó el secado por atomización de la biomasa microalgal sin utilizar material de pared. Sin embargo, el proceso presentó muchas dificultades ya que la biomasa deshidratada se pegó tanto en el cilindro de pulverización como en el ciclón de separación. Únicamente a 150 °C y 9 mL/min se obtuvo escasa cantidad de biomasa deshidratada en el vaso de recolección, en los demás tratamientos en los que no se utilizó material de pared la biomasa deshidratada recolectada fue despreciable. En estas condiciones el contenido de carotenoides totales fue  $49,48 \pm 1,97$  mg  $\beta$ -caroteno/gms y la humedad  $26,85 \pm 2,15$  g/100 g. Si bien el contenido de carotenoides totales fue superior a los obtenidos con maltodextrina y gelatina se considera que es inviable la deshidratación sin la incorporación de material de pared por las dificultades tecnológicas y por el elevado contenido de humedad del producto obtenido.

#### *Fenoles totales*

Con referencia al estudio de fenoles totales las matrices de encapsulación fueron afectadas por la temperatura de entrada y por el caudal de la bomba, observándose diferencias significativas en las medias de estos componentes para todos los tratamientos estudiados.

Cuando se utilizó maltodextrina el rango de variación fue entre 7,23 y 16,87 mg EAG/gms. Estos componentes bioactivos a las dos temperaturas estudiadas se conservaron mejor cuando el caudal de alimentación fue 6 mL/min; mientras que, al igual para carotenoides totales, para un mismo caudal el contenido de fenoles

totales fue superior a la temperatura de 130 °C (Tabla 2). Por lo tanto el mejor tratamiento fue M-130°C-6, con una concentración de fenoles totales de  $16,87 \pm 0,85$  mg EAG/gms. La biomasa deshidratada tuvo un contenido de humedad de  $6,85 \pm 0,43$  g/100 g.

Los fenoles totales variaron entre 0,88 y 8,13 mg EAG/gms cuando el material de pared fue gelatina. Estos componentes también se conservaron mejor a 130 °C. Sin embargo, el efecto del caudal de la bomba no fue el mismo para las temperaturas estudiadas; puesto que a 150 °C la mayor retención de fenoles totales se logró para un caudal de 9 mL/min y a 130 °C, para un caudal de 6 mL/min. El tratamiento con gelatina con el que se obtuvo mayor concentración de compuestos fenólicos fue G-130 °C -6, logrando  $8,13 \pm 0,84$  mg EAG/gms. El contenido de humedad de la biomasa deshidratada fue elevado, alcanzando el valor de  $17,43 \pm 0,80$  g/100 g. Este contenido de humedad fue 2,5 veces superior al tratamiento con maltodextrina M-130°C-6 que posibilitó obtener la concentración más alta de fenoles totales en la biomasa microalgal deshidratada.

Si se comparan los materiales de pared para las mismas condiciones de temperatura y caudal, con 20 % de maltodextrina se consiguió mayor protección de los compuestos fenólicos que con 2 % de gelatina. Con este último material de pared, en el tratamiento G-150 °C -6 se logró conservar solo un 6% de los fenoles totales que se conservaron en M-150 °C -6, en G-150 °C -9 se conservaron 47 % de los fenoles logrados en M-150 °C -9, en G-130 °C -6, el 48 % respecto de M-130 °C -6 y en G-130 °C -9, el 31 % respecto de M-130 °C -9. Es decir, que aun incorporando una proporción de maltodextrina superior a la de gelatina, el contenido de fenoles totales fue superior; por lo que en este caso se interpretó que la maltodextrina tuvo un efecto protector superior al de la gelatina sobre los compuestos fenólicos presentes en la biomasa de *Scenedesmus obliquus*.

En el secado por atomización de la biomasa microalgal sin material de pared llevado a cabo a 150 °C y 9 mL/min la concentración de fenoles totales fue  $3,06 \pm 0,17$  mg EAG/gms, valor casi 6 veces más bajo que la concentración más alta de fenoles totales, alcanzada con el tratamiento M-130 °C-6; lo que confirma que la maltodextrina ejerció un efecto protector sobre estos componentes bioactivos. De lo expuesto se puede señalar que en la concentración de compuestos fenólicos influyeron los 3 factores estudiados: el material de pared, el caudal de alimentación de la bomba y la temperatura del aire de secado. Estos resultados no

son coincidentes con los obtenidos por Bonilla-Ahumada et al. (2018), quienes al estudiar la influencia del proceso de secado por aspersión de la microalga *Tetraselmis chuii* concluyeron que las variaciones de temperatura durante la microencapsulación no mostraron ningún efecto sobre la cantidad de compuestos fenólicos medidos como equivalente de ácido gálico.

### Minerales

Se mencionó anteriormente que en los tratamientos donde no se utilizó material de pared el secado no fue posible, salvo para el tratamiento de temperatura de aire de ingreso al secadero de 150 °C y caudal de la bomba de 9 mL/min. En estas condiciones el contenido mineral fue superior al de los tratamientos en los que se utilizó material de pared (Tabla 3). Sin embargo, sin material de pared la cantidad de microalga deshidratada obtenida fue escasa ya que todo el polvo quedó adherido a las paredes del secadero. Adicionalmente, es importante señalar que los minerales pueden experimentar reacciones durante el almacenamiento que comprometen su biodisponibilidad (antiminerales o quelantes) y la estabilidad de los alimentos que los contienen. La encapsulación, mediante secado por aspersión, para desarrollar formulaciones en polvo pueden incrementar la vida útil de sales minerales durante el almacenamiento (Cardona-Tangarife et al., 2012).

**Tabla 3.** Contenido mineral en biomasa de microalga *Scenedesmus obliquus* deshidratada por atomización.

Tratamiento	Sodio mg/g <sub>ms</sub>	Potasio mg/g <sub>ms</sub>	Calcio mg/g <sub>ms</sub>
M-130°C-6	11,52±0,27 <sup>a</sup>	5,53±0,03 <sup>a</sup>	0,71±0,06 <sup>a</sup>
M-130°C-9	11,16±0,13 <sup>a</sup>	5,27±0,01 <sup>a</sup>	0,59±0,01 <sup>b</sup>
M-150°C-6	11,90±0,03 <sup>a</sup>	5,82±0,02 <sup>a</sup>	0,80±0,01 <sup>a</sup>
M-150°C-9	11,63±0,10 <sup>a</sup>	5,45±0,03 <sup>a</sup>	0,42±0,04 <sup>c</sup>
G-130°C-6	45,39±0,71 <sup>b</sup>	12,04±0,11 <sup>b</sup>	3,31±0,11 <sup>d</sup>
G-130°C-9	45,32±0,64 <sup>b</sup>	12,09±0,08 <sup>b</sup>	3,14±0,02 <sup>d</sup>
G-150°C-6	45,99±0,27 <sup>b</sup>	12,45±0,10 <sup>b</sup>	3,30±0,09 <sup>d</sup>
G-150°C-9	47,81±0,26 <sup>c</sup>	11,92±0,05 <sup>c</sup>	3,11±0,05 <sup>d</sup>
150°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
150°C-9	12,89±0,09 <sup>d</sup>	9,65±0,09 <sup>d</sup>	2,33±0,01 <sup>e</sup>
130°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
130°C-9	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
Tratamiento	Magnesio mg/g <sub>ms</sub>	Hierro mg/g <sub>ms</sub>	Zinc ×10 <sup>-3</sup> mg/g <sub>ms</sub>
M-130°C-6	0,42±0,01 <sup>a</sup>	0,12±0,01 <sup>a</sup>	3,16±0,11 <sup>ab</sup>
M-130°C-9	0,38±0,01 <sup>b</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>	2,81±0,09 <sup>a</sup>
M-150°C-6	0,44±0,01 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>	2,94±0,13 <sup>a</sup>
M-150°C-9	0,44±0,04 <sup>a</sup>	0,14±0,01 <sup>a</sup>	3,27±0,12 <sup>b</sup>
G-130°C-6	1,73±0,01 <sup>c</sup>	0,49±0,03 <sup>b</sup>	5,64±0,08 <sup>c</sup>
G-130°C-9	1,67±0,02 <sup>d</sup>	0,49±0,01 <sup>b</sup>	5,71±0,08 <sup>c</sup>
G-150°C-6	1,79±0,15 <sup>c</sup>	0,47±0,03 <sup>b</sup>	5,02±0,17 <sup>c</sup>
G-150°C-9	1,67±0,12 <sup>d</sup>	0,53±0,01 <sup>c</sup>	6,09±0,06 <sup>d</sup>
150°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
150°C-9	1,99±0,01 <sup>e</sup>	1,51±0,01 <sup>d</sup>	33,52±0,27 <sup>e</sup>
130°C-6	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		
130°C-9	Sin material de pared, en estas condiciones no fue posible el secado.		

Cuando se utilizó maltodextrina como material de pared el contenido mineral fue inferior que cuando se trabajó con gelatina, pero al igual que para carotenoides totales, esto fue atribuido al efecto diluyente de la maltodextrina al adicionarla en un 20 % en el cultivo microalgal. Adicionalmente, en términos generales se puede observar en la Tabla 3 que para un mismo material de pared el contenido de cada mineral fue sin diferencias significativas, o bien, hubo pequeñas variaciones; por lo que la temperatura del aire al ingreso del secadero y el caudal de alimentación de la bomba no fueron factores determinantes en el contenido mineral.

Los contenidos de sodio en las microalgas correspondientes a los tratamientos con maltodextrina, a la microalga secada por aspersión sin material de pared y a la microalga liofilizada fueron comparables. Sin embargo, en el secado por atomización con gelatina como material de pared este mineral fue 4 veces superior debido a la presencia en la gelatina de 4,6 mg de sodio /g.

Tomando como referencia la biomasa microalgal liofilizada en discos de 2 cm de diámetro y 5 mm de espesor, la retención de potasio en la biomasa deshidratada utilizando maltodextrina fue 57 %, de calcio, 21 %; magnesio, 22 %; hierro y 16 %; zinc. La retención de minerales con el material de pared gelatina fue 57 % de potasio, 100 % de calcio, 92 % de magnesio, 62 % de hierro y 14 % de zinc. El potasio en la biomasa encapsulada con gelatina fue 1,25 veces mayor que el material liofilizado, lo que fue atribuido a que la gelatina contiene 1 mg/g de este mineral.

### 4. Conclusiones

Las tecnologías de secado estudiadas para la deshidratación de cultivo de microalga *Scenedesmus obliquus* influyeron en el contenido de humedad, componentes bioactivos y minerales presentes en la microalga deshidratada. La concentración de los analitos de interés en la liofilización varió según el espesor de los discos de biomasa deshidratada, logrando la mayor retención de compuestos carotenoides y fenólicos para espesores de 5 mm; mientras que este último factor no influyó en el contenido mineral. Referido al secado por atomización influyeron los 3 factores experimentales estudiados: material de pared, temperatura de ingreso de aire al secadero y caudal de alimentación. El tratamiento que permitió obtener biomasa microalgal deshidratada de baja humedad y mayor concentración de componentes bioactivos fue con material de pared maltodextrina, temperatura de ingreso de aire de 130 °C y caudal de alimentación de 6 mL/min. En cuanto a los

minerales, la temperatura del aire y el caudal de alimentación de la bomba no fueron factores determinantes en la concentración. Sin embargo, influyó el material de pared. Cuando se utilizó gelatina se consiguió una mayor retención de los minerales. De lo expuesto se concluye que si bien con la tecnología de liofilización se alcanzaron mayores concentraciones de los componentes de interés, ambas metodologías pueden considerarse para la deshidratación de microalgas, ya que en términos generales la menor concentración alcanzada con el secado por atomización se debió al efecto diluyente que provoca la incorporación de maltodextrina en el cultivo microalgal.

## 5. Referencias

Bonilla-Ahumada, F.J.; Khandual S.; Lug-Cervantes E.C. (2018). *Microencapsulation of algal biomass (Tetraselmis chuii) by spray-drying using different encapsulation materials for better preservation of betacarotene and antioxidant compounds*, Algal Research, 36, 229-238.

Campelo P, Sanches E, De Barros-Fernandes R, Botrel D, Borges S. (2018). *Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate blends*. Food Research International, 105: 936-944.

Cardona-Tangarife D.P.; Patiño-Arias L.P.; Ormaza-Zapata. (2021). *Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión*, Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 22(1): 1-21.

Copia J., Gaete H., Zúñiga G., Hidalgo M., Cabrera E. (2012). *Efecto de la radiación ultravioleta B en la producción de polifenoles en la microalga marina Chlorella sp.*, Latin American Journal of Aquatic Research, 40(1): 113-123.

Cortés-Rojas D.; Fernandes C., Oliveira W. (2015). *Optimization of spray drying conditions for production of Bidens pilosa L. dried extract*. Chemical Engineering Research and Design, 93, 366-376.

Costa B.R.; Rodriguez M.C.K.; Rocha S.F., Pohndorf R.S.; Larrosa A.P.Q.; Pinto L.A.A. (2016). *Optimization of Spirulina sp. Drying in Heat Pump: Effects on the Physicochemical Properties and Color Parameter*, J. Food Process. Preserv. 40: 934-942.

Dammak, M.; Hadrich, B.; Barkallah, M.; Hentati, F.; Ben Hlima, H.; Pichon, C.; Denis, M.; Fendri,

I.; Michaud, P.; Abdelkafi, S. (2018). *Modelling Tetraselmis sp. growth-kinetics and optimizing bioactive-compound production through environmental conditions*, Bioresour Technol 249, 510-518.

De Marchin T, Erpicum M, Franck F. (2015). *Photosynthesis of Scenedesmus obliquus in outdoor open thin-layer cascade system in high and low CO<sub>2</sub> in Belgium*. Journal of Biotechnology, 215: 2–12

Desai K.G.H.; Park H.J. (2005). *Recent developments in microencapsulation of food ingredients*, Drying Technology 23, 1361–1394.

Jimenez-Veuthey, M.; Vidal, N.M.; Cabrera, C.; Paramo, J.; Bertoni, M.; Bordet H.F.; Andrade-Belgeri, M.S.; Flores, M.L.; Zapata, L.M. (2018). *A simple, efficient and economical method for isolation of Scenedesmus obliquus (Chlorophyceae) from freshwater sample (Embalse Salto Grande, Argentina)*. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences 20, 6-12.

Lira, G.M.; López, A.M.Q.; Firmino, G.O.; Santos, S.D.; Bezerra, R.D.S. (2017). *Total carotenoids and antioxidant activity of fillets and shells (in natura or cooked) of “Vila Franca” shrimp (Litopenaeus Schmitti) in different intervals of storage under freezing*, Ciência e Agrotecnologia 41, 94-103.

Normas APHA- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 3111.

Plaza del Moral M. (2010). *Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales naturales procedentes de algas*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

Quevedo, C.; Morales, S. P.; Acosta, A. (2008). *Crecimiento de Scenedesmus sp en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal*, Vitae 15(1), 25-31.

Sagar V.R., Suresh-Kumar P. (2010). *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*. J Food Sci Technol, 47(1): 15–26.

Silva N.C.; Machado M.V.C.; Brandão R.J.; Duarte C.R.; Barrozo M.A.S. (2019). *Dehydration of microalgae Spirulina platensis in a rotary drum with inert bed*, Powder Technology, 351: 78-185.

Tramontin DP, Gressler PD, Rörig LR, Derner RB, Pereira-Filho J, Radetski CM, Quadri MB. (2018).

*Growth modeling of the green microalga Scenedesmus obliquus in a hybrid photobioreactor as a practical tool to understand both physical and biochemical phenomena in play during algae cultivation. Biotechnology and Bioengineering, 115(4): 965–977.*

Zia M.P., Alibas I. (2021). *Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of blueberry fruits. Food Bioscience, 42.*

## **Métodos objetivos de estimación del contenido de azúcares añadidos en alimentos, para su declaración en la Información Nutricional Obligatoria y etiquetado frontal en Argentina.**

### **Objective methods of estimation of the content of added sugars in foods, for its declaration in the Mandatory Nutritional Information and Frontal Labeling in Argentina.**

María Esther Balanza<sup>1</sup>, María Eugenia Santibañez<sup>1</sup>, Liliana Nieto<sup>1</sup>, Verónica González<sup>1</sup>, Patricia Jordán<sup>1</sup>,  
Marisa Cervantes<sup>1</sup>, Soledad Barberá<sup>1</sup>

1. Laboratorio de Servicios a Terceros. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael, Mendoza.

E-mail: [mbalanza@fcai.uncu.edu.ar](mailto:mbalanza@fcai.uncu.edu.ar)

#### **Resumen**

A partir de la exigencia de etiquetado frontal y declaración del contenido de azúcares totales y añadidos en la información nutricional obligatoria de alimentos envasados y bebidas analcohólicas, se torna necesario disponer de las herramientas analíticas adecuadas para la determinación de los azúcares añadidos a los mismos, tanto para su declaración por los elaboradores, como para uso de los organismos de control. Ya que los métodos analíticos, tanto químicos como instrumentales no permiten discriminar entre azúcares naturales y añadidos, el objetivo del trabajo es ofrecer una metodología adecuada para la estimación del contenido de azúcares añadidos, según la definición de la reglamentación vigente argentina, que permita obtener resultados seguros, confiables y dentro del margen de tolerancias establecido. Para su logro, se propone el uso de cálculos de balances de materia basados en el contenido de azúcares totales y otros parámetros determinados analíticamente y en tablas de composición que discriminen contenido de azúcares para frutas y hortalizas. Los métodos propuestos resultan aplicables en conservas de frutas, yogur y otros leches fermentadas, confituras como mermeladas, dulces, frutas en almíbar y confitadas, etc., y dulce de leche.

Palabras clave: etiquetado frontal, determinación de azúcares añadidos, métodos analíticos, balances de materia

#### **Abstract**

From the requirement of frontal labeling and declaration of the total and added sugar content in the mandatory nutritional information of packaged foods and non-alcoholic beverages, it becomes necessary to have the appropriate analytical tools to determine the added sugars to them, both for declaration by manufacturers and for use by control agencies. Since the analytical methods, both chemical and instrumental, do not allow discriminating between natural and added sugars, the objective of the work is to offer an adequate methodology for the estimation of the added sugar content, according to the definition of the current Argentine regulation, that allows to obtain safe, reliable results and within the established tolerance range. For its achievement, the use of calculations of material balances based on the content of total sugars and other analytically determined parameters and on composition tables that discriminate the content of sugars for fruits and vegetables is proposed. The proposed methods are applicable to fruit preserves, yogurt and other fermented milk, preserves such as jams, sweets, fruits in syrup and candied, etc., and milk jelly.

Keywords: frontal labeling, determination of added sugars, analytical methods, material balances.

## 1. Introducción

Tal como se expresa en el Informe “Rotulado Frontal” (MTyP, 2018) el uso de sistemas o modelos de rotulado nutricional simplificado en la parte frontal del envase es un tema que produce un interés y una actividad cada vez mayor a nivel mundial, aunque no hay acuerdo generalizado ni en la forma de presentar la información a los consumidores, ni en la definición de los nutrientes a considerar críticos por su posible impacto sobre la salud, especialmente en enfermedades crónicas no transmisibles, o en los valores límites a exigir o recomendar, incluyendo la forma de expresión de los mismos.

Por ello, diferentes organismos a nivel mundial vienen trabajando desde hace varios años para el establecimiento de marcos regulatorios para el etiquetado frontal de alimentos, información más accesible que la proporcionada por la declaración del contenido de nutrientes en los sistemas de información nutricional (IN) existentes ya en la mayoría de los países y, en algunos, en forma obligatoria (INO). Tales marcos regulatorios varían ampliamente desde Directrices o recomendaciones (no mandatorias) como las de Codex y FAO/OMS a reglamentaciones mandatorias, de cumplimiento exigido (leyes, decretos, resoluciones, etc.) como en nuestro país.

La variedad no sólo incluye el tipo de información gráfica utilizada en cada país, sino también los nutrientes que se consideran críticos y los valores límite que se consideran admisibles para los mismos (MTyP, 2018). En 2016 la OPS /OMS presentó también su Modelo de Perfil de Nutrientes en versiones tanto en español como en inglés, donde se presentan tanto los nutrientes a considerar críticos, los fundamentos de la propuesta y el campo de aplicación, como los valores límite para cada nutriente crítico, estos calculados como aporte energético porcentual del mismo al valor energético total del alimento. Asigna la clasificación para contenido excesivo de azúcares en función de las calorías aportadas por los azúcares libres, los cuales define diferenciándolos de los azúcares añadidos (AA).

Estados Unidos incorporó en 2020 la declaración de los AA a su normativa de información nutricional (FDA, 2020), aunque sólo declara el porcentaje del valor diario de los mismos en las bebidas azucaradas, tomando como base la recomendación internacional de que la ingesta diaria de AA no supere el 10% de las calorías de la dieta y ofrece, a través de la USDA, una amplia base de datos donde pueden obtenerse valores de AA para miles de alimentos, calculados con base en las recetas

declaradas por elaboradores o comúnmente utilizadas para su elaboración.

Brasil se encuentra aún entre los países en los cuales el etiquetado frontal y la consiguiente declaración de azúcares totales (AT) o añadidos no es mandatorio (Scapin et al, 2021), mientras México, Chile y Uruguay adoptaron ya hace varios años el uso de sellos octogonales de advertencia de “Exceso” o “Alto en”, aunque con diferencias en los nutrientes considerados críticos y los valores considerados límites para ellos, los cuales, en algunos casos, han ido sufriendo cambios en el tiempo.

Mientras México siguió un modelo de perfil de nutrientes similar al de la OPS, tanto Chile como Uruguay tienen establecidos valores límite en gramos o miligramos del nutriente por cada 100 g de alimento, ofreciendo también, a consumidores y elaboradores, manuales sobre la utilización del etiquetado frontal de alimentos.

En nuestro país, la Ley 27642 de Promoción de la Alimentación Saludable fue sancionada el 28 de octubre de 2021 y reglamentada para su aplicación mediante el Decreto 151/22, publicado en el Boletín Oficial de la República Argentina el 23 de marzo de 2022.

En estas piezas legales, aplicables a alimentos envasados y bebidas alcohólicas, se adopta la obligatoriedad del etiquetado frontal de los mismos mediante el uso de sellos negros octogonales, de advertencia al consumidor de la presencia de excesos de nutrientes críticos como azúcares, grasas totales y saturadas, sodio y/o calorías, en los productos en que dichos nutrientes superen los valores establecidos, en el modelo de perfil de nutrientes críticos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los cuales se incorporan en el mismo Dec. 151/22. Asimismo, establecen la obligatoriedad de declaración tanto del contenido de AT como de AA en la INO que deben presentar los alimentos envasados que se comercialicen en el país.

Por otra parte, aunque los azúcares en general poseen el mismo valor energético que todos los carbohidratos asimilables más complejos, los cuales se hidrolizan a glucosa en los procesos digestivos, la estructura química de sus moléculas y su solubilidad en agua, permite el uso de diversos métodos analíticos de laboratorio, ya sean físicos, químicos, enzimáticos o instrumentales para la cuantificación de los AT en forma relativamente sencilla y al alcance de laboratorios de baja y media complejidad, con el solo requisito de que se encuentren debidamente validados o, al menos,

verificados en sus principales parámetros de desempeño. Sin embargo, debido a que no existen diferencias estructurales, químicas, funcionales, fisiológicas o, incluso, nutricionales, entre los azúcares presentes en un alimento, ya sean naturales, propios de los ingredientes de base del mismo o agregados durante el proceso de elaboración, resulta imposible contar con algún método estrictamente analítico accesible que permita discriminar entre ellos y calcular así los AA.

Por ello, se pretende establecer una metodología objetiva válida para la estimación de los azúcares añadidos en productos alimenticios, según la definición de los mismos dada por la legislación argentina, partiendo de la hipótesis de que este objetivo podrá lograrse mediante la aplicación de cálculos de balances de materia conociendo la composición media de los ingredientes utilizados en la elaboración del alimento por datos bibliográficos y valores de su contenido de AT y otros parámetros analíticos requeridos determinados por métodos físicos, químicos o instrumentales.

## 2. Materiales y métodos

La secuencia de trabajo empleada consiste en:

- a) Análisis de la legislación argentina, incluyendo definiciones y valores establecidos en la misma y las recomendaciones de la ANMAT para su interpretación y aplicación publicadas en su Manual de Aplicación. Rotulado Nutricional Frontal. Aplicación de la Ley N° 27642 y el Decreto N° 151/22 (2022)
- b) Comparación de los requerimientos de la legislación argentina de etiquetado frontal con los de Chile y Uruguay y las recomendaciones de OPS.
- c) Revisión de publicaciones científicas a nivel internacional relativas a métodos de determinación, estimación o cuantificación de AA
- d) Clasificación de los alimentos en grupos, con fines analíticos, según su declaración de ingredientes conteniendo azúcares naturales y añadidos y proceso de elaboración.
- e) Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de los AA en los diferentes grupos propuestos en (d), por combinación de análisis físico químicos y/o instrumentales de laboratorio, entre ellos contenido de azúcares, utilizando métodos oficiales y/o de rendimiento verificado, y balances de materia basados en

composiciones medias de ingredientes principales, ya sean reguladas por el propio CAA, si correspondiere, o extraídos de bibliografía y/o bases de datos confiables.

- f) Análisis estadístico de comparación de los valores de contenido de azúcares obtenidos en forma analítica y por cálculo para frutas en conserva y confituras (mermeladas y dulces), mediante análisis de la varianza, con uso de software estadístico Statgraphics Centurion .

Balances de materia o masas: siendo secuencias de cálculos que permiten conocer la cantidad y/o composición de un producto (por ejemplo, alimento), con base en la cantidad y composición de las materias primas utilizadas en el proceso productivo del mismo, basadas en la ley de conservación de la masa de Lomonósov-Lavoisier, ampliamente utilizadas en ingeniería con diferentes propósitos en el diseño y evaluación de operaciones unitarias de procesos, se utilizan tanto balances globales como parciales para alguno de los componentes de interés, según necesidad de los métodos de estimación propuestos para diferentes grupos de alimentos.

Los balances globales o parciales se plantean y resuelven mediante metodologías habituales de cálculo de los mismos.

## 3. Resultados y Discusión

*Análisis de la legislación argentina.*

Dado que, mayoritariamente, los requerimientos de rotulación de alimentos del Código Alimentario Argentino (CAA) están regidos por Resoluciones del MERCOSUR, las cuales no pueden ser modificadas unilateralmente por alguno de los países miembros, las nuevas exigencias de rotulado establecidas por la Ley 27242 y su Decreto Reglamentario, fueron incorporadas al CAA como artículos 225 y 226 en el Capítulo V del mismo, mediante la Resolución Conjunta SCS y SAGyP N° 7/2022, con fecha 20 de septiembre de 2022 (BORA, 2022), desde la cual se encuentran vigentes para su aplicación en todo el ámbito nacional.

Por tal razón, se hace necesario, a los fines de establecer con claridad el marco teórico-conceptual desde el que se aborda el desarrollo del presente trabajo, incluir aquí las definiciones y valores límites admitidos por nuestra legislación vigente (CAA, 2022)

Según el Art. 225 del CAA, *los alimentos y bebidas analcohólicas envasados en ausencia del cliente o*

de la cliente, que deban llevar información nutricional deberán declarar el contenido de azúcares totales y de azúcares añadidos en el rotulado nutricional. La declaración de azúcares totales y añadidos deberá realizarse en el rotulado nutricional inmediatamente después de la declaración de carbohidratos de la siguiente manera”

“Carbohidratos: ...g, de los cuales:

Azúcares totales: ...g,

Azúcares añadidos: ...g.” ...

“Además, a los fines de este artículo se entiende por:

**Azúcares totales:** Son todos los monosacáridos y disacáridos presentes en un alimento.

**Azúcares añadidos:** Son los monosacáridos y disacáridos añadidos a los alimentos y las bebidas analcohólicas durante su elaboración y/o reconstitución de acuerdo con las instrucciones de preparación indicadas en el rótulo por el fabricante. Se encuentran incluidos los azúcares que están presentes naturalmente en la miel, los jarabes, jugos y concentrados de frutas y hortalizas”. (CAA, 2022)

Según este artículo, la declaración del contenido de azúcares totales y añadidos en la INO de cualquier alimento, se rige por los lineamientos establecidos para la misma por la Resol. GMC 46/03, la cual constituye el Reglamento técnico Mercosur sobre el rotulado nutricional de alimentos envasados y forma parte del Capítulo V del CAA.

Esta Resolución, en su apartado 3.5.1, indica que se acepta una tolerancia de  $\pm 20\%$  respecto a los valores de nutrientes declarados en el rótulo, por lo que cualquier método que se utilice para la estimación del contenido de azúcares añadidos debería tener una incertidumbre expandida asociada inferior a dicho valor.

En el Art. 226, a su vez, se expresa que el agregado de azúcares se refiere al agregado durante el proceso de elaboración de azúcares, azúcares de hidrólisis de polisacáridos, ingredientes que contengan azúcares adicionados, ingredientes que contienen naturalmente azúcares como la miel, los jarabes, jugos y concentrados de frutas y hortalizas y/o la mezcla de cualquiera de los anteriores, y se incorporan, entre otras, las definiciones de:

**Nutrientes:** cualquier sustancia química consumida normalmente como componente de un alimento que: 1) proporciona energía; y/o 2) es necesaria, o contribuya al crecimiento, desarrollo y mantenimiento de la salud y de la vida; y/o 3) cuya carencia hará que se produzcan cambios químicos o fisiológicos característicos.

**Nutrientes críticos:** azúcares, sodio, grasas saturadas y grasas totales.

También establece que los criterios del modelo de perfil de nutrientes se fijarán de acuerdo con los puntos de corte (Valores máximos) para los nutrientes críticos (azúcares añadidos, grasas saturadas, grasas totales y sodio) y/o edulcorantes y/o cafeína y/o calorías, que se muestran en la Tabla 1. (CAA, 2022)

Como puede advertirse en dicha tabla, a los efectos de evaluar el contenido de nutrientes críticos de un alimento envasado para verificar la correspondencia o no del uso de sellos de advertencia, en la mayoría de los casos deben utilizarse para los cálculos los valores analíticos de composición centesimal hallados para la INO, excepto para los azúcares, los cuales no sólo deben discriminarse de los carbohidratos totales calculados por diferencia, sino también entre añadidos y totales, según sea la naturaleza del alimento y su proceso de elaboración.

**Tabla 1:** Puntos de corte para nutrientes críticos, edulcorantes y cafeína (Art. 226, CAA)

Etapas	Azúcares añadidos	Grasas totales	Grasas saturadas	Sodio	Edulcorantes y/o cafeína	Calorías
<b>Primera Etapa</b>	$\geq 20\%$ del total de energía proveniente de azúcares añadidos	$\geq 35\%$ del total de energía proveniente del total de grasas	$\geq 12\%$ del total de energía proveniente de grasas saturadas	$\geq 5$ mg de sodio por 1 kcal o $\geq 600$ mg/100 g. Bebidas analcohólicas sin aporte energético: $\geq 40$ mg de sodio cada 100 ml	Cuando el alimento contenga cafeína y/o edulcorante de acuerdo a lo establecido en el presente artículo.	Alimentos $\geq 300$ kcal/100g Bebidas analcohólicas $\geq 50$ kcal/100 ml
<b>Segunda Etapa</b>	$\geq 10\%$ del total de energía proveniente de azúcares añadidos	$\geq 30\%$ del total de energía proveniente del total de grasas	$\geq 10\%$ del total de energía proveniente de grasas saturadas	$\geq 1$ mg de sodio por 1 kcal o $\geq 300$ mg/100 g Bebidas analcohólicas sin aporte energético: $\geq 40$ mg de sodio cada 100 ml		Alimentos $\geq 275$ kcal/100g Bebidas analcohólicas $\geq 25$ kcal/100 ml

**Tabla 2:** Valores máximos establecidos por la OPS (2016) y las reglamentaciones vigentes de Argentina, Chile y Uruguay para nutrientes críticos. (ENN: edulcorantes no nutritivos)

País	Azúcares	Grasas totales	Grasas saturadas	Sodio	Calorías
Argentina (Art. 226 CAA)	≥ 20% (1° etapa) o ≥ 10% (2° etapa) del total de energía proveniente de azúcares añadidos	≥ 35% (1° etapa) o ≥ 30% (2° etapa) del total de energía proveniente del total de grasas	≥ 12% (1° etapa) o ≥ 10% (2° etapa) del total de energía proveniente de grasas saturadas	≥ 5 mg (1° etapa) o ≥ 1 mg (2° etapa) de sodio por 1 kcal o ≥ 600 (1° etapa) o ≥ 300 (2° etapa) mg/100 g. Bebidas analcohólicas sin aporte energético: ≥ 40 mg (1° y 2° etapas) de sodio cada 100 ml	Alimentos ≥ 300 kcal/100g (1° etapa) o ≥ 275 kcal/100g (2° etapa). Bebidas analcohólicas: ≥ 50 kcal/100 ml (1° etapa) o ≥ (25 kcal/100 ml (2° etapa)
OPS – OMS (2016)	≥ 10% del total de energía proveniente de azúcares libres	≥ 30% del total de energía proveniente del total de grasas	≥ 10% del total de energía proveniente de grasas saturadas	≥ 1 mg de sodio por 1 kcal	Sin especificar
Chile (MINSAL, 2022)	Sólidos: ≥ 10 g / 100 g Líquidos: ≥ 5 g / 100 ml	Sin especificar	Sólidos: ≥ 4 g / 100 g Líquidos: ≥ 3 g / 100 ml	Sólidos: ≥ 400 mg / 100 g Líquidos: ≥ 100 mg / 100 ml	Sólidos: ≥ 275 kcal/100 g Líquidos: ≥ 70 kcal/100 ml
Uruguay (Decreto 34/21)	Sólidos: ≥ 13 g / 100 g Líquidos: 3 g / 100 ml (≥ 5 g / 100 ml (sin agregado ENN) y hasta 80% de VE por azúcares))	Sólidos: ≥ 4 g / 100 g. Líquidos: ≥ 3 g / 100 ml	Sólidos: ≥ 6 g / 100 g Líquidos: ≥ 3 g / 100 ml	Sólidos: ≥ 500 mg / 100 g Líquidos: ≥ 200 mg / 100 ml	Sin especificar

*Valores comparados con OPS y otros países*

Como se observa en la Tabla 2, los valores máximos establecidos para la segunda etapa en nuestra reglamentación aparecen como casi idénticos con los de la OPS, con la sola diferencia, en el caso de azúcares, de la denominación de los que deben ser evaluados, llamados añadidos en Argentina y libres por la OPS, aunque con conceptos parecidos, según este Organismo define como Azúcares añadidos a los azúcares libres

añadidos a los alimentos y las bebidas durante la elaboración industrial o la preparación casera y Azúcares libres a los monosacáridos y disacáridos añadidos a los alimentos y bebidas por el fabricante, el cocinero o el consumidor, más los azúcares que están presentes naturalmente en miel, jarabes y jugos de fruta (OPS, 2016). Además, los valores de corte se fijan como porcentaje del valor energético total del producto aportado por cada nutriente crítico, lo que los hace independientes tanto del tamaño de la porción consumida como del contenido absoluto de nutrientes en dicha porción.

Por otro lado, tanto en Chile como en Uruguay, donde también el etiquetado frontal es de cumplimiento obligatorio, establecido por ley, los valores se fijan como contenido de AT en 100 g de alimento, lo que no sólo elimina el problema de la estimación de los AA, sino permite la comparación más rápida y precisa entre diversos alimentos.

*Revisión bibliográfica de métodos de estimación de AA o equivalentes.*

Ya en 2003 Kelly y colaboradores reportaron una revisión bibliográfica extensa a fin de conocer las metodologías utilizadas para la determinación de los azúcares extrínsecos no lácteos (NMES, por sus siglas en inglés) en trabajos publicados en la década de los '90s, mayormente desarrollados sobre la relación entre consumo de estos azúcares y salud dental. Aunque parece haber habido acuerdo sobre la denominación dada a estos azúcares de la dieta, los autores reportan que los NMES suelen definirse en formas diferentes y que en muchos casos no se indican los métodos utilizados para su cálculo. En sus conclusiones reportan haber encontrado cinco descripciones diferentes de los métodos utilizados para la estimación de la ingesta dietaria de NMES, todos basados en encuestas a consumidores y estimación arbitraria del contenido de NMES en los diferentes alimentos de la dieta. Aclaran también que, en todos los casos, los detalles de los métodos publicados son insuficientes para permitir su reproducibilidad completa y precisa,

Dos años después, los autores publicaron un trabajo comparando los resultados arrojados por tres de esos métodos para la estimación de los NMES en su estudio, los cuales se basan en calcular los contenidos de azúcares en los alimentos según su formulación y la definición de NMES dada en el método, a saber (Kelly et al., 2005):

- Método NDNS (National Diet and Nutrition Surveys): en jugos de frutas, azúcar, miel, glucosa y jarabes de glucosa añadidos a los alimentos mas el 50 % de los AT en las frutas enlatadas, en compota, deshidratadas o

conservadas. (Buss et al., 1994; Gregory et al., 1995, 2000; Finch et al., 1998).

- Método MAFF (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries): Las ingestas de NMES se estiman deduciendo los azúcares de leche líquida de las formulaciones, de los AT del alimento. (Mills, 1994).
- Método HNRC (Human Nutrition Research Centre, Newcastle University): NMES = AA más azúcares de frutas en jugos de frutas y otras bebidas analcohólicas. Los azúcares provenientes de la fruta en mermeladas y yogures se clasifican como intrínsecos. (Rugg-Gunn et al. 1993).

En todos los casos, los cálculos que emplean los métodos son bastante complejos y suelen dar origen a bases de datos oficiales de todo tipo de alimentos, bastante extensas, que se encuentran disponibles para el público.

La OPS, en su Modelo de Perfil de Nutrientes (MPN)(OPS, 2016), establece que, si los azúcares libres no se declaran en las etiquetas alimentarias, deben calcularse e indica que hay varios algoritmos para calcular los azúcares libres (o, a veces, los azúcares añadidos) que permiten efectuar cálculos confiables, ofreciendo tres referencias: la primera, se refiere al desarrollo de criterios internacionales para un sistema de etiquetado frontal de alimentos, teniendo como objetivo el rediseño del International Choices Programme, inicialmente enfocado en Países Bajos, a través de un panel de científicos de más de 20 países, para crear un sistema de logotipo de nutrición genérico y global de etiquetado frontal, que ayuda a los consumidores a realizar elecciones de alimentos más saludables y estimula la reformulación de productos (Roodenburg et al., 2011). No se encontraron en el mismo, algoritmos para el cálculo de azúcares libres según el MPN de la OPS.

La segunda referencia citada por la OPS es el trabajo de Louie et al. (2011) titulado *Una metodología sistemática para estimar el contenido de azúcares añadidos de los alimentos*, que consiste en un protocolo paso a paso de diez etapas, de las cuales las seis primeras consideran objetivas, ya que consisten en la revisión de las condiciones o tipo del alimento a examinar, la cantidad de azúcares que presenta, la lista de ingredientes, las recetas de elaboración, etc., y las restantes subjetivas, ya que, si no pudo calcularse el contenido de AA en alguna de las seis primeras etapas, deben estimarse subjetivamente (al parecer

del investigador) cuantos de los AT deban considerarse AA. Sin embargo, el principal inconveniente estaría dado por el hecho de que los algoritmos están diseñados para calcular el aporte de AA de cada ingrediente declarado en particular, según recetas, tablas de composición, bases de datos, etc., y los AA totales como sumatoria de aquellos, lo que no coincide con la definición de AA que hace nuestra legislación. La tercera referencia es el trabajo de Kelly et al (2005) ya analizado anteriormente.

**Tabla 3:** Método elaborado por OPS para calcular los azúcares libres sobre la base del total de azúcares declarado en los envases de alimentos y bebidas. Fuente: Modelo de Perfil de Nutrientes. OPS OMS, 2016

Si el fabricante declara...	entonces la cantidad de azúcares libres es igual a...	Ejemplos de productos
0 g de total de azúcares	0 g	Pescados enlatados
azúcares añadidos	los azúcares añadidos declarados	Cualquier producto en el cual se declaran azúcares añadidos
el total de azúcares y el producto forma parte de un grupo de alimentos que no contienen azúcares naturales o que contienen una cantidad mínima	el total de azúcares declarados	Bebidas gaseosas comunes, bebidas para deportistas, galletas dulces, cereales para el desayuno, chocolate y galletas saladas y dulces
el total de azúcares y el producto es yogur o leche, con azúcares en la lista de ingredientes	50% del total de azúcares declarados	Leche o yogur con aromatizantes
el total de azúcares y el producto es una fruta procesada con azúcares en la lista de ingredientes	50% del total de azúcares declarados	Fruta en almibar
el total de azúcares y el producto tiene leche o fruta en la lista de ingredientes	75% del total de azúcares declarados	Barra de cereales con fruta

No obstante las referencias mencionadas, y a pesar de que, según se expresa en el documento del MPN de la OPS (2016), el grupo de consulta de expertos consideró que estos algoritmos eran apropiados, elaboró *un método más sencillo*, según su propia expresión, para calcular la cantidad de azúcares libres en un producto alimenticio sobre la base de la información suministrada (por el fabricante) sobre

el total de azúcares. Sin embargo, el método, que se muestra en la Tabla 3, tomada del material de referencia, no presenta evidencia de haber sido objetivamente validado ni explica las razones de la elección de los porcentajes de los AT asignados en cada caso para el cálculo de los azúcares libres.

Además, dadas las definiciones de la primera columna de la tabla y la escueta lista de ejemplos, en algunos casos podría dificultarse la asignación de algunos alimentos a uno u otro grupo en particular. Sin embargo, la clasificación de todos los alimentos en muy pocos grupos para el abordaje de la estimación de los AA puede facilitar grandemente la tarea.

Estudios más recientes, como los aportados por Scapin et al, (2021), Mahajan et al (2021), Amoutzopoulos et al. (2018) y Bowman, S. (2017) utilizan también algoritmos, tablas de composición y/o bases de datos, en forma similar a las ya analizadas.

En Argentina, si bien en la legislación no se especifica la metodología que deba emplearse para la determinación de los AA a declarar y/o el control de los valores declarados, la ANMAT (2022) incluye en su Manual de Aplicación, Rotulado Nutricional Frontal, un apartado titulado “¿Cómo se obtiene el contenido de azúcares añadidos”, en el cual especifica que:

*Los azúcares añadidos se obtienen a través de la composición del producto, para lo cual se deberá:*

- 1) *Identificar los ingredientes que aportan azúcares añadidos.*
- 2) *Establecer la cantidad total de mono y disacáridos que aporta cada ingrediente. Esta información se obtiene identificando los azúcares de la composición del producto a través de:*
  - *Formulación (receta) del producto, establecida por el elaborador.*
  - *Especificaciones y/o fichas técnicas de los ingredientes/materias primas aportadas por los proveedores.*
  - *Información declarada en el rótulo de los productos autorizados utilizados en la elaboración.*
  - *Determinación analítica de azúcares, sólo para los casos en los que el total de azúcares sea igual al total de azúcares añadidos. Esto es aplicable para alimentos que no poseen en su composición azúcares intrínsecos aportados por vegetales o productos lácteos.*
- 3) *Identificados los puntos anteriormente detallados, el valor total de azúcares añadidos se obtiene de la suma de cada aporte de azúcares añadidos de los ingredientes utilizados.*

A continuación de estos pasos, que instan al uso de información no siempre disponible o validada, pero sin indicar cómo, dicho manual incluye un ejemplo de un turrón crocante de almendras con baño de repostería, para el cual, en primer lugar, identifica los porcentajes de aporte al peso del producto terminado de cada uno de los tres componentes que lo constituyen: oblea, turrón de almendras y baño de repostería. Luego identifica todos los ingredientes de cada componente y le asigna (cálculos no mostrados) a cada uno de ellos, el porcentaje en que participa del producto completo, siendo la suma de los porcentajes asignados igual al porcentaje del componente al que pertenecen en el producto final. Finalmente, identifica los ingredientes que aportan AA con sus respectivas concentraciones y calcula, por sumatoria, los porcentajes ponderado de AA en el producto final.

Si bien el método aplicado resulta correcto desde el punto de vista matemático, el alimento elegido para el ejemplo no presenta ingredientes con contenido significativo de azúcares naturales, por lo que todos los azúcares deben considerarse añadidos, siendo, en ese caso  $AA = AT$ . Así, todo el trabajo de cálculo realizado se torna absolutamente inútil y se resuelve declarando como añadidos el contenido de AT informado por el laboratorio y determinados por cualquier método que cumpla con los estándares de calidad de los resultados ofrecidos por el mismo para la matriz en ensayo.

En apartados siguientes, con respecto a la *evaluación de los alimentos con azúcares intrínsecos* (término no utilizado ni definido en la legislación, aunque se entiende que se refiere a los naturales, propios de frutas u hortalizas y leche), aunque no presenta ejemplo para el cálculo, aclara que “*los vegetales frescos o mínimamente procesados poseen azúcares simples intrínsecos propios de su composición que, cuando son agregados como ingrediente a una preparación, no aportan azúcar añadido*” y que “*no se considera azúcar añadido a los provenientes de frutas y hortalizas (enteras o en trozos) frescas, desecadas, deshidratadas y/o liofilizadas. Las hortalizas en polvo tampoco aportan azúcares añadidos*”. También aclara que “*las mezclas de jugos, las mezclas de pulpas y las mezclas de jugos y pulpas, siempre que éstos no tengan agregados de nutrientes críticos en su elaboración y que se presenten envasados y listos para ofrecerlos al consumidor, no se encuentran sujetos a la declaración de rotulado frontal. Sin embargo, cuando estas mezclas sean utilizadas como ingredientes de otros alimentos, deben considerarse añadidos*” y “*en el caso de la leche y productos lácteos, cuando se utilicen como ingredientes en la formulación de un producto, la lactosa aportada por estos no se considerará aporte de azúcares*”

añadidos” y “por otra parte, cuando se agregan lactosa o grasa en el proceso para reconstituir ingredientes naturales de la leche, siempre y cuando guarden su proporción con la composición original, no se consideran agregado de nutriente; por ejemplo, la adición de lactosa para ajustar el contenido de proteína de la leche en polvo de acuerdo a los establecido por el reglamento específico”.

Métodos objetivos propuestos para cálculo de los AA.

*Métodos analíticos disponibles para determinación de azúcares en alimentos.*

A los efectos de la determinación de los azúcares totales en los alimentos y bebidas, los cuales, por definición tanto química como reglamentaria, están constituidos por los mono y disacáridos presentes en los mismos, puede utilizarse cualquier método que dispongan los laboratorios, verificados en su desempeño, especialmente su exactitud, entendida esta como la suma de la veracidad y precisión del método (Eurolab, 2016), según la complejidad de los mismos. Siendo muy alta la solubilidad de los azúcares que deben ser determinados, pueden extraerse fácilmente de cualquier matriz por disolución acuosa y, aunque métodos instrumentales como la HPLC permiten, con columnas y detectores adecuados, la identificación y cuantificación de los azúcares en forma simultánea, además de la automatización en el análisis de las muestras, requieren de instrumental de alto costo, no disponible en muchos laboratorios de baja y aun mediana complejidad. En estos casos, métodos químicos como el de Fehling de reducción del cobre en sus diversas variantes o modificaciones, como los métodos de AOAC 974.06 y 968.28 u otros, no sólo siguen siendo accesibles, sino también en muchos casos los adoptados como oficiales en diversos países, a través de normas propias, para la determinación del contenido de azúcares en diversos alimentos. La incertidumbre de estos métodos, correctamente aplicados, es inferior a la variación de los contenidos de azúcares, ya sean naturales o agregados, que pueden presentar diferentes lotes de un mismo alimento, ya sea por variaciones propias de sus materias primas o de las condiciones del proceso de elaboración. Aunque en algunos casos la determinación por separado de los azúcares reductores (todos los monosacáridos y aproximadamente la mitad de la lactosa y la maltosa) y los AT (monosacáridos y disacáridos hidrolizados, incluyendo sacarosa) del alimento puede constituir un dato relevante para la evaluación de genuinidad o calidad global del alimento, en los casos en que todos los azúcares

deban considerarse añadidos, solo se requerirá la cuantificación de los AT. Sin embargo, la valoración analítica de los AT resulta siempre imprescindible a la hora de incluirlos en la INO o utilizarlos para el cálculo de los AA, no admitiéndose el uso de métodos generales que incluyan otros componentes además de azúcares en sus valores, como la determinación por refractometría de sólidos solubles (°Brix) en frutas y hortalizas, miel, etc.

*Clasificación de los alimentos según el contenido de azúcares de sus ingredientes.*

A los efectos de establecer las bases sobre las que se realizarán los cálculos objetivos para la estimación de AA, se propone la clasificación en los siguientes grupos, según el aporte de azúcares de los ingredientes y proceso de elaboración al que se someten:

- I. *Alimentos con ingredientes sin azúcares naturales ni agregados:* Los valores de azúcares totales determinados por análisis (AT) serán siempre muy pequeños y los AA deben considerarse iguales a cero ( $AA = 0$ ). No requerirán sellos de advertencia de exceso en azúcares.
- II. *Alimentos con ingredientes únicos con azúcares naturales, sin agregados de azúcares ni otros ingredientes con azúcares o nutrientes críticos* (Miel, frutas desecadas o deshidratadas, jugos o pulpas concentrados sin aditivos): TODOS los azúcares determinados por análisis (AT) deben considerarse naturales o intrínsecos y  $AA = 0$  (cero). No requerirán sello de advertencia.
- III. *Alimentos con ingredientes sin azúcares naturales con agregados de azúcares y/u otros ingredientes con azúcares que deban considerarse AA* (Galletas dulces, cereales de desayuno, bebidas alcohólicas azucaradas, vinagre balsámico, etc.): TODOS los azúcares determinados por análisis deben considerarse añadidos ( $AA = AT$ ). Con frecuencia requerirán sello de advertencia por sobrepasar los valores límites.
- IV. *Alimentos con ingredientes múltiples sin y con azúcares naturales, con agregados de azúcares y/u otros ingredientes con azúcares que deban considerarse AA* (Entre ellos alimentos farináceos dulces, helados, postres, etc., con ingredientes minoritarios con azúcares naturales, como leche, leche en polvo o frutas deshidratadas): para la estimación de los AA, los azúcares aportados por esos ingredientes deben deducirse de los AT determinados analíticamente. Los balances de materia no pueden aplicarse si no se conoce la formulación de los productos, por lo que no resultan aplicables para el control. Sin embargo, la

metodología aún sigue siendo útil para el cálculo por el elaborador o si este proporciona la formulación utilizada.

V. *Alimentos con ingredientes con azúcares naturales con agregados de azúcares, sin modificación significativa de la composición por tratamientos posteriores* (Frutas en conserva, yogur, etc.): El método se desarrolla en los apartados 3.4.3.1 y 3.4.3.2

VI. *Alimentos con ingredientes con azúcares naturales con agregados de azúcares, con concentración posterior de la mezcla por el tratamiento* (Confituras: Mermeladas, dulces y jaleas; frutas en almíbar, frutas confitadas o candidas, etc. Dulce de leche): El método se desarrolla en los apartados 3.4.3.3 y 3.4.3.4

*Aplicación de balances de materia para la estimación de AA en alimentos incluidos en V y VI.*

Frutas en conserva.

**Tabla 4a:** Composición centesimal y contenido de azúcares de algunas frutas. (1° parte) (Elaboración propia con base en datos tomados de *El pequeño "Souci-Fachmann-Kraut"* (Senser et al., 1999))

Nutriente	Damasco	Durazno	Ciruela	Pera	Manzana
Agua, %	85,9	87,5	84,9	84,3	84,3
Proteínas, %	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3
Grasas, %	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
Fibra, %	2,0	1,7	1,7	1,9	2,3
Minerales, %	0,7	0,5	0,5	0,3	0,3
Carbohidratos, % <sup>1</sup>	10,4	9,4	12,1	12,7	12,4
<b>Total, %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Ácidos, %	1,4	0,6	1,3	0,3	0,6
A Reductores, %	2,6	2,3	5,4	8,4	8,3
Sacarosa, %	5,1	5,7	3,4	1,8	2,5
Sorbitol, %	0,8	0,9	1,4	2,2	0,5
Xilitol, %	0	0	0	0	0
<b>AT, %</b>	<b>7,7</b>	<b>8,0</b>	<b>8,8</b>	<b>10,2</b>	<b>10,7</b>
Almidón, %	0	0	0	0	0,6
Sodio, mg/100 g	2	1	2	2	3
VE, kcal / 100 g	46	42	53	56	54

<sup>1</sup> Determinados por diferencia.

**Tabla 4b:** Composición centesimal y contenido de azúcares de algunas frutas. (2° parte) (Elaboración propia con base en datos tomados de *El pequeño "Souci-Fachmann-Kraut"* (Senser et al., 1999))

Nutriente	Uva	Frutilla	Arándano	Naranja	Membrillo
Agua, %	80,5	89,5	85,6	86,7	83,1
Proteínas, %	0,7	0,8	0,6	1	0,4
Grasas, %	0,3	0,4	0,6	0,2	0,5
Fibra, %	1,6	1,2	4,9	2,2	2,9
Minerales, %	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4
Carbohidratos, %	16,4	7,6	8	9,4	12,7
<b>Total, %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Ácidos, %	0,6	1,0	1,4	1,2	1,2
A Reductores, % <sup>1</sup>	14,9	4,5	5,8	4,8	6,7
Sacarosa, %	0,5	0,92	0,19	3,20	0,64
Sorbitol, %	0,2	0	0	0	0
Xilitol, %	0	0	0	0	0
<b>AT, %</b>	<b>15,4</b>	<b>5,4</b>	<b>6,0</b>	<b>8,0</b>	<b>7,3</b>
Almidón, %	0	0,	0	0	0
Sodio, mg/100 g	2	1	1	1	2
VE, kcal / 100 g	71	37	40	43	57

<sup>1</sup> Determinados por diferencia.

Como se observa en las tablas 4a y 4b, si bien los azúcares son mayoritarios en las frutas, otros compuestos como ácidos orgánicos, polialcoholes y almidón, también contribuyen muy significativamente al contenido de carbohidratos obtenidos por diferencia en el análisis proximal. La diferencia es aún mayor cuando se compara con los sólidos solubles (SS), expresados en °Brix, que incluyen también los minerales y la fibra soluble o con los sólidos totales.

Dado que estos productos se obtienen por la mezcla, en cada tarro, de la fruta y el jarabe azucarado (sacarosa o mezclas con otros edulcorantes) con concentración adecuada para obtener la concentración final de SS (°Brix) requerida según la denominación del producto, y que la esterilización industrial suele realizarse en el envase cerrado, por lo que no hay intercambio de componentes luego del envasado, la concentración de SS del jarabe (SS<sub>J</sub>) utilizado puede calcularse

con mucha precisión mediante el planteo de un balance de materia específico para los SS, con base en los contenidos netos total (CNT) y escurrido (CNE) del envase, los SS del producto estabilizado (SSe) ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) (todos medidos en el laboratorio) y el contenido promedio de SS de la fruta utilizada ( $\text{SS}_F$ ), que pueden estimarse, sin errores significativos, en  $11^{\circ}\text{Bx}$  para la mayoría de las frutas comúnmente utilizadas en las conservas.

**Tabla 5:** Composición del azúcar y otros edulcorantes, según valores reglamentados por el CAA.

Nutriente	Sacarosa	Jarabe Glucosa	JMAF	Mosto uva Conc.	Miel de flores
Agua, %	< 0,1	< 30	< 29	< 10	<18 - 20
Sol. totales, %	$\geq 99,9$	$\geq 70$	$\geq 71$	$\geq 90$	$\geq 82 - 80$
Az reduct., %	< 0,1	$\geq 20^*$	$\geq 94^*$	$\geq 80$	$\geq 65^{**}$
Sacarosa, %	$\geq 99,5$	---	---	---	< 8,0
Fructosa %	---	---	$\geq 42^*$	---	---
Dextrinas totales, %	---	---	---	---	< 3,0

\* En dextrosa, sobre sustancia seca. \*\* en azúcar invertido.

El balance de materia se plantea como muestra la ecuación 1, de la cual puede despejarse el valor de los SS del jarabe utilizado.

$$\text{CNE (g)} * S_F (^{\circ}\text{Bx}) + (\text{CNT} - \text{CNE}) (\text{g}) * \text{SS}_F (^{\circ}\text{Bx}) = \text{CNT (g)} * \text{SSe} (^{\circ}\text{Bx}) \quad (1)$$

Como segundo paso deben calcularse los azúcares, en g, aportados por la fruta contenida en el envase (AF), naturales o intrínsecos, mediante la ecuación 2, donde ATFt son los azúcares totales de la fruta, obtenidos de tablas como la 4a y 4b o publicaciones confiables, y por el jarabe original del mismo (AJ), conceptualmente los AA, según la ecuación 3, en la que se utilizan los  $\text{SS}_J$  calculados en (1) ya que, por definición, los  $^{\circ}\text{Brix}$  equivalen a porcentaje de sacarosa m/m.

$$\text{AF (g)} = \text{CNE (g)} * \text{ATFt (\%)} / 100 \quad (2)$$

$$\text{AJ (g)} = \text{AA (g)} = (\text{CNT} - \text{CNE}) (\text{g}) * \text{SS}_J / 100 \quad (3)$$

$$\text{AT (g)} = \text{AF (g)} + \text{AJ (g)} \quad \text{y} \quad (4)$$

$$\text{AT \%} = \text{AT (g)} * 100 / \text{CNT} \quad (5)$$

En tercera instancia, los AT (teóricos) se calculan mediante las ecuaciones 4 y 5 y, si el azúcar

empleado fuera sacarosa pura, deberían coincidir con los AT hallados en el producto en forma analítica. En la práctica, se encontrarán diferencias debido a que, como puede observarse en la Tabla 5, el jarabe de glucosa frecuentemente utilizado en reemplazo parcial de la sacarosa, puede aportar un menor contenido de azúcares mientras mantiene su valor de SS, debido a la presencia de dextrinas. Sin embargo, los AF no se modifican ni varían, por lo que el cálculo de los AA reales, restando los AF % calculados para el producto de los AT hallados mediante análisis, resulta plenamente válido y confiable.

El método resulta igualmente confiable para el control de productos envasados en agua, con o sin agregado de edulcorantes no calóricos, en cuyo caso, se calcularán los SSe ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) en la ecuación 1, los que podrán ser contrastados con los obtenidos en el análisis.

Aunque por razones de espacio no se incluyen los cálculos, un ejemplo realizado utilizando los valores  $\text{CNT} = 820 \text{ g}$ ;  $\text{CNE} = 485 \text{ g}$  y  $\text{SSe} = 14,1^{\circ}\text{Bx}$ , que corresponden a valores mínimos reglamentarios para duraznos en jarabe diluido, arroja valores de  $\text{AA} \cong 0,62 * \text{AT}$ , lo que supera ampliamente los estimados para el cálculo por el método de la OPS (Tabla 2). Igualmente, aun cuando el producto se envasara con valores mínimos en jarabe muy diluido ( $10^{\circ}\text{Bx}$ ), correspondería uso de sellos de advertencia debido a que los AA superan ampliamente los valores de corte para ambas etapas, aun cuando ni siquiera se restituyen los SS originales de la fruta. Esto debido a la forma autorreferencial establecida por la OPS para la determinación de los contenidos de nutrientes críticos, adoptada luego sin más por Argentina.

#### *Yogur y otras leches fermentadas.*

La leche es otro alimento que contiene un azúcar natural, la lactosa, disacárido con poder reductor del cobre, aunque menor que el de la glucosa. Al igual que en las frutas, esta propiedad no puede utilizarse para discriminar entre azúcares naturales y añadidos. Sin embargo, a diferencia de aquellas, en la leche resulta más fácil el cálculo de los AA, ya que presenta una relación lactosa (L) / proteína (P) más o menos constante, siendo  $L / P \cong 1,6$  (según valores mínimos reglamentados de proteína

y extracto seco no graso, por CAA). Si bien parte de la lactosa se transformará en ácido láctico durante la fermentación, debido a que 1 mol de lactosa produce, aproximadamente, 4 moles de ácido, la reducción será inferior al 10% del azúcar original cuando se alcance la acidez máxima permitida en el yogur (1,5 % ácido láctico). En ese caso, la relación sería  $L / P \cong 1,5$ , por lo que, a los efectos del cálculo se recomienda utilizar el valor original en la leche. Esta relación no se ve afectada por la práctica habitual de incorporación de sólidos lácteos en las formulaciones, ya que los mismos deberían mantener la proporción de los nutrientes lácteos y, en caso de añadirse mayor cantidad de lactosa, esta debería considerarse AA. De esta forma, para el cálculo de los AA, se determinarán los AT por análisis de laboratorio y se restará la lactosa calculada a partir de su relación con el contenido proteico del producto, determinado analíticamente, según la ecuación 6.

$$AA (\%) = AT (\%) - 1,6 * P (\%) \quad (6)$$

#### *Mermeladas, dulces y jaleas.*

Las confituras (C) (art. 807 del CAA) se obtienen por cocción de frutas, hortalizas o tubérculos con azúcares y/o miel e incluyen mermeladas, dulces, jaleas, frutas en almíbar y confitadas, entre otras. Entre los valores reglamentados se encuentran la proporción mínima de fruta respecto de los azúcares (45 : 55 para dulces y mermeladas) y la concentración final mínima de sólidos solubles de los productos (65 °Brix). Al igual que en las frutas en conserva, los AA pueden calcularse mediante balances de materia, aunque para lograr exactitud total en los resultados se requeriría conocer la proporción fruta (F) : azúcar (A) empleada en la formulación inicial, la que suele variar de  $F/A \cong 1,5$  (650 g A/kg de F) en recetas para confituras caseras a  $1 \geq F/A \geq 0,8$  (1 a 1,25 kg A/kg de F) en elaboraciones industriales. Sin embargo, ya que aún un pequeño agregado de azúcar determinará que el producto deba llevar el sello de advertencia de Exceso en Azúcares y que la reglamentación permite una tolerancia de  $\pm 20\%$  en los valores de nutrientes declarados en la INO, el error cometido al utilizar una relación diferente a la real para el cálculo, no tendrá relevancia alguna.

Al igual que en las conservas, en caso de agregarse sólo sacarosa, los azúcares totales (AT) medidos por análisis químicos serán prácticamente

coincidentes o se encontrarán muy cercanos a los obtenidos por cálculo y presentan diferencias pequeñas entre formulaciones, ya que dependen, fundamentalmente, de la concentración final de SS del producto. En cambio, la cantidad de producto terminado obtenido sí varía enormemente, con las implicancias económicas que eso conlleva.

El balance de materia para SS de la ecuación 7, permite, en primera instancia, calcular la masa de confitura (C) obtenida según las cantidades de fruta (F) y azúcar (A) utilizadas.

$$F (g) * SS_F (^\circ Bx) + A (g) * 100 (^\circ Bx) = C (g) * 65 (^\circ Bx) \quad (7)$$

Las cantidades de confitura obtenidas por kg de fruta, para las diferentes relaciones F / A planteadas serán:

$$a) 1000 g * 11^\circ Bx + 650 g * 100^\circ Bx = C g * 65^\circ Bx \Rightarrow C = 1169 g$$

$$b) 1000 g * 11^\circ Bx + 1000 g * 100^\circ Bx = C g * 65^\circ Bx \Rightarrow C = 1708 g$$

$$c) 1000 g * 11^\circ Bx + 1250 g * 100^\circ Bx = C g * 65^\circ Bx \Rightarrow C = 2092 g$$

Los azúcares aportados por la fruta (AF) se calculan según la ecuación 2 y los AA corresponden al azúcar utilizado en la formulación, por lo que, por kilogramo de fruta y las relaciones F/A planteadas, serán, para durazno:

$$AF = F (g) * AT_{Ft} / 100 = 1000 g * 8 / 100 = 80 g \quad (8)$$

$$AA = A (g) = (a) 650 g; (b) 1000 g; (c) 1250 g \quad (9)$$

Como ya puede advertirse de las ecuaciones 8 y 9, los azúcares aportados por la fruta en las confituras, cualquiera sea la proporción de fruta utilizada, representan un porcentaje muy bajo frente a los AA, los cuales representan, para las relaciones F/A mencionadas, entre el 89% y el 94% de los AT del producto final. Por esta razón, el uso de un factor de 0,92 (AA = 92 % de los AT) no introduce errores significativos en el cálculo de los AA en este tipo de productos y pueden utilizarse en la INO aun sin conocer o tener en cuenta la proporción de fruta inicial en su elaboración, por lo que deberían calcularse como

$$AA \cong 0,92 * AT \quad (10)$$

Una vez más, este valor difiere en mucho con el propuesto por la OPS según la Tabla 3. El uso de edulcorantes nutritivos diferentes de la sacarosa, especialmente jarabe de glucosa, no influiría en los cálculos, pudiendo utilizarse la ecuación 10 para

ellos, aunque en la misma deben emplearse los valores de AT reales en la confitura, determinados analíticamente, que pueden ser inferiores a los calculados en los balances, dependiendo del porcentaje de azúcar reemplazado, debido a las razones discutidas en 3.4.3.1

Con relación a los productos abordados en este apartado, cabe señalar que la concentración final de azúcares, por encima de 65 °Bx en mermeladas, dulces y jaleas, influye no sólo en la gelificación de los productos, la cual, a su vez, afecta su capacidad de conservación y textura, sino también en sus características sensoriales, tanto color como sabor y aroma, proporcionadas principalmente por la caramelización parcial de azúcares durante el calentamiento, especialmente hacia el final de la elaboración, cuando la mezcla alcanza temperaturas mucho más altas debido a la elevación del punto de ebullición por su mayor contenido de sólidos disueltos. Desde el punto de vista nutricional, sea cual sea la formulación inicial empleada, todos estos productos aportarán siempre cantidades de azúcares y valores energéticos similares, los que dependen de la concentración final de SS y no de la proporción inicial de fruta en la formulación.

En cuanto a las mermeladas light, reducidas en su valor energético, su objetivo es presentar al consumidor productos de características sensoriales parecidas a los de referencia (normales), aunque con menor contenido de azúcares o energía, lo que puede lograrse: a) con formulaciones similares a los de referencia pero con menor concentración final de SS (40 °Bx), en las cuales los AA pueden calcularse con la misma ecuación 10, según los AT que presente el producto, o de las 8 y 9 a partir de la declaración del elaborador de la proporción de fruta utilizada, si fuera mayor que las relaciones F/A consideradas más arriba, o b) sin agregado de azúcares ya sea solamente por concentración de los sólidos de la fruta o con agregado de sustancias sustitutas (calóricas como polialcoholes o no, como la polidextrosa o inulina), para aumentar los sólidos totales y obtener mayor cantidad de producto final para una misma cantidad de fruta inicial. En este último caso, aunque el valor de AA = 0, los AT hallados por análisis deben ser compatibles con la proporción utilizada de fruta y demás ingredientes, los que deberían cuantificarse mediante métodos adecuados para su verificación, generalmente instrumentales (Ej. HPLC-MS u otros)

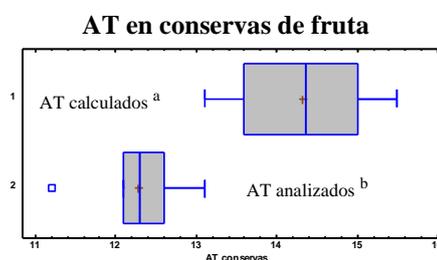
En cualquier caso, para su elaboración se requiere el uso de múltiples aditivos (edulcorantes, conservantes, colorantes, aromatizantes, gelificantes, espesantes, acidulantes, etc.) a los fines de lograr tanto su conservación y vida útil razonable, como características sensoriales aceptables en comparación con las referencias reglamentadas en el CAA.

#### Dulce de leche.

En este producto, al igual que en el yogur y otras leches fermentadas, la cantidad de AA puede calcularse mediante la ecuación 6, ya que el contenido de azúcar natural de la leche mantiene la relación indicada en la misma con la cantidad de proteína hallada en el dulce, determinada analíticamente. Sin embargo, al igual que en confituras, los AA representarían un porcentaje muy alto de los AT del producto, en el cual también puede reemplazarse parcialmente la sacarosa por jarabes edulcorantes.

### 3.5 Desempeño del método

La exactitud de los métodos presentados depende fuertemente de la determinación analítica del contenido de AT del alimento a ensayar, aunque cualquier método validado / verificado puede cumplir satisfactoriamente el requisito. La figura 1 muestra que los AT calculados en el balance de materia son estadísticamente superiores ( $\alpha = 0,05$ ) a los reales, ya que se incluye como sacarosa agregada todo el valor de SS requeridos para completar los °Brix requeridos reglamentariamente para el jarabe declarado, lo que produciría una sobreestimación de los AA. Sin embargo, el sesgo o error se elimina utilizando el balance de materia para el cálculo del azúcar aportado por la fruta y determinando analíticamente los AT del alimento.



**Figura 1.** Valores de AT estimados por cálculo y analizados en frutas en conserva en jarabe diluido. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para  $\alpha = 0,05$

#### 4. Conclusiones

La aplicación de cálculos de balance de materia a partir del contenido de AT y otros parámetros de sencilla determinación en cualquier laboratorio, incluso de baja complejidad y el conocimiento del contenido de azúcares naturales de los ingredientes que los poseen en cantidades significativas a partir de tablas de composición u otras publicaciones confiables, permite estimar en forma objetiva los AA en diferentes alimentos, tanto para su declaración en la INO y requerimientos de etiquetado frontal, como para el control de los valores declarados, si fuere necesario.

#### 5. Conflictos de intereses.

Las autoras declaran no poseer conflictos de intereses, aunque la presentación de los métodos realizada en este trabajo no implica su acuerdo con la forma de establecer los requerimientos de sellos de advertencia en el etiquetado frontal y/o los valores de corte para los nutrientes críticos, adoptada en la reglamentación de la Ley 27642 e incorporada en el art. 226 del CAA, la que consideran debería ser revisada y establecida con base en criterios más objetivos y debidamente validados para todo tipo de alimentos.

#### 6. Referencias

Amoutzopoulos, B.; Steer, T.; Roberts, C. y otros ocho autores (2018) *A Disaggregation Methodology to Estimate Intake of Added Sugars and Free Sugars: An Illustration from the UK National Diet and Nutrition Survey*. *Nutrients* 2018, 10, 1177; doi:10.3390/nu10091177

ANMAT (2022) *Manual de aplicación. Rotulado Nutricional Frontal. Aplicación de la Ley N° 27642 y el Decreto N° 151/22*. En <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files>

BORA Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.boletinoficial.gob.ar>

Bowman, S.A. (2017) *Added sugars: Definition and estimation in the USDA Food Patterns Equivalents Databases*. *Journal of Food Composition and Analysis*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.013>

Buss DH, Lewis J & Smithers G (1994) *Non-milk extrinsic sugars (letter)*. *J Hum Nutr Diet* 7, 87.

CAA Código Alimentario Argentino. Capítulo 5 Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/codigoalimentario>.

Eurolab España. P.P. Morillas y colaboradores. (2016) *Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados 1ª edición en español*. Disponible en [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org)

FDA. Food and Drug Administration. (2020) *Azúcares añadidos: Ahora incluidos en la etiqueta de información nutricional*. <http://www.fda.gov/NewNutritionFactsLabel>

Finch, S., Doyle, W., Lowe, C, Bates CJ, Prentice A & Smithers G (1998) *National Diet and Nutrition Survey, People Aged 65 Years and Over*, vol. 1. London: HMSO.

Gregory, J.R.; Collins, D.L.; Davies, PSW, Hughes JM & Clarke OC (1995) *National Diet and Nutrition Survey Children Aged 1.5–4.5 Years*, vol. 1. London: HMSO.

Gregory, J.; Lowe, C.; Bates, C.J.; Prentice, A.; Jackson, L.V. y Smithers, G. (2000) *National Diet and Nutrition Survey Young People Aged 4 to 18 Years*, vol. 1. London: Stationery Office.

Kelly, S. A. M; Rugg-Gunn, A. J. y Summerbell, C. D. (2003) *Review of methods used to estimate non-milk extrinsic sugars*. *J Hum Nutr Dietet*, 16, pp. 27–38

Kelly, S. A. M.; Summerbell, C. D.; Rugg-Gunn, A. J.; Adamson, A.; Fletcher, E y Moynihan, P. J. (2005) *Comparison of methods to estimate non-milk extrinsic sugars and their application to sugars in the diet of young adolescents*. *British Journal of Nutrition*, 93, 114–124

Louie, J.C; Moshtaghian, H; Boylan S; Flood V.M.; Rangan, A.M; Barclay, A.W. y dos mas. A systematic methodology to estimate added sugar content of foods. *Eur J Clin Nutr*. 2015;69 (2):154–61.

Mahajan, A.; Yu, J.; Hogan, J.L. y otros nueve autores. (2021) *Dietary sugar intake among preschool-aged children: a cross-sectional study* *CMAJ Open* 2021 September 14. DOI:10.9778/cmajo.20200178

Mills A (1994) *The Dietary and Nutritional Survey of British Adults – Further Analysis*. London: HMSO.

MINSAL (2022) *Manual de etiquetado nutricional de alimentos 3ª Edición*. Departamento Nutrición y Alimentos. División de Políticas Saludables y Promoción, Subsecretaría de Salud Pública. Ministerio de Salud. Santiago, Chile, 2022

MTyP, Secretaría de Gobierno de Agroindustria y la Subsecretaría de Comercio Interior del Ministerio de Producción y Trabajo. (2018) *Informe “Rotulado Frontal”*. Recuperado de [https://alimentosargentinos .magyp.gob.ar](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar) > Rotula...

OPS /OMS (2016) *Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud*. En <https://iris.paho.org> > 9789275318737\_spa.

Roodenburg, A.J; Popkin, B.M. y Seidell, J.C. *Development of international criteria for a front of package food labelling system: the International Choices Programme*. Eur J Clin Nutr. 2011;65 (11):1190–200.

Rugg-Gunn, A.J., Adamson ,A.J; Appleton, D.R; Butler T.J. y Hackett A.F. (1993) *Sugars consumption by 379 11–12 year-old English children in 1990 compared with results in 1980*. J Hum Nutr Diet 6, 419–431.

Scapin, T.; Louie, J.C y otros siete autores (2021) *The adaptation, validation, and application of a methodology for estimating the added sugar content of packaged food products when total and added sugar labels are not mandatory*. Food Research International 144 (2021) 110329. Disponible en [http://www.elsevier.com/open-access/userlicense /1.0/](http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/).

USDA United States Department of Agriculture. 2006. USDA Database for the Added Sugars Content of Selected Foods. En [http://www.ars.usda.gov /Main/docs.htm?docid=12107](http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=12107).

Senser, F. y Scherz, H. (1999) *El pequeño “Souci-Fachmann-Kraut” Tablas de composición de alimentos*. Instituto Alemán de Investigación de Química de los Alimentos. Acribia. España

## Estudio de las curvas de adsorción en una columna de lecho fijo

### Study of breakthrough curves in fixed-bed column adsorption

Jimena B Dima<sup>1,2</sup>, Ivan Mandelman<sup>1,3</sup>, Noemi Zaritzky<sup>4</sup>, Mariano A Ferrari<sup>1,3</sup>.

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia. San Juan Bosco (UNPSJB). Bv. Brown 3051 Puerto Madryn, Chubut.
2. Instituto de Biología de Organismos Marinos (CCT CONICET- CENPAT). Bv. Brown 2915. Puerto Madryn, Chubut.
3. Centro Para el Estudio de Sistemas Marinos (CCT CONICET- CENPAT). Bv. Brown 2915 Puerto. Madryn, Chubut.
4. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP). Calle 1 y 47 La Plata, Buenos Aires.

E-mail [mferrari7@gmail.com](mailto:mferrari7@gmail.com)

#### Resumen

Las columnas de adsorción de lecho fijo son el método más aplicado a nivel industrial en el proceso de tratamiento de aguas residuales contaminadas. El proceso de transferencia en la columna se describe a través de una ecuación de balance de masas y una ecuación que describe la cinética de intercambio entre la fase líquida y la sólida. El objetivo de este trabajo fue describir el proceso de intercambio de materia en una columna de adsorción a través del análisis de las ecuaciones del proceso y sus soluciones analíticas. En este trabajo se consideró una ecuación de intercambio general con cuatro parámetros que abarcan varios de los casos descritos en la literatura. Se encontró la solución general del modelo utilizando el método de la transformada de Laplace, y se analizó la forma de la solución en relación a valores particulares de los parámetros propuestos. La solución general encontrada fue aplicada para describir la adsorción del metal Cr (VI), altamente tóxico, sobre el biopolímero quitosano, extraído de descartes pesqueros. El análisis de las soluciones analíticas como sus características para distintas cinéticas de intercambio son una herramienta útil para describir el proceso de adsorción y tomar decisiones sobre el diseño de la columna.

Palabras clave: modelado matemático, adsorción en columnas, soluciones analíticas, transformada de Laplace.

#### Abstract

Continuous fixed-bed column adsorption for wastewater treatment provides the most practical application for the industry. The transfer process in the column can be described using a mass balance equation and an exchange kinetics equation between the liquid and the solid phase. The objective of this work was to describe the mass-transfer in an adsorption column, analyzing the equations of the process and their analytical solutions. In this work, a general exchange equation, with four parameters, that cover several of the cases described in the literature was considered. The general solution of the model was found using the Laplace transform method. The shape of the solution, in relation to particular values of the proposed parameters, was analyzed. The general solution was applied to describe the adsorption of the Cr (VI), highly toxic metal, on the chitosan biopolymer, extracted from fishing discards. Analysis of analytical solutions as their characteristics for different exchange kinetics is a useful tool for describing the adsorption process and to make decisions on column design.

Keywords: mathematical model, column adsorption, analytical solutions, Laplace transform.

#### 1. Introducción

La contaminación de las aguas es uno de los aspectos más preocupantes de la degradación de los medios naturales. Existen varios procesos aplicados al tratamiento del agua, siendo el proceso de adsorción uno de los más recomendados por su versatilidad y bajo costo. Los estudios de adsorción

se pueden realizar por lotes o de forma continua. La columna de adsorción de lecho fijo (continuo), a diferencia de los sistemas por lote (batch), no funciona bajo condiciones de equilibrio debido a que continuamente se introduce a la columna la solución de alimentación, llevándose a cabo un proceso de transferencia de masa entre una fase móvil (contaminante) y otra que se encuentra fija (adsorbente). El sistema continuo, columnas de

adsorción, es el de mayor aplicación a nivel industrial (Xu *et al.*, 2013). El movimiento progresivo de la zona de adsorción, desde el inicio de la columna al comienzo de su funcionamiento, hasta el final de la misma cuando el adsorbente se encuentra saturado, puede analizarse mediante la representación de las llamadas "curvas de ruptura". El proceso de transferencia en una columna se puede describir a través de una ecuación de balance de masa y una ecuación que describe la cinética de intercambio entre la fase líquida y la sólida, esta última se relaciona con la cinética y las isothermas observadas en los experimentos batch. El estudio de la cinética de adsorción y sus soluciones resulta de interés a la hora de predecir comportamientos y contar con parámetros de descripción de las curvas de adsorción (o de ruptura). Casos particulares de estas ecuaciones, que abarcan diferentes complejidades, fueron resueltas muchos años antes, siendo algunos de estos modelos de intercambio ampliamente usados en la actualidad para describir las curvas de adsorción (Bohart Adams, 1920; Thomas, 1944). Goldstein (1953, 1953a) presentó una solución general que abarca la mayoría de los casos estudiados previamente.

El objetivo de este trabajo es describir el proceso de intercambio de materia en una columna de adsorción a través del análisis de las ecuaciones del proceso y sus soluciones analíticas. En el presente trabajo se generalizó la solución propuesta por Goldstein agregando un parámetro independiente a la ecuación de intercambio. Se resolvió el correspondiente sistema utilizando la Transformada de Laplace. Asimismo, a partir de la solución obtenida se aplicó una aproximación numérica para estudiar las características de las curvas de adsorción en relación a los parámetros cinéticos y de diseño relacionados a las columnas. Por último, se proyectaron las curvas teóricas obtenidas y se validaron con curvas experimentales de adsorción de Cr(VI) en partículas de quitosano.

## 2. Materiales y métodos

### Planteo del modelo matemático.

Cuando el soluto en la fase líquida ingresa en una columna empaquetada con un adsorbente sólido el proceso de transferencia en la columna se describe a través de una ecuación de balance de masa:

$$\nu \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial c}{\partial t} + \rho \frac{\partial q}{\partial t} - D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

y una ecuación de intercambio que describe la cinética entre la fase líquida y la sólida:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = f(c, q), \quad (2)$$

dónde  $z$  (cm) representa la coordenada espacial altura desde el ingreso de la solución a la columna, y  $t$  (s) la coordenada temporal,  $c$  (mg.l<sup>-1</sup>) es la concentración del soluto en la fase líquida,  $q$  (mg.g<sup>-1</sup>) la concentración del soluto en el adsorbente,  $\nu$  (cm.s<sup>-1</sup>) el flujo lineal,  $\rho$  (g.l<sup>-1</sup>) una constante de densidad aparente del adsorbente y  $D$  el coeficiente de difusión axial. La forma y nivel de complejidad de la ecuación de intercambio (Ec 2), que expresa la variación de  $q$  en términos de  $c$  y  $q$ , es responsable de la diferencia esencial entre los diversos modelos estudiados en la literatura para predecir las curvas de adsorción. En este trabajo consideraremos una familia de ecuaciones de intercambio con 4 parámetros que abarca varios de los casos descritos en la literatura:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = k(c - k_{(q)}q - k_{(cq)}cq - k_0) \quad (3)$$

Ya que la solución de entrada en columna es forzada, la difusión se desprecia en general para este tipo de modelos, por lo que asumiremos que  $D=0$ . Asumiremos además que ingresa a la columna una solución de concentración inicial constante  $c_0$  a partir del instante  $t=0$  por lo que las condiciones de borde son:  $q = 0$  para  $t \geq 0$ ,  $z \geq \nu t$ , y  $c = c_0$  para  $z = 0$ ,  $t > 0$ .

Aplicando el cambio de variable:  $x = \rho z/\nu$ ,  $y = kc_0(t-z/\nu)$ , y definiendo además las variables  $u = c/c_0$  y  $v = q$  resulta el siguiente sistema:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = u - av - buv - d$$

con  $v(x,0) = 0$ , para todo  $x \geq 0$ , y  $u(0,y) = 1$  para todo  $y > 0$ . Dónde la segunda ecuación de sistema (Ec 4) se relaciona directamente con la ecuación de intercambio propuesta Ec (3), ya que  $\partial v/\partial y = \partial q/\partial y = 1/(kc_0) \cdot \partial q/\partial t$  por lo que  $a = k_q/c_0$ ,  $b = k_{(cq)}$ ,  $d = k_0/c_0$ .

En el presente trabajo el problema planteado en la Ec (4), con las condiciones iniciales y de borde dadas, fue resuelto utilizando el método de la Transformada de Laplace, obteniendo de este modo fórmulas generales para  $u(x,y)$  (curvas solución). Luego, teniendo en cuenta los cambios de variable, se obtiene la curva de ruptura  $c(z,t)/c_0$ .

### Proyección en base a isothermas experimentales.

Para validar las curvas solución obtenidas y compararlas con curvas experimentales se analizaron estudios de adsorción de cromo sobre

partículas de quitosano, tanto en experimentos continuos como en experimentos por lote.

Se obtuvieron valores experimentales para las constantes  $k_{(q)}$ ,  $k_{(cq)}$  y  $k_0$  de la ecuación de intercambio (Ec 3). Dichos parámetros se obtienen directamente de las isotermas de adsorción de los experimentos por lote. Por otro lado, se fijaron valores para la constante cinética  $k$  y la densidad aparente  $\rho$ . A partir de estos valores se proyectaron curvas de ruptura para tres columnas con diferentes condiciones operativas y las mismas se validaron.

### 3. Resultados y Discusión

#### La solución general y los casos particulares

La solución general del sistema (Ec 4) para la función  $u(x,y)$  obtenida está dada por:

$$u(x, y) = \frac{dA(x, y) + B(x, y)}{A(x, y) + B(x, y)} \quad (5)$$

siendo

$$A(x, y) = \exp(bx) \exp\left((d-1)by\right) \left(1 - J\left(x, (a+bd)y\right)\right)$$

$$B(x, y) = \exp\left(\frac{(a-1+b+d)b}{a+b}x\right) J\left(\frac{(a+bd)}{a+b}x, (a+b)y\right)$$

y

$$J(x, y) = 1 - e^{-y} \int_0^x e^{-\tau} I_0(2\tau^{\frac{1}{2}}y^{\frac{1}{2}})d\tau$$

La función  $J$  es característica de este tipo de sistemas y puede expresarse como una integral impropia donde  $I_0$  es la función de Bessel modificada de primer tipo de orden 0. Casos particulares del sistema (Ec 4) fueron estudiados con anterioridad y existen soluciones en la literatura que datan de varios años de antigüedad. El caso  $a = d = 0$  fue resuelto por Bohart y Adams (1920), la isoterma de adsorción correspondiente es una isoterma rectangular (irreversible) y en este caso la curva de ruptura puede aproximarse por una función logística por lo que este es el modelo más ampliamente usado para describir el proceso de adsorción (Chu, 2010, 2020; Dima *et al.*, 2020). El caso  $b = d = 0$  fue estudiado, entre otros, por Anzelius (1926) en el caso de un problema de intercambio de calor.

En este caso la isoterma correspondiente es lineal, la solución depende de una integral impropia que no puede resolverse en general y por lo tanto debe aproximarse numéricamente. El caso  $d = 0$ ,  $a, b > 0$  fue estudiado y resuelto por Thomas (1944) y también fue analizado por Hiester y Vermeulen (1952).

La isoterma correspondiente es la isoterma de Langmuir, que se aproxima a la isoterma rectangular cuando  $a$  tiende a cero y a la isoterma lineal cuando  $b$  tiende a cero. Por último, Goldstein (1953, 1953a) resuelve un problema que generaliza los anteriores y hace en un estudio profundo de diversas aproximaciones de la solución considerando además otro tipo de condiciones iniciales, entre otros análisis. La solución encontrada (Ec 5) en este trabajo generaliza la propuesta por Goldstein (1953), ya que se agrega un término independiente  $d$  a la ecuación de intercambio (Ec 3). La solución (Ec 5) se obtuvo utilizando la Transformada de Laplace, a diferencia de Goldstein que utiliza un método operacional muy difícil de referenciar en la actualidad. De la solución general (Ec 5) se pueden describir los casos particulares mencionados anteriormente.

Así para el caso  $b = 0$ :

$$u(x, y) = d + (1 - d)J(x, ay) \quad (6)$$

la solución coincide con la descrita por Anzelius (1926). En el caso  $a = d = 0$ , se obtiene la solución de Bohart y Adams (1920):

$$u(x, y) = \frac{e^{(b-1)x}}{e^{b(x-y)}(1 - e^{-x}) + e^{(b-1)x}} \quad (7)$$

y este es el único caso en el que la solución no depende de la función  $J$  y sólo intervienen funciones exponenciales.

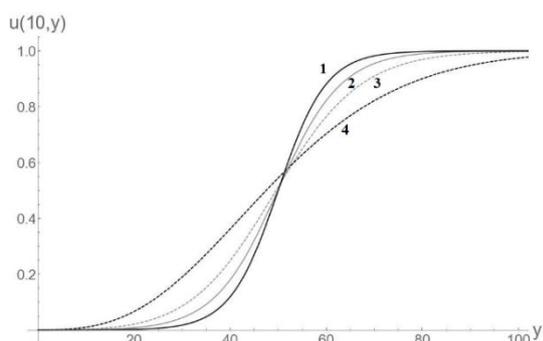
En cuanto a la curva de ruptura asociada al modelo, la solución general está dada por:

$$\frac{c(z, t)}{c_0} = u\left(k\rho\frac{z}{\nu}, kc_0\left(t - \frac{z}{\nu}\right)\right) \quad (8)$$

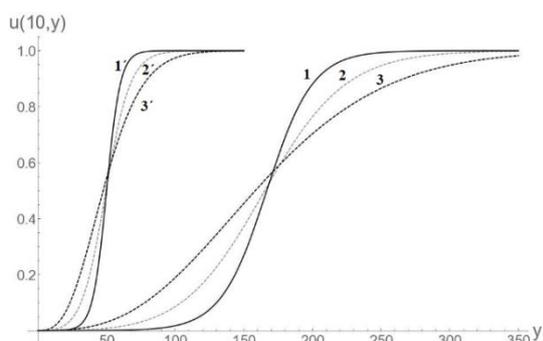
#### Análisis preliminar de las soluciones

Fijado un valor de  $x$ , la forma de la solución general  $u(x,y)$  en función de  $y$ , siempre corresponde a una curva en forma de  $s$  tal que  $u(x,0) = d(1-e^{-x})+e^{-x}$  y  $u(x,y) \rightarrow 1$  cuando  $y \rightarrow \infty$ . A partir de la solución general (Ec 5) puede observarse que, cuando la suma  $a+b$  permanece constante el perfil de la solución depende de la diferencia entre  $a$  y  $b$ , correspondiendo los casos extremos  $a = 0$  a la solución exponencial de Bohart y Adams y  $b = 0$  a la solución de Anzelius (Figura 1). Por otro lado, la posición de la curva depende del valor de  $a+b$  siendo la curva más próxima al eje  $y$  cuando  $a+b$  aumenta su valor (Figura 2). Respecto de la constante  $d$ , se observa que eleva la línea base de la solución, pero no cambia el perfil general de la curva (Figura 3), cuando  $d > 0$ , correspondería a un aporte constante del soluto, que podría observarse por ejemplo si el adsorbente está compuesto por material reutilizado.

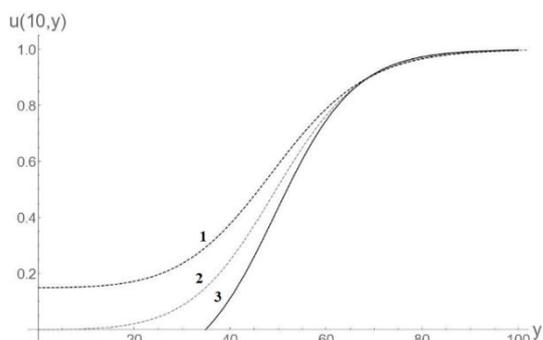
El parámetro  $d$  incorporado no cambia sustancialmente la forma y características de la solución general.



**Figura 1.** Proyección de curvas solución caso  $a+b$  cte y  $d=0$ . 1)  $a=0, b=0.2$  Bohart Adam; 2)  $a=0.05, b=0.15$ ; 3)  $a=0.1, b=0.1$ ; 4)  $a=0.2, b=0$  Alzenius.



**Figura 2.** Proyección curvas solución  $a+b$  cte y  $d=0$ . 1)  $a=0, b=0.2$  Bohart Adam; 2)  $a=0.05, b=0.15$ ; 3)  $a=0.2, b=0$  Alzenius. 1)  $a=0$  y  $b=0.06$  Bohart Adam 2)  $a=0.03$  y  $b=0.03$ ; 3)  $a=0.06$  y  $b=0$  Alzenius

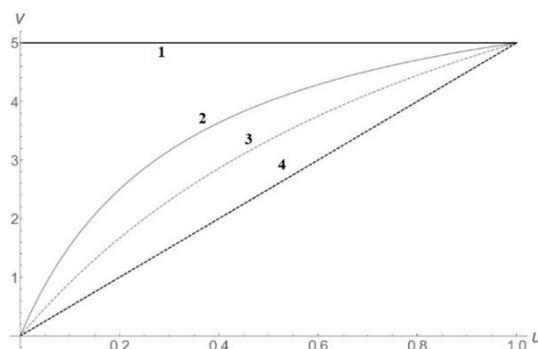


**Figura 3.** Proyección curvas solución en función del parámetro independiente  $d$ . 1)  $d>0$ , 2)  $d=0$  y 3)  $d<0$

Los perfiles de las curvas solución (Ec 5) pueden relacionarse con las isotermas de adsorción en batch. La isoterma teórica asociada al modelo corresponde a las concentraciones de equilibrio que se obtienen al igualar  $\partial v/\partial y = \partial q/\partial t = 0$  en la ecuación (Ec 4):

$$v = \frac{u - d}{bu + a}$$

El caso  $k_{(q)} = a = 0$ , corresponde a una isoterma rectangular en donde la concentración de equilibrio no depende de la concentración en la solución y es el caso más favorable de adsorción como se evidencia en el perfil empinado de la curva solución (Fig. 1 y Fig. 4, Curva 1 - Caso Bohart-Adams). Por el contrario, el caso  $k_{(cq)} = b = 0$  corresponde a una isoterma lineal y es el caso menos favorable de adsorción (Figura 1 y Figura 4, curva 4 - Caso Alzenius).



**Figura 4.** Isotermas de adsorción batch teóricas en las variables  $u, v$ . Los colores y numeración se corresponden a la figura 1: 1)  $a=0, b=0.2$  Isoterma rectangular asociada a Bohart Adams; 2)  $a=0.05, b=0.15$  isoterma tipo Lagmuir; 3)  $a=0.1, b=0.1$  Isoterma tipo Lagmuir; 4)  $a=0.2, b=0$ . Isoterma lineal asociada a Alzenius

Observemos que cuando la concentración inicial es grande  $a=k_q/c_0$  tiende a 0 y la curva solución se aproximará a un modelo exponencial donde la concentración de equilibrio tiende a la concentración máxima que puede alcanzar el adsorbente  $q_{max}=1/k_{(cq)}$ .

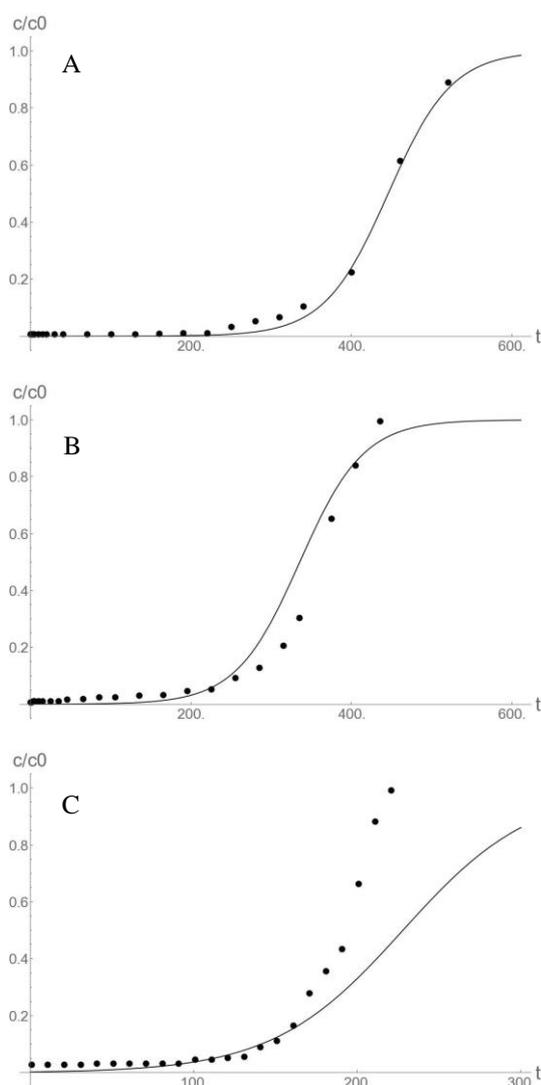
#### Validación de la solución general a través de curvas experimentales

Para validar la consistencia de la solución general  $u(x,y)$  se proyectaron 3 curvas de ruptura para la misma concentración inicial pero distinta altura y caudal lineal, las curvas proyectadas se compararon con las curvas experimentales observadas por Dima *et al.*, 2020 (Figura 5).

En base a las isotermas de adsorción experimentales en sistemas batch obtenidos por Dima *et al.*, 2015 se estimaron los parámetros:  $k_{(cq)} = 0.004$  y  $k_{(q)} = 0.021$ . Luego se fijaron los parámetros  $k = 0.07 \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $\rho = 81 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  de forma tal que la curva proyectada muestre un ajuste aceptable a la una curva de ruptura experimental con concentración inicial  $c_0 = 90 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , altura  $h = 2 \text{cm}$  y caudal lineal  $v = 0.95 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$  (Figura 5A).

Se observó que los valores de  $k$  y  $\rho$  se encuentran dentro del rango esperable para las condiciones

experimentales analizadas. Estos mismos valores se utilizaron para proyectar otras curvas ruptura a diferente altura de lecho y caudal de entrada (Figura 5 B, C). Si bien el ajuste no es del todo consistente, las curvas teóricas aproximan el rango donde empieza a elevarse el perfil de la curva, es decir donde aumenta la concentración de Cr(VI) a la salida de la columna.



**Figura 5.** Proyección de curvas de ruptura teóricas (líneas llena) con observaciones de curvas de ruptura experimentales (línea punteada). Condiciones:  
 A)  $c_0=90\text{mg.l}^{-1}$ ,  $h=2\text{cm}$  y  $v=0.95\text{cm.min}^{-1}$ ,  
 B)  $c_0=90\text{mg.l}^{-1}$ ,  $h=1.5\text{cm}$  y  $v=0.95\text{cm.min}^{-1}$ ,  
 C)  $c_0=90\text{mg.l}^{-1}$ ,  $h=1.5\text{cm}$  y  $v=1.85\text{cm.min}^{-1}$

#### 4. Conclusiones

Se propuso una generalización de la ecuación de intercambio que describe la cinética de adsorción en una columna de lecho fijo agregando un parámetro independiente. Se resolvió el correspondiente sistema utilizando Transformada

de Laplace. Se analizaron las soluciones encontradas y se compararon con las existentes en la bibliografía. Se relacionaron los parámetros de la solución general con las isotermas de adsorción en experimentos por lote. Por último, se validó la solución encontrada con curvas de ruptura experimentales. El método aplicado de la Transformada de Laplace resultó adecuado para resolver el problema y podría aplicarse también a otras formulaciones de la ecuación de intercambio. La solución teórica encontrada resultó satisfactoria para describir el comportamiento de las curvas de ruptura, particularmente en el rango donde empieza a elevarse el perfil de la curva, es decir donde aumenta la concentración del Cr(VI) a la salida de la columna.

#### 5. Referencias

- Anzelius, A. (1926). *Über Erwärmung vermittelt durchstromender Median*. Z. angew. Math. Mech. 6, 291-294.
- Bohart, G.S.; Adams, E.Q. (1920). *Some aspects of the behavior of charcoal with respect to chlorine*. Journal of the American Chemical Society 42 (3): 523-44.
- Chu, K.H. (2010). *Fixed Bed Sorption: Setting the Record Straight on the Bohart-Adams and Thomas Models*. Journal of Hazardous Materials 177 (1-3): 1006-12.
- Chu, K.H. (2020). *Breakthrough Curve Analysis by Simplistic Models of Fixed Bed Adsorption: In Defense of the Century-Old Bohart-Adams Model*. Chemical Engineering Journal 380: 122513.
- Dima, J.B.; Ferrari, M.; Zaritzky, N. (2020). *Mathematical Modeling of Fixed-Bed Columns Adsorption: Hexavalent Chromium onto Chitosan Flakes*. Industrial & Engineering Chemistry Research 59 (34): 15378-86.
- Dima, J.B.; Sequeiros, C.; Zaritzky, N. (2015). *Hexavalent Chromium Removal in Contaminated Water Using Reticulated Chitosan Micro/Nanoparticles from Seafood Processing Wastes*. Chemosphere 141: 100-111.
- Goldstein, S. (1953). *On the mathematics of exchange processes in fixed columns I. Mathematical solutions and asymptotic expansions*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. 219 (1137): 151-71.
- Goldstein, S. (1953)a. *On the mathematics of exchange processes in fixed columns. II. The equilibrium theory as the limit of the kinetic theory*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. 219 (1137): 171-85.

Hiester, N.K.; Vermeulen, T. (1952). *Saturation performance of ion-exchange and adsorption columns*. Chem. Engng Progr. 48, 505-516.

Thomas, H.C. (1944). *Heterogeneous ion exchange in a flowing system*. Journal of the American Chemical Society 66 (10): 1664-66.

Xu, Z.; Cai, J.G.; Pan, B.C. (2013). *Mathematically modeling fixed-bed adsorption in aqueous systems*. J Zhejiang Univ- SC A, 14(3), 155-176 .

### Apéndice

Observaciones sobre los cálculos para la deducción de la solución.

A partir del sistema dado en la Ec (4) se define la función:

$$F(x, y) = \exp \{b[\psi(x, y) + x - y - 1]\}$$

dónde  $u = \psi_y$ ,  $v = -\psi_x$ . Resulta entonces que  $u = 1 + F_y/(bF)$  y la función  $F$  satisface:

$$F_{xy} + (a + b)F_x + (1 - b)F_y - b(a - 1 + b + d)F = 0$$

con las condiciones  $F(x, 0) = e^{bx}$  cuando  $x \geq 0$ ,  $F(0, y) = 1$  cuando  $y \geq 0$ . Aplicando la transformada de Laplace:

$$\bar{F} = \mathcal{L}(F(x, y), y \rightarrow p)$$

Obtenemos una ecuación ordinaria:

$$\bar{F}_x p - F_x(x, 0) + (a + b)\bar{F}_x + (1 - b)(\bar{F} p - F(x, 0)) - b(a - 1 + b + d)\bar{F} = 0$$

con la condición  $\bar{F}(0, p) = 1/p$ , cuya solución es conocida. Lo que resta entonces para obtener  $u(x, y)$  es anti transformar  $\bar{F}$ . Para esto se utiliza la transformada de la función  $J$ :

$$\mathcal{L}(J(z, y)) = \frac{1}{p} \exp\left(\frac{-pz}{p+1}\right)$$

además de las fórmulas conocidas (las usuales de la transformada de Laplace).

## Proceso combinado de electrocoagulación y electrooxidación para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera.

### Combined electrocoagulation and electrooxidation process for fishery wastewater treatment.

Juan Martín Alvarez<sup>1,3</sup>, María Belén Arrieta Zucalli<sup>1</sup>, Tatiana Sonia Arturi<sup>1,2</sup>, Gustavo Luis Bianchi<sup>1,3</sup>

1. Grupo de Innovación Energética y Ambiental, Instituto Malvinas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata. Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires – Argentina.
2. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata. Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires – Argentina
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz. 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C1425FQB), Buenos Aires, Argentina

E-mail: [arturitiana@gmail.com](mailto:arturitiana@gmail.com)

#### Resumen

Las industrias pesqueras se caracterizan por un gran consumo de agua y un alto contenido de materia orgánica y sal en sus aguas residuales. En este trabajo se estudió a escala de laboratorio un proceso electroquímico combinado para el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de la caballa de una instalación industrial ubicada en la provincia de Buenos Aires que descarga a colectora cloacal, aprovechando la alta conductividad de estos efluentes. La etapa de electrocoagulación con ánodos de aluminio logró remover la fracción más gruesa de la materia en suspensión, lográndose una remoción de DQO de alrededor del 60% a pH 7,5. Se ensayaron distintos tiempos de operación e intensidad de corriente y se comparó la electrocoagulación con el tratamiento convencional de coagulación-floculación, obteniéndose resultados prometedores respecto a este último. El agua residual tratada por electrocoagulación se sometió a una electrooxidación empleando ánodo de grafito y cátodo de titanio, mediante el cual se alcanzó, tras 7,5 minutos de proceso y a pH 6, un valor de DQO final inferior al límite de vertido. Este estudio permitió sentar las bases para el diseño de modificaciones en la planta que permitan alcanzar los parámetros de vertido acordes a la legislación vigente.

Palabras clave: aguas residuales, industria pesquera, electrocoagulación, electrooxidación.

#### Abstract

Fishing industries are characterized by high water consumption and a high content of organic matter and salt in their wastewater. In this work, a combined electrochemical process for the treatment of wastewater from the processing of mackerel from an industrial facility located in the province of Buenos Aires that discharges to the sewer was studied at laboratory scale, taking advantage of the high conductivity of these effluents. The electrocoagulation stage with aluminum anodes was able to remove the coarsest fraction of suspended matter, achieving a COD removal of about 60% at pH 7.5. Different operating times and current intensities were tested, and electrocoagulation was compared with conventional coagulation-flocculation treatment, obtaining promising results with respect to the latter. The wastewater treated by electrocoagulation was subjected to electrooxidation using a graphite anode and a titanium cathode, whereby, after 7.5 minutes of processing and at pH 6, a final COD value lower than the discharge limit was achieved. This study laid the groundwork for the design of modifications to the plant to achieve discharge parameters in accordance with current legislation.

Keywords: wastewater, primary treatment, electrocoagulation, electrooxidation.

#### 1. Introducción

La pesca juega un papel importante en el bienestar económico y social de las naciones. La pesca y sus

recursos constituyen una amplia fuente de alimentos y alimentan a una gran parte de la población mundial, además de ser un enorme sector de empleo (Sunny y Mathai, 2015). Argentina es un país con

una vasta actividad pesquera debido a condiciones favorables para tal explotación como las prolongadas costas sobre el Atlántico Sudoccidental, una plataforma continental de gran extensión y concentraciones importantes de peces pelágicos y demersales (FAO, 2005). Entre las especies más pescadas en el Mar Argentino se encuentran la corvina blanca, la merluza, la pescadilla, la raya, el atún y la caballa, totalizando las mismas en el año 2019 unas 399.616,6 toneladas de pescados desembarcados en todos los puertos de la nación (MAGyP, 2019). De la pesca total del país, aproximadamente la mitad suele corresponder a la ciudad de Mar del Plata, ubicada en la provincia de Buenos Aires, y los principales productos pesqueros industrializados en el país son las conservas de atún, caballa, sardina y filetes de merluza congelados (Dadon y Matteucci, 2006).

La industria pesquera consume una gran cantidad de agua y, en consecuencia, este sector también genera grandes cantidades de aguas residuales. El grado de contaminación en las plantas de proceso de la industria pesquera varía con las operaciones realizadas: puede ser ligero (ej: operaciones de lavado), moderado (ej: fileteado) o fuerte (ej: agua con sangre drenada de los tanques de almacenamiento de pescado). En general, los efluentes del procesamiento de pescado pueden ser caracterizados por sus parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, olor, etc) y su contenido de orgánicos, fósforo y amoníaco. Parámetros importantes por considerar en los mismos son la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Grasas y Aceites (Tay et al., 2006). Generalmente, los efluentes del procesamiento de pescado suelen tener valores de pH relativamente neutros. Los valores de grasas y aceites pueden llegar hasta los 4000 mg/L, el valor de SST y de DBO puede ir desde unos pocos mg/L en ambos casos hasta alrededor de los 10000 y 20000 mg/L respectivamente, y la DQO puede oscilar entre los 500 mg/L y los 90000 mg/L en efluentes particularmente contaminantes (Chowdhury et al., 2010). Estos valores no sólo dependen de la operación de la cual se obtiene el efluente, sino también de la especie procesada. La carga contaminante del procesamiento de pescados azules como el atún, el jurel, el salmón y la caballa es mucho mayor que la de pescados blancos debido a su alto contenido de aceites y al hecho de que estas especies no suelen ser visceradas o limpiadas en el buque pesquero (Mendiola et al., 1998).

El tratamiento de estas aguas residuales es particularmente difícil debido al alto contenido de materia orgánica, sales y a la importante cantidad de aceite y grasa que presentan. Estos factores, junto

con el hecho de que estos efluentes presentan variaciones importantes en función del proceso de producción y de la materia prima procesada, dificultan el cumplimiento de los valores límite de vuelcos de las aguas residuales industriales y afrontar este problema de forma sostenible (Sunny y Mathai, 2015).

Estos efluentes a menudo se someten a un tratamiento previo antes de descargarlos al sistema de alcantarillado para su posterior tratamiento en una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. El tratamiento de los efluentes de este tipo de industria incluye un pretratamiento que consiste en la eliminación de sólidos gruesos (recortes carnosos, espinas, y vísceras), un tratamiento que comprende operaciones unitarias de coagulación y floculación seguido de flotación (Afonso y Bórquez, 2002; Aanand et al., 2017) para remover los contaminantes en suspensión o coloidales. En cuanto a la degradación de la materia orgánica disuelta, las aguas residuales se someten convencionalmente a tratamientos biológicos, sin embargo, una amplia variedad de sustancias inhibitoras, como la elevada salinidad, impiden en algunas ocasiones la aplicación satisfactoria del tratamiento biológico (Sunny y Mathai, 2015).

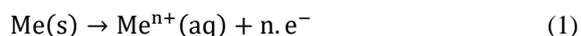
En este contexto los tratamientos electroquímicos, como la electrocoagulación (EC) y la electrocoagulación (EO), se presenta como una alternativa interesante respecto de los métodos mencionados anteriormente. Su versatilidad, eficiencia energética, capacidad de automatización y relación costo-eficacia las vuelven atractivas para aguas residuales con estas características (Feng et al., 2016)

La EC involucra la aplicación de un potencial eléctrico a electrodos metálicos, contenidos en una celda electroquímica, de manera de generar la disolución de uno de ellos, originando productos de hidrólisis (hidróxidos y/o polihidróxidos) que desestabilizan contaminantes formando flóculos con los mismos, los que posteriormente son eliminados por flotación o decantación (Holt et al, 2002; Garcia-Segura et al, 2017). Las reacciones de óxido-reducción también generan pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno que arrastran contaminantes de baja densidad hacia la superficie del cuerpo de agua, facilitando la remoción de estos por flotación (Pavas, 2012). Por su semejanza con la coagulación química (CQ), es importante resaltar que la EC presenta una mayor eficiencia, que se debe a que los cationes generados presentan mayores porcentajes de remoción frente a los provenientes de productos químicos. Además, de usar equipos pequeños es posible obtener costos razonables de funcionamiento, posible automatización y menor

generación de barros (Holt et al, 2002; Belkacem et al., 2010; Elham et al., 2011).

Genéricamente, las reacciones que suceden pueden expresarse según las ecuaciones 1 a 4 (Vepsäläinen y Sillanpää, 2020):

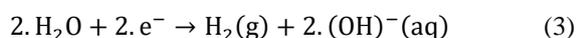
Reacción anódica (disolución del metal):



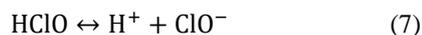
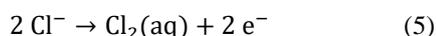
Hidrólisis:



Reacción catódica (formación de hidrógeno e hidróxidos):



La EC, al igual que la CQ, tiene una marcada dependencia con el pH de la solución. Esto se debe a la distribución de especies en el medio en función de este parámetro. A valores bajos de pH, el catión simple del metal  $\text{Me}^{n+}$  es la forma presente; a medida que el pH comienza a aumentar, los hidrocomplejos de los cationes comienzan a aparecer (Barrera-Díaz et al., 2018). Al igual que en la CQ, el aluminio y el hierro son los metales más empleados. En el caso del aluminio, el mismo puede formar numerosos complejos como  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y  $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$ . Sin embargo, respecto a la desestabilización coloidal, la especie más significativa es el precipitado de hidróxido de aluminio  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ ; el pH del punto de carga nula de esta especie es aproximadamente 6,5 con lo cual en este punto el potencial zeta es cero y la desestabilización coloidal es máxima (Benjamin y Lawler, 2013). La EO es la conversión de los contaminantes orgánicos en dióxido de carbono y agua (Tiwari et al., 2020). La oxidación de los contaminantes se lleva a cabo, cuando estos reaccionan con las especies oxidantes formadas en el ánodo (Wang et al., 2007). En el caso de contar con cloruros en solución, la oxidación se logra por medio de las especies cloradas activas, las cuales se producen según las reacciones 5 a 7 (Dominguez et al., 2018):



El ácido hipocloroso y el anión hipoclorito mantienen un equilibrio dependiente fuertemente del pH del medio. A pH ácido, el ácido hipocloroso está en mayor proporción, y al aumentar el pH por encima de 8 se invierte esta tendencia. Debido a que el poder oxidante del ácido hipocloroso es mayor, es preferible trabajar a pH neutro o ácido para favorecer la degradación de los contaminantes (Mandal et al., 2020). Un aspecto crucial en la aplicación de este tratamiento es la selección de los electrodos, en especial del ánodo. Es necesario que estos tengan un elevado sobrepotencial para la evolución de oxígeno, ya que es la reacción de mayor competencia para la producción de especies oxidantes (Gengec, 2017). Entre los materiales empleados se encuentran el diamante dopado con boro (Da Silva et al., 2019), el  $\text{SnO}_2$  (Xie et al., 2017), el  $\text{PbO}_2$  (Mandal et al., 2020), por citar algunos. Una alternativa interesante a los mismos es el uso de grafito, el cual tiene una amplia ventana de potencial de trabajo, bajo costo, es químicamente inerte, posee una gran área superficial y, además de un alto sobrepotencial de evolución de hidrógeno, posee un bajo sobrepotencial de evolución de  $\text{Cl}_2$ , lo cual aumenta la eficiencia de corriente para la reacción de interés (GilPavas et al., 2017). Este trabajo persigue estudiar a escala de laboratorio un proceso acoplado de EC y EO para el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de la caballa de una instalación industrial ubicada en la provincia de Buenos Aires que descarga a colectora cloacal. Se analizó la capacidad del tratamiento combinado de EC y EO de eliminar los contaminantes orgánicos medidos como DQO para cumplir con la normativa vigente y la incidencia de factores de operación como el tiempo de EC y EO y el pH inicial del agua residual.

## 2. Materiales y métodos

### Caracterización de las muestras

Se recibió de una industria procesadora de caballa de la ciudad de Mar del Plata y se determinó su valor de DQO mediante la técnica colorimétrica de reflujos cerrado (APHA Method 5210: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) y utilizando un espectrofotómetro DR 3900 de la marca Hach. La concentración de cloruros fue determinada por el método titulométrico de Mohr, el pH se determinó con un pHmetro Hanna HI2211 y la conductividad con un conductímetro La Motte Con6Plus. El valor de los parámetros más relevantes para el estudio puede verse en la Tabla 1, donde también se muestran los límites para descargar a colectora cloacal (Res.336/03).

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica del efluente y límites para descarga a colectora cloacal.

Parámetro	Valor	Límite de descarga
DQO, en mg/L de O <sub>2</sub>	3500	<700
pH	7,5	7 - 10
Conductividad, en mS/cm	41,5	-
Cloruros, en mg/L	23500	-
Turbidez, en NTU	>1000	-

*Electrocoagulación y electrooxidación*

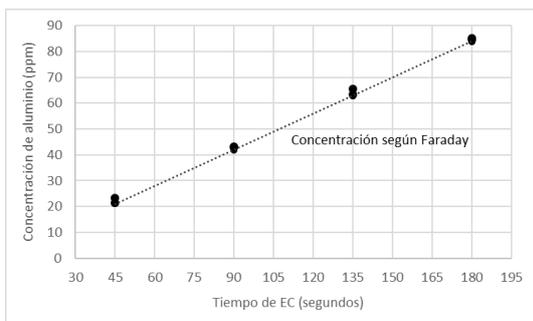
Diferentes electrodos fueron probados con una muestra anterior a la pertinente a este trabajo. Con base en esos ensayos, se optó por un ánodo de aluminio y un cátodo de titanio para esta fase del tratamiento, utilizando un volumen de efluente de 0,2 litros. Previo a cada ensayo, los electrodos fueron lijados durante dos minutos y enjuagados con agua destilada. Una vez tratado por EC, se separaron 0,15 L de la fase tratada y se los sometió a EO utilizando ánodos de grafito y cátodos de titanio. La corriente fue aplicada con una fuente Keithley 2260b-30-72.

*Aluminio en solución*

Se determinó el aluminio liberado durante la EC mediante la técnica de eriocromo cianina R. Para ello, se aplicó el mismo tratamiento de EC que las muestras recibieron en un volumen idéntico, pero de agua destilada, cuya conductividad fue ajustada hasta el valor del efluente mediante el agregado de NaCl. Las medidas fueron realizadas por triplicado, debido a que el rango del método es de 0 a 1 ppm de aluminio.

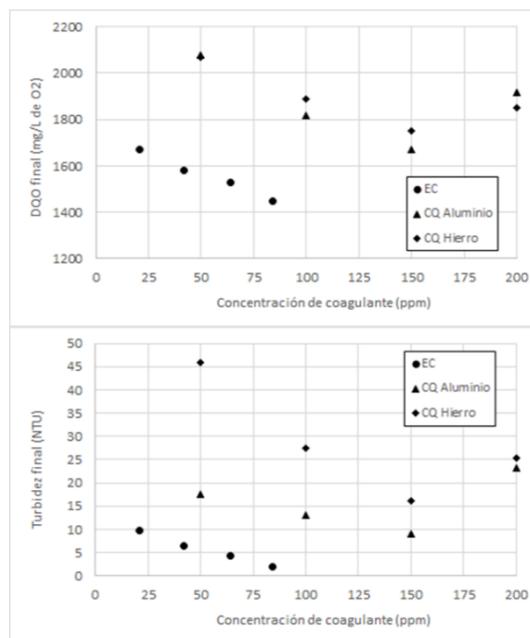
**3. Resultados y Discusión**

Se ensayó a pH natural del agua residual a diferentes tiempos de operación de EC fijando una intensidad de corriente de 1 ampere, definiendo a través de la ley de Faraday la concentración de aluminio disuelto. En la figura 1 puede verse que la concentración de aluminio obtenida es similar a la concentración teórica.



**Figura 1.** Concentración de aluminio a los distintos tiempos de tratamiento.

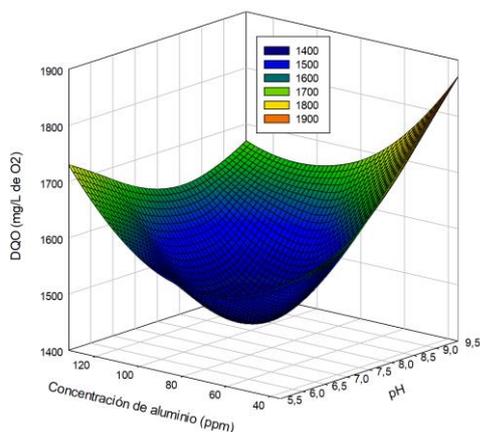
Se comparó la EC con el tratamiento por CQ mediante el dosaje de sales de aluminio y hierro. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 2 y 3. Puede observarse que, a concentraciones de coagulante menores que las empleadas en CQ, la EC alcanza valores de DQO y turbidez final menores. Una diferencia sustancial entre el agregado de aluminio vía electrolítica y vía dosaje de sal es el hecho de que, si bien las concentraciones de aluminio añadidas pueden ser las mismas, durante la EC se produce el burbujeo de gases propios de la electrólisis del agua, los cuales favorecen la flotación de los flocs formados y la separación de los contaminantes (Barrera-Díaz et al., 2018). Los resultados obtenidos están en concordancia con Chen y colaboradores, quienes hallaron que la EC sobrepasa en gran manera a la coagulación química en el tratamiento de aceites emulsionados (Chen et al. 2020). Padmaja y colaboradores (2020) hallaron también que el tratamiento por EC produce un agua más clara y con menor turbidez que por CQ, como puede verse en el resultado de los valores de turbidez obtenidos por cada método en este efluente.



**Figuras 2 y 3.** DQO y turbidez final con cada tratamiento.

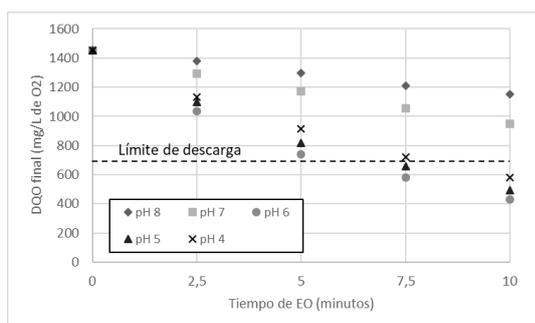
A través de una matriz de Doehlert se estudió la respuesta del tratamiento a distintos pH y concentraciones de aluminio alrededor del valor hallado como óptimo, como puede verse en la figura 4. Los valores obtenidos demuestran que esta combinación de pH y tiempo (para la corriente definida) es la óptima, y equivale a un porcentaje de remoción de DQO del 60% aproximadamente. Azli y Azoddein (2020) obtuvieron un porcentaje de remoción de DQO similar en el tratamiento de efluentes oleoquímicos por electrocoagulación al mismo pH de trabajo, así como Nidheshh y

colaboradores (2020) lograron una remoción de DQO cercana al 60% trabajando al pH natural de la muestra como condición óptima en el tratamiento de aguas industriales mixtas. La EC se perfila, por ende, como un buen tratamiento para remover el grueso de los contaminantes, pero manifiesta la necesidad de una técnica complementaria para tratar efluentes con una alta carga orgánica.



**Figuras 4.** Optimización del tratamiento por EC.

El sobrenadante obtenido del proceso de EC se sometió a un tratamiento por EO un ánodo de aluminio y un cátodo de titanio aplicando una corriente de 8 amperes. En la Figura 5 se muestran los valores de DQO obtenidos en función del tiempo de tratamiento. A los 7,5 minutos de EO a pH 5 y 6 se logró disminuir la DQO por debajo del límite permitido, siendo el pH 6 el óptimo para el tratamiento. A un pH similar de trabajo, Moreno-Palacios y colaboradores hallaron un pH similar como el óptimo para el tratamiento de efluentes de la producción de antibióticos (Moreno-Palacios et al., 2019), como así también GilPavas y colaboradores aplicaron la EO utilizando también electrodos de grafito luego de EC para el tratamiento de efluentes textiles con positivos resultados (GilPavas et al., 2017). Los tratamientos a pH menor que 7 resultaron ser más efectivos, lo que coincide con lo explicado en la introducción sobre las especies oxidantes cloradas que predominan a cada pH.



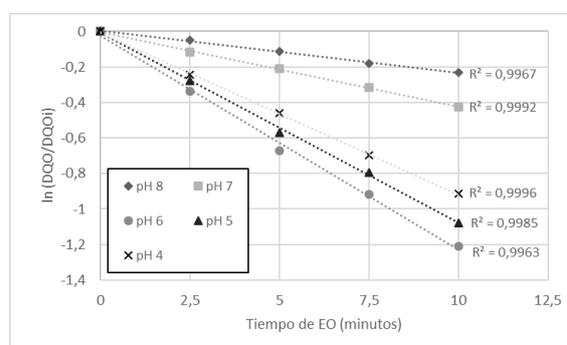
**Figuras 5.** Optimización del tratamiento por EC.

Graficando el logaritmo del cociente de los valores de DQO obtenidos sobre la DQO inicial en función del tiempo se observa una dependencia lineal (Figura 6), lo que sugeriría una cinética de primer orden en la oxidación de los contaminantes como puede verse en las ecuaciones 8 y 9:

$$-\frac{d[DQO]}{dt} = k[DQO] \quad (8)$$

$$\ln\left(\frac{DQO}{DQO_i}\right) = -kt \quad (9)$$

Este tipo de cinética para la EO ya ha sido reportado, por ejemplo, por Jaruwat y colaboradores en el tratamiento de aguas residuales de la producción de biodiesel (Jaruwat et al., 2016).



**Figuras 6.** Comportamiento lineal de la cinética de remoción de contaminantes por EO.

#### 4. Conclusiones

La EC seguida de EO ha probado ser un método efectivo para el tratamiento de efluentes del procesamiento de la caballa, aprovechando el elevado valor de conductividad y la alta presencia de cloruros. Si bien la EC no es suficiente para obtener un agua en condiciones de vertido, con 84 ppm de  $Al^{+3}$  (equivalentes a 3 minutos de EC a 1 ampere) se logra un efluente con un 60% menos de DQO, lo cual sobrepasa de manera amplia a la remoción obtenida por el agregado de la misma cantidad de aluminio en la coagulación química, tanto en DQO como en turbidez final. Un posterior tratamiento mediante EO logra en 7,5 minutos a 8 amperes un efluente con una DQO por debajo del límite de vertido, con lo cual en alrededor de 10 minutos se puede lograr un tratamiento satisfactorio de estas aguas residuales, minimizando el tiempo de retención hidráulica y, por ende, el tamaño de los equipos a necesitar, logrando un sistema compacto de tratamiento.

## 5. Referencias

Aanand, S., Divya, M., Deepak, T., Padmavathi, P. y Manimekalai, D. (2017). *Review on seafood processing plant wastewater bioremediation—A potential tool for waste management*. IJAR, 3(7), 01-04.

Afonso, M. D. y Bórquez, R. (2002). *Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes—prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry*. Desalination, 142(1), 29-45.

Azli, F. A.M., and A. A.M. Azoddein (2020). *Removal of Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solid (TSS) Using Electrocoagulation Process for Treatment of Oleochemical Wastewater*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 736 (2)

Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P. y Bilyeu, B. (2018). *Electrocoagulation: Fundamentals and Prospectives*. Electrochemical Water and Wastewater Treatment, 61-76

Belkacem, M., Khodir, M. y Abdelkrim, S. (2010). *Using electrocoagulation -electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies*. Desalination, 250, 573-577.

Benjamin, M. M. y Lawler, D. F. (2013). *Water quality engineering: Physical/chemical treatment processes*. John Wiley & Sons.

Chen, Yi mei, Wen ming Jiang, Yang Liu, and Ya Kang (2020). *Quantitative Contribution Study and Comparison between Electrocoagulation, Anode-Electrocoagulation and Chemical Coagulation Using Polymer-Flooding Sewage*. Chemosphere 250: 126128.

Chowdhury, P., Viraraghavan, T. y Srinivasan, A. (2010). *Biological treatment processes for fish processing wastewater—A review*. Bioresource technology, 101(2), 439-449.

Da Silva, S. W., Navarro, E. M., Rodrigues, M. A., Bernardes, A. M. y Pérez-Herranz, V. (2019). *Using p-Si/BDD anode for the electrochemical oxidation of norfloxacin*. Journal of Electroanalytical Chemistry, 832, 112-120.

Dadon, J. R. y Matteucci, S. D. (2006). *Caracterización de las grandes regiones costeras*

*argentinas*. Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires, 11-39.

Dominguez, C. M., Oturan, N., Romero, A., Santos, A. y Oturan, M. A. (2018). *Lindane degradation by electrooxidation process: effect of electrode materials on oxidation and mineralization kinetics*. Water research, 135, 220-230.

FAO. (2005). “*La República Argentina - Perfil Pesquero*”. Fishery Country Profile. Food and Agricultural Organization of the United Nations.

Feng, Y., Yang, L., Liu, J. y Logan, B. E. (2016). *Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation*. Environmental Science: Water Research & Technology, 2(5), 800-831.

Gengec, E. (2017). *Treatment of highly toxic cardboard plant wastewater by a combination of electrocoagulation and electrooxidation processes*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 145, 184-192.

GilPavas, E., Arbeláez-Castaño, P., Medina, J. y Acosta, D. A. (2017). *Combined electrocoagulation and electro-oxidation of industrial textile wastewater treatment in a continuous multi-stage reactor*. Water Science and Technology, 76(9), 2515-2525.

Holt, P. K., Barton, G. W., Wark, M. y Mitchell, C. A. (2002). *A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 211(2-3), 233-248.

Jaruwat, P., Pitakpoolsil, W., & Hunsom, M. (2016). *Treatment of biodiesel wastewater by indirect electrooxidation: Effect of additives and process kinetics*. Korean Journal of Chemical Engineering, 33(7), 2090–2096. <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0045-2>

Khopkar, S. M. (2007). *Environmental pollution monitoring and control*. New Age International.

MAGyP (2019). “*Desembarques de Capturas Marítimas Totales - Por Especie y Puerto (T)*”. Pesca Marítima - Desembarques. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. <https://www.magyp.gob.ar>

Mandal, P., Yadav, M. K., Gupta, A. K., & Dubey, B. K. (2020). *Chlorine mediated indirect electro-oxidation of ammonia using non-active PbO2 anode: influencing parameters and mechanism*

- identification. Separation and Purification Technology, 116910.
- Martins, A. F., de Jesus, L. E., Vendruscolo, N., Vasconcelos, T. G., & Wilde, M. L. (2008). *Semi-Micro Reflux Procedure for Minimization of Chloride Interference by COD Determination*. CLEAN–Soil, Air, Water, 36(1), 66-69.
- Mendiola, S., Achútegui, J. J., Sánchez, F. J. y San José, M. J. 1998. *Polluting potential of wastewater from fish meal and oil industries*. Grasas y Aceites, 49(1), 30-33.
- Nidheesh, P. V., Abhijeet Kumar, D. Syam Babu, Jaimy Scaria, and M. Suresh Kumar (2020). *Treatment of Mixed Industrial Wastewater by Electrocoagulation and Indirect Electrochemical Oxidation*. Chemosphere 251: 126437.
- Padmaja, K., Jyotsna Cherukuri, and M. Anji Reddy (2020). *A Comparative Study of the Efficiency of Chemical Coagulation and Electrocoagulation Methods in the Treatment of Pharmaceutical Effluent*. Journal of Water Process Engineering 34 (August 2019): 101153.
- Pavas, E. G. (2012). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. Cuadernos de Investigación, (65).
- Sergio Garcia-Segura, Maria Maesia S.G. Eiband, Jailson Vieira de Melo, Carlos Alberto Martínez-Huitle (2017). *Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies*. Journal of Electroanalytical Chemistry 801, 267-299.
- Sunny, N. y Mathai, L. (2015). *Physicochemical process for fish processing wastewater*. Efficient Management of Wastewater from Manufacturing: New Treatment Technologies, 113.
- Tay, J. H., Show, K. Y. y Hung, Y. T. (2006). *Seafood processing wastewater treatment*. Waste treatment in the food processing industry, 29-66.
- Tiwari, B., Drogui, P. y Tyagi, R. D. (2020). *Removal of emerging micro-pollutants from pharmaceutical industry wastewater*. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 457-480
- Vepsäläinen, M. y Sillanpää, M. (2020). *Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters*. Advanced Water Treatment, 1-78
- Wang, L. K., Hung, Y. T. y Shammas, N. K. 2007. *Advanced physicochemical treatment technologies* (pp. 57-83). Totowa, NJ: Humana Press.
- Xie, R., Meng, X., Sun, P., Niu, J., Jiang, W., Bottomley, L. y Crittenden, J. (2017). *Electrochemical oxidation of ofloxacin using a TiO<sub>2</sub>-based SnO<sub>2</sub>-Sb/polytetrafluoroethylene resin-PbO<sub>2</sub> electrode: Reaction kinetics and mass transfer impact*. Applied Catalysis B: Environmental, 203, 515-525.

## Inactivación de una peroxidasa comercial por peróxido de hidrógeno.

### Inactivation of a commercial peroxidase by hydrogen peroxide.

Diego Alberto Morales Urrea<sup>1,2</sup>, Edgardo Martín Contreras<sup>1</sup>.

1. Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA). CCT - Mar del Plata CONICET. Av. Juan B. Justo 4302 (7600) Mar del Plata, Argentina.
2. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP). Av. Juan B. Justo 4302 (7600) Mar del Plata, Argentina.

E-mail: [edgardo.contreras@fi.mdp.edu.ar](mailto:edgardo.contreras@fi.mdp.edu.ar)

#### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la estabilidad de una peroxidasa comercial (HRP) en condiciones de reacción. Espectrofotométricamente se pudieron identificar tres estados de la enzima. En ausencia de peróxido (P), la enzima está en su estado basal ( $E_0$ ). Aunque la literatura indica que en presencia de P el estado basal  $E_0$  se oxida a un estado  $E_1$  perdiendo dos electrones, solo se observó el estado intermedio  $E_2$ , el cual está un electrón debajo de  $E_0$ . En presencia altas concentraciones de P se identificó una tercera especie  $E_3$ , la cual decae a  $E_0$ . Además, la HRP pudo catalizar la descomposición del peróxido, evidenciando la actividad catalásica de la HRP. El decaimiento de  $E_3$  también generó una especie Ex, la cual resultó catalíticamente inactiva. Asimismo, la formación de la especie inactiva se correlacionó con la pérdida de actividad peroxidasa. Experimentos similares en presencia de OII como sustrato reductor externo, empleando bajas concentraciones de P y tiempos cortos, muestran también una disminución de la actividad peroxidasa. Considerando que en estas condiciones la formación de  $E_3$  es despreciable, los resultados sugieren una ruta alternativa de inactivación, independiente de la formación de  $E_3$ . Por lo tanto, se concluye que en las condiciones estudiadas la pérdida de actividad enzimática es una característica intrínseca de la HRP estudiada.

Palabras clave: peroxidasa, inactivación, peróxido de hidrógeno, orange II.

#### Abstract

The objective of the present work was to evaluate the stability of a commercial peroxidase (HRP) under reaction conditions. Three states of the enzyme could be identified spectrophotometrically. In the absence of peroxide (P), the enzyme is under its basal state ( $E_0$ ). Although the literature indicates that the ground state  $E_0$  can be readily oxidized by P to a state  $E_1$  losing two electrons, only the intermediate state  $E_2$  was observed, which is one electron below  $E_0$ . In the presence of high concentrations of P, a third species  $E_3$  was identified, which slowly decays to  $E_0$ . Furthermore, HRP was able to catalyze the decomposition of peroxide, demonstrating the catalytic activity of HRP. The decay of  $E_3$  also generated a species Ex, which was catalytically inactive. Likewise, the formation of the inactive species was correlated with the loss of peroxidase activity. Experiments in the presence of OII as an external reducing substrate, using low concentrations of P and short times, also show a decrease in peroxidase activity. Considering that under these conditions the formation of  $E_3$  is negligible, results suggest an alternative inactivation pathway, independent of the formation of  $E_3$ . Therefore, it is concluded that in the studied conditions the loss of enzymatic activity is an intrinsic characteristic of the studied HRP.

Keywords: peroxidase, inactivation, hydrogen peroxide, orange II.

#### 1. Introducción

En los últimos años, la biocatálisis se ha convertido en una tecnología estándar en varios procesos industriales (Straathof *et al.*, 2002). Además del clásico uso de oxidasas para degradar colorantes (Morales *et al.*, 2018a) y en la polimerización de compuestos fenólicos (Agarwal *et al.*, 2016;

Morales *et al.*, 2018b), estas enzimas se han empleado en la biosíntesis de varios fármacos, como antibióticos policétidos (Julsing *et al.*, 2008), en la degradación de lignina para la producción de biocombustible (Hoyos *et al.*, 2017), en oxidaciones asimétricas de aminoácidos (Wohlgemuth, 2011) y para preparar conjugados

anticuerpo-enzima para kits de ELISA (Supriya *et al.*, 2016).

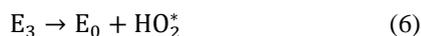
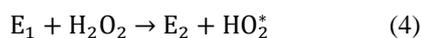
Diversos estudios sugieren que el ciclo catalítico de las peroxidasas involucra varias especies enzimáticas (Valderrama, 2010; Morales *et al.*, 2018a). El ciclo comienza con la oxidación del estado basal de la enzima ( $E_0$ ) por el peróxido de hidrógeno (P), formando la especie  $E_1$ :



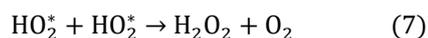
La reacción (1) sería muy rápida y completamente desplazada hacia  $E_1$  (Tanaka *et al.*, 2003). La especie  $E_1$  está dos equivalentes por encima de  $E_0$ . En presencia de un sustrato reductor adecuado (S), se produce una secuencia de dos transferencias de un electrón:



La reacción (2) produce el estado  $E_2$ , el cual está un equivalente por encima de  $E_0$ , mientras que la (3) restaura el estado basal  $E_0$ . En ambas reacciones se genera un radical  $S^*$ , el cual puede seguir reaccionando. Varios autores (Arnao *et al.*, 1990; Hiner *et al.*, 2001; Hernández-Ruiz *et al.*, 2003) informan que las peroxidasas también pueden catalizar la conversión de peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua, en el llamado ciclo catalásico (por analogía con la catalasa) de las peroxidasas:



Los radicales hidroperoxilo restituyen parte del peróxido consumido en las reacciones anteriores, liberando, además, oxígeno molecular (Hiner *et al.*, 2001):



Varios autores informan que la especie  $E_3$  puede decaer lentamente formando una especie catalíticamente inactiva  $E_X$  (Grey *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2017):



De hecho, debido a la reacción (8), los usos comerciales de las peroxidasas se ven limitados por

la baja estabilidad de la enzima en presencia de peróxido de hidrógeno. En este sentido, es necesario un conocimiento más profundo del proceso de desactivación de las peroxidasas para desarrollar procesos biocatalíticos más robustos. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la estabilidad de una peroxidasa comercial (HRP) en condiciones de reacción.

## 2. Materiales y métodos

Se estudió una peroxidasa de rábano picante (HRP, Tipo I, RZ = 1,1) de Sigma-Aldrich. De acuerdo a las especificaciones del fabricante, la actividad específica era 146 unidades/mg de polvo liofilizado (una unidad corresponde a la cantidad de enzima que forma 1 mg de purpurogalina de pirogalol en 20 s a pH 6 y 20 °C). Para evaluar la actividad peroxidasa se empleó un peróxido de hidrógeno (P, 30 %) y una sal sódica de Orange II (OII) de grado analítico (> 98 %) de Sigma-Aldrich. Las demás sales empleadas en el presente estudio fueron adquiridas a Anedra (San Fernando, Argentina).

Para obtener los espectros UV/Vis de las especies  $E_0$ ,  $E_1$ , y  $E_2$ , se disolvieron 50 mg de enzima en 100 mL de buffer fosfato (BF, 100 mM, pH 9). Se colocaron 3 mL de la solución en una cubeta de cuarzo y se obtuvo el espectro correspondiente al estado basal de la enzima. Luego, se realizaron adiciones sucesivas de 20  $\mu$ L de peróxido de hidrógeno (1 mM). En cada caso, se registraron los espectros en un equipo Shimadzu UV-1800 empleando un ancho de banda espectral de 1 nm y una velocidad de barrido de 1200 nm/min. El espectro UV/Vis correspondiente a la especie  $E_3$  se obtuvo de forma similar, pero haciendo agregados de 20  $\mu$ L de peróxido 260 mM (Valderrama, 2010). Finalmente, luego de 6 hs de reacción, se obtuvo el espectro correspondiente a la especie  $E_X$  (Grey *et al.*, 2007).

La cinética de inactivación de HRP por P se realizó como sigue. Se disolvieron de 2,5 a 12,5 mg de enzima en 25 mL de BF, se registró el espectro UV/Vis, y se inició la reacción mediante la adición de 15  $\mu$ L de P (9,8 M). A diferentes tiempos se tomaron muestras para medir la concentración de P, actividad peroxidasa y el espectro UV/Vis de la mezcla de reacción. La concentración de P se midió por el método de Trinder. La actividad peroxidasa (AP) se evaluó mediante la reacción de decoloración del OII. Se mezclaron 200  $\mu$ L de la mezcla de reacción, 2 mL de BF, 100  $\mu$ L de OII (2 mM), y la reacción se inició con la adición de 100  $\mu$ L de P (9,8 mM). El progreso de la reacción en función del tiempo se siguió a 485 nm (Morales *et al.*, 2018a).

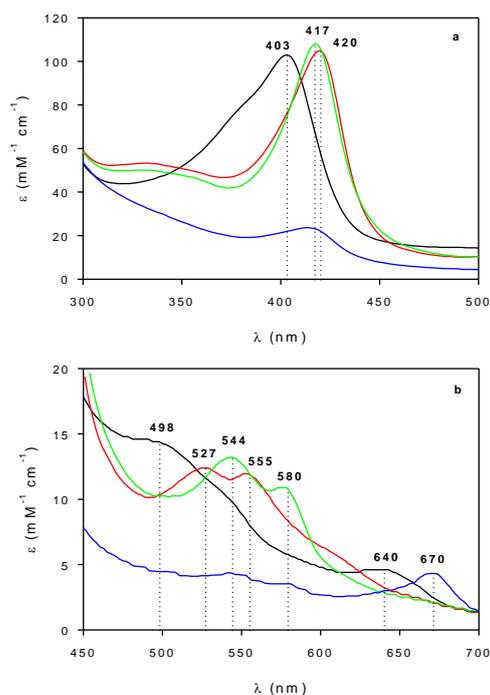
Para estudiar la inactivación de HRP por el peróxido, pero en presencia de OII, se preparó una solución de 75 mg/L de HRP en BF (100 mM, pH 9). Se colocaron 2 mL de esta solución en una cubeta de cuarzo, se agregaron 0,05 mL de OII (2 mM) y se inició la reacción con 0,1 mL de P (2 mM). El progreso de la reacción en función del tiempo se siguió a 485 nm. En las condiciones del ensayo, la absorbancia que aportaba tanto el peróxido como la enzima era despreciable respecto al aporte del colorante (Morales *et al.*, 2018a). Una vez finalizada la reacción, se agregaron pulsos sucesivos de 0,05 mL de OII (2 mM) y 0,1 mL de P (2 mM), y se continuó midiendo la absorbancia 485 nm para monitorear la reacción. Ensayos control con 75 mg/L de enzima disuelta en BF (100 mM, pH 9) indicaron que no se observa una pérdida significativa de actividad peroxidasa durante al menos 4 hs.

### 3. Resultados y Discusión

La Figura 1 muestra el espectro correspondiente al estado basal ( $E_0$ ) de la peroxidasa estudiada. Además de la banda de Soret a 403 nm (Figura 1a), se pueden observar otras dos bandas a 498 y 640 nm (Figura 1b) características de la especie  $E_0$  (Arnao *et al.*, 1990; Ortiz de Montellano, 2010). El espectro correspondiente a  $E_2$  se obtuvo mediante agregados sucesivos de P sobre la misma muestra. Durante las primeras adiciones, los espectros observados fueron inestables y luego de unos segundos se obtenía el espectro correspondiente a  $E_0$ . Sin embargo, luego de varias adiciones de P, el espectro correspondiente a  $E_2$  se volvió estable durante al menos unos 10 minutos. La Figura 1a muestra que el máximo de la banda de Soret correspondiente a  $E_2$  se desplazó a 420 nm. Además, se observan dos bandas características de  $E_2$  a 527 y 555 nm (Figura 1b). Para obtener  $E_3$ , la enzima se puso en contacto con un exceso de peróxido de hidrógeno (Valderrama, 2010). Debe notarse que, en este caso, el peróxido agregado fue más de 200 veces la cantidad de peróxido de hidrógeno requerida para obtener  $E_2$ . La Figura 1a muestra que el máximo de la banda de Soret pasó de 403 a 417 nm. Además, aparecieron otras dos nuevas bandas a 544 y 580 nm (Figura 1b). Se observó que el espectro correspondiente a  $E_3$  (Figura 1) cambiaba lentamente en función del tiempo. Este nuevo espectro corresponde la forma inactiva de la enzima ( $E_x$ ) (Grey *et al.*, 2007; Valderrama, 2010). La Figura 1a muestra que la banda de Soret está casi ausente en el espectro de la mezcla de reacción obtenida después de 6 horas. Sin embargo, el espectro contenía una nueva banda a 670 nm (Figura 1b) debido a la acumulación de

biliverdina, resultado de la descomposición del grupo hemo de la peroxidasa (Grey *et al.*, 2007).

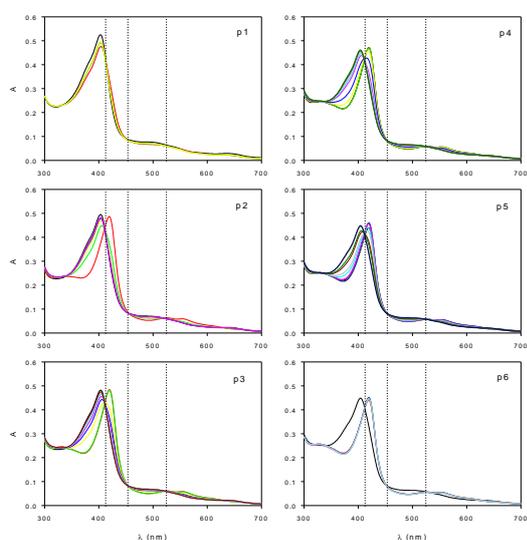
Aunque se estudiaron diferentes condiciones experimentales (p.e., diferentes relaciones peróxido de hidrógeno a enzima y tiempos de contacto), no se pudo demostrar la formación de  $E_1$ . Según Ortiz de Montellano (2010),  $E_1$  presenta una banda de absorción a 400 nm y otras bandas tres menores a 577, 622 y 651 nm. Aunque el máximo de la banda de Soret asociada con  $E_1$  estaba cerca de la correspondiente a  $E_0$ , las bandas a 577, 622 y 651 nm propias de  $E_1$ , estaban ausentes en todos los espectros obtenidos (Figura 1). En este sentido, varios trabajos demuestran que por regla general las reacciones (2) y (4) son más rápidas que las reacciones (3) y (5) (Kummer *et al.*, 1996; Adediran, 1996). Por consiguiente, se puede esperar que la concentración de  $E_1$  sea mucho menor a  $E_2$  y, por lo tanto, la especie  $E_1$  sea difícil de detectar en la mezcla de reacción.



**Figura 1.** Banda de Soret (a) y detalle del espectro visible (b) correspondiente a las especies  $E_0$  (negro),  $E_2$  (rojo),  $E_3$  (verde), y  $E_x$  (azul). Las líneas punteadas indican las bandas características de cada especie.

En la Figura 2 se muestran los cambios en el espectro UV/Vis en función del tiempo correspondiente a la mezcla de reacción como respuesta a pulsos repetidos de peróxido. En cada pulso, la relación peróxido/enzima era de 1,3 mol/mol, es decir que había un ligero exceso de peróxido, suficiente como para asegurar la

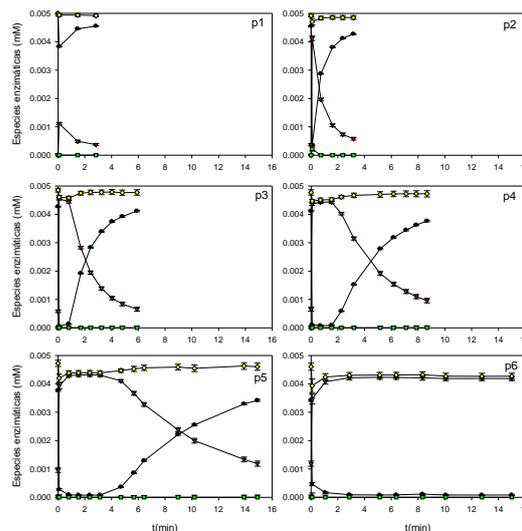
formación de  $E_1$  (reacción 1). Luego del primer pulso (Figura 2p1) se observó una ligera modificación del espectro, el cual retomó rápidamente su forma original. De los pulsos 2 a 5 (Figuras 2p2-p5) los espectros exhibieron al menos tres puntos isobásticos (es decir, longitudes de onda tal que no cambia la absorbancia durante el transcurso de la reacción) a 412, 453 y 524 nm. Rodríguez-Lopez *et al.* (1997) informaron que los espectros correspondientes a  $E_0$  y  $E_2$  tienen un punto isobástico a 412 nm. Aunque esos autores también informan un isobástico a 395 nm, correspondiente a la transformación  $E_1$  a  $E_2$ , este isobástico estaba ausente en todos los espectros obtenidos, lo que confirma que la formación de  $E_1$  era despreciable en las condiciones estudiadas.



**Figura 2.** Cambios en el espectro de la mezcla de reacción en función del tiempo luego de pulsos repetidos de 20 uL de peróxido de hidrógeno (1 mM) a 3 mL de HRP (500 mg/L en BF 100 mM, pH 9). Las líneas punteadas indican los puntos isobásticos.

A partir de los espectros correspondientes a las especies enzimáticas identificadas (Figura 1) y empleando los espectros mostrados en la Figura 2, para cada pulso de peróxido se calculó la concentración de cada especie enzimática en función del tiempo. La Figura 3 muestra que a medida que luego de un pulso de P, se generaba predominantemente la especie  $E_2$ , la cual decaía para regenerar  $E_0$  a medida que se consumía el peróxido. Sin embargo, el tiempo que tardaba en regenerarse  $E_0$  aumentaba en función del número de pulso, sugiriendo una pérdida de actividad de la enzima. Además, se observó que la suma de las especies  $E_0$ ,  $E_2$ , y  $E_3$  disminuía en cada pulso, lo que también sugería una pérdida de las especies activas de la enzima.

Con el objeto de verificar si los cambios observados en los espectros eran el resultado de la descomposición del peróxido por parte de la enzima, se estudió el efecto de la concentración de enzima y de peróxido en la reacción. En estos experimentos, la reacción fue monitoreada a través de la absorbancia a 420 nm ( $A_{420}$ ), la cual corresponde al máximo del espectro de la especie  $E_2$ . A esta longitud de onda, la absorbancia de  $E_0$  es aproximadamente la mitad que la correspondiente a  $E_2$  (Figura 1a).

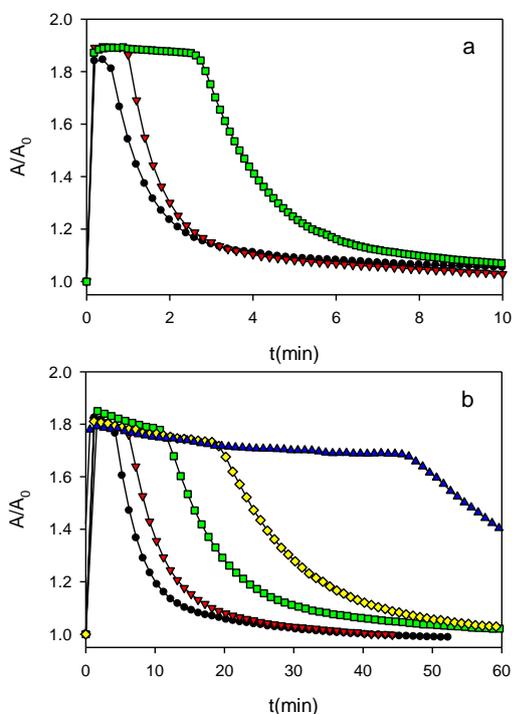


**Figura 3.** Concentración de las especies  $E_0$  (negro),  $E_2$  (rojo),  $E_3$  (verde), y suma de las especies activas (amarillo) en función del tiempo luego de pulsos repetidos de 20 uL de peróxido de hidrógeno (1 mM) a 3 mL de HRP (500 mg/L en BF 100 mM, pH 9).

La Figura 4 muestra que, para todas las condiciones ensayadas, el agregado de peróxido producía un incremento de  $A_{420}$ , consistente con la transición de la especie  $E_0$  a  $E_2$ . Una vez que se formaba  $E_2$ , la  $A_{420}$  decaía levemente, y a partir de un cierto tiempo crítico ( $t_c$ ), retornaba al valor inicial. De acuerdo a lo mostrado en la Figura 4, el valor de  $t_c$  aumentaba con el incremento de la concentración inicial de peróxido (Figura 4a), y disminuía cuando se aumentaba la enzima (Figura 4b). Estos resultados confirman que los cambios observados en los espectros son el resultado del cambio en la concentración de peróxido debido a la actividad catalásica de la HRP estudiada.

Se realizaron ensayos con una mayor concentración inicial de peróxido (5,9 mM) en relación a los experimentos de pulso (~ 6,5  $\mu$ M), con el objeto de verificar la pérdida de actividad catalásica de la HRP mostrados en las Figuras 2 y 3. Debido a que la relación entre la concentración inicial de peróxido y la de enzima era de 980 mol/mol, la

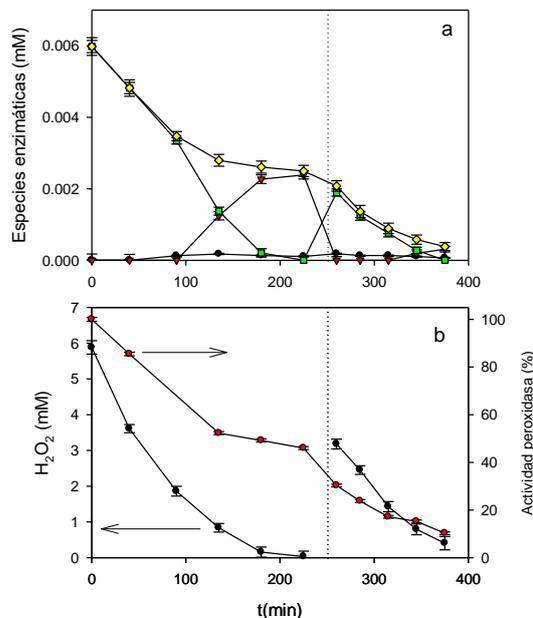
especie dominante en la mezcla de reacción era E<sub>3</sub> (Figura 5a). Se observó además que a medida que se agotaba el peróxido (Figura 5b), la especie E<sub>3</sub> desaparecía y se incrementaba la concentración de E<sub>2</sub>. Asimismo, en todo momento estuvo prácticamente ausente la forma basal de la enzima (E<sub>0</sub>). Los resultados claramente demuestran la actividad catalásica de la enzima estudiada. Sin embargo, la Figura 5a muestra que la suma de las especies catalíticamente activas (E<sub>0</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>) disminuía en función del tiempo. Es importante observar que cuando se agotó el peróxido, también disminuyó la velocidad de decaimiento de las especies activas (Figura 5a), la cual además, era similar a la pérdida de actividad peroxidasa (Figura 5b), confirmando que las altas concentraciones de peróxido favorecen la degradación de la enzima.



**Figura 4.** a) Efecto de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno (P<sub>0</sub>), y b) de enzima, en la absorbancia de la mezcla de reacción a 420 nm. Condiciones experimentales (a): HRP = 5 μM; P<sub>0</sub> (μM) = 13 (negro), 19 (rojo), 26 (verde). Condiciones experimentales (b): HRP (μM) = 5 (negro), 4,2 (rojo), 3,3 (verde), 2,5 (amarillo), 1,7 (azul); P<sub>0</sub> = 26 μM.

Diversos autores sugieren que la presencia de un sustrato reductor exógeno (S) previene la inactivación de la enzima por el peróxido (Valderrama, 2010; Ortiz de Montellano, 2010; Sahare *et al.*, 2016). Esto se debería a que el sustrato reductor prevendría la formación de E<sub>3</sub> (reacción 5) al favorecer la reducción de E<sub>2</sub> a E<sub>0</sub> mediante las reacciones (2) y (3). En este sentido,

debe destacarse que los experimentos de inactivación previamente descritos (Figuras 2 a 5) fueron realizados en ausencia de un sustrato externo. Por lo tanto, se realizaron experimentos para estudiar la inactivación de la actividad peroxidasa de HRP por el peróxido, pero en presencia de Orange II (OII) como sustrato reductor exógeno.

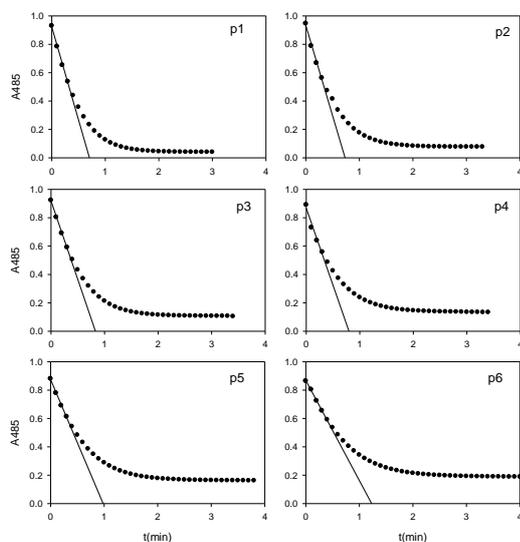


**Figura 5.** a) Concentración de las especies E<sub>0</sub> (negro), E<sub>2</sub> (rojo), E<sub>3</sub> (verde), y suma de las especies activas (amarillo) en función del tiempo. b) Concentración de peróxido (negro) y actividad peroxidasa (rojo). La línea punteada indica un segundo pulso de peróxido.

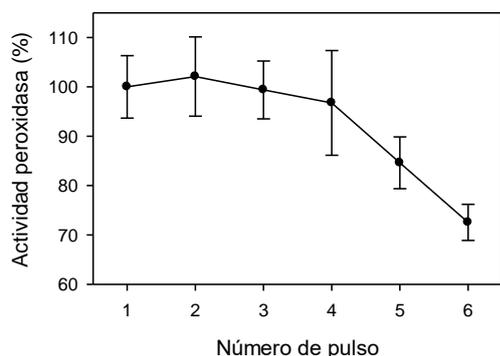
La Figura 6 muestra que la enzima seguía siendo activa aún después de seis pulsos sucesivos de peróxido, la actividad peroxidasa disminuyó aproximadamente un 30 % respecto del valor inicial (Figura 7). Debe destacarse que en ensayos control (enzima en BF) no se observó una pérdida significativa de actividad durante al menos 4 horas. De esta forma, aún en los ensayos realizados en presencia de un sustrato reductor (OII), con bajas concentraciones iniciales de peróxido (~ 90 μM) y durante cortos tiempos (el tiempo total del ensayo no superaba los 30 min), la enzima estudiada pierde paulatinamente actividad.

Teniendo en cuenta que en estas condiciones experimentales la formación de E<sub>3</sub> es despreciable (Figuras 2 y 3), los resultados sugieren la existencia de una ruta alternativa de inactivación, la cual debe ser independiente de la formación de E<sub>3</sub> (reacciones 5 y 8). Por lo tanto, se puede concluir que la pérdida de actividad de la peroxidasa

estudiada es una característica intrínseca de la misma



**Figura 6.** Pulsos sucesivos (p1 - p6) de Orange II (45  $\mu\text{M}$ ) y  $\text{H}_2\text{O}_2$  (90  $\mu\text{M}$ ). Concentración de HRP = 75 mg/L en BF (100 mM, pH 9). La pendiente de las líneas corresponde a la velocidad inicial de decoloración.



**Figura 7.** Actividad peroxidasa en función del número de pulsos sucesivos de Orange II (45  $\mu\text{M}$ ) y  $\text{H}_2\text{O}_2$  (90  $\mu\text{M}$ ). Concentración de HRP = 75 mg/L en BF (100 mM, pH 9). Las barras indican el desvío estándar.

#### 4. Conclusiones

En el presente trabajo se estudió la estabilidad catalítica de una peroxidasa comercial (HRP) en condiciones de reacción. Se pudieron identificar tres estados de la enzima: el estado basal ( $E_0$ ) en ausencia de peróxido, el estado  $E_2$  en presencia de concentraciones bajas del oxidante, y la forma  $E_3$  en con exceso de peróxido. Además, en estas condiciones, decaimiento de  $E_3$  generó una especie Ex, la cual resultó catalíticamente inactiva. La HRP estudiada pudo catalizar la descomposición del peróxido, evidenciando la actividad catalásica de la

HRP. Experimentos en presencia de OII como sustrato reductor externo, empleando bajas concentraciones de P y tiempos cortos, muestran también una disminución de la actividad peroxidasa. Los resultados sugieren una ruta alternativa de inactivación, independiente de la formación de  $E_3$ .

#### 5. Referencias

Adediran, S.A. (1996). *Kinetics of the formation of p-670 and of the decay of Compound III of horseradish peroxidase*, Arch. Biochem. Biophys. 327, 279-284.

Agarwal, P.; Gupta, R.; Agarwal, N. (2016). *A Review on Enzymatic Treatment of Phenols in Wastewater*, J. Biotechnol. Biomater. 6, 1-12.

Arnao, M.B.; Acosta, M.; del Rio, J.A.; Varón, R.; García-Cánovas, F. (1990). *A kinetic study on the suicide inactivation of peroxidase by hydrogen peroxide*, Biochim. Biophys. Acta 1041, 43-47.

Grey, C.E.; Hedstrom, M.; Adlercreutz, P. (2007). *A mass spectrometric investigation of native and oxidatively inactivated chloroperoxidase*, ChemBioChem 8, 1056-1062.

Hernández-Ruiz, J.; Arnao, M.B.; Hiner, A.N.P.; García-Canovas, F.; Acosta, M. (2001). *Catalase-like activity of horseradish peroxidase: relationship to enzyme inactivation by  $\text{H}_2\text{O}_2$* , Biochem. J. 354, 107-114.

Hiner, A.N.P.; Hernández-Ruiz, J.; Williams, G.A.; Arnao, M.B.; García-Canovas, F.; Acosta, M. (2001). *Catalase-like oxygen production by horseradish peroxidase must predominantly be an enzyme-catalyzed reaction*, Arch. Biochem. Biophys. 392, 295-302.

Hoyos, P.; Hernáiz, M.J.; Alcántara, A.R. (2017). *Biocatalyzed Production of Fine Chemicals*. Comprehensive Biotechnology (Third Edition). Volume 3, pp. 334-373. ISBN: 978-0-12-809633-8.

Julsing, M.J.; Cornelissen, S.; Bühler, B. Schmid, A. (2008). *Heme-iron oxygenases: powerful industrial biocatalysts?* Curr. Opin. Chem. Biol. 12, 177-186.

Kummer, U.; Valeur, K.R.; Baier, G.; Wegmann, K.; Olsen, L.F. (1996). *Oscillations in the peroxidase-oxidase reaction: a comparison of different peroxidases*. Biochim. Biophys. Acta 1289, 397-403.

Lee, M.J.Y.; Wang, Y.; Jiang, Y.; Li, X.; Ma, J.; Tan, H.; Turner-Wood, K.; Rahman, M.N.; Chen, G.; Jia, Z. (2017). *Function Coupling Mechanism of PhuS and HemO in Heme Degradation*. Scientific Reports 7, 11273.

Morales Urrea, D.A.; Haure, P.M.; García Einschlag, F.S.; Contreras, E.M. (2018a). *Horseradish peroxidase-mediated decolourization of Orange II: modelling hydrogen peroxide utilization efficiency at different pH values*. Environ. Sci. Pollut. Res. 25, 19989-20002.

Morales Urrea, D.A.; Haure, P.M.; Contreras, E.M. (2018b). *Monitoring the enzymatic oxidation of xenobiotics by hydrogen peroxide through oxidation-reduction potential measurements*. Ind. Eng. Chem. Res. 57, 16518-16525.

Ortiz de Montellano, P.R. (2010). *Catalytic Mechanisms of Heme Peroxidases*. En: Biocatalysis Based on Heme Peroxidases (Torres E.; Ayala M.; Eds.) Springer-Verlag, Berlin.

Rodriguez-Lopez, J.N.; Hernandez-Ruiz, J.; Garcia-Canovas, F.; Thorneley, R.N.F.; Acosta, M.; Arnao, M.B. (1997). *The Inactivation and Catalytic Pathways of Horseradish Peroxidase with m-Chloroperoxybenzoic Acid. A spectrophotometric and transient kinetic study*. J. Biol. Chem. 272, 5469-5476.

Sahare, P.; Ayala, M.; Vazquez-Duhalt, R.; Pal, U.; Loni, A.; Canham, L.T.; Osorio, I.; Agarwal, V. (2016). *Enhancement of peroxidase stability against oxidative self-inactivation by co-immobilization with a redox-active protein in mesoporous silicon and silica microparticles*. Nanoscale Res. Lett. 11, 417-427.

Straathof, A.J.; Panke, S.; Schmid, A. (2002). *The production of fine chemicals by biotransformations*. Curr. Opin. Biotechnol. 13, 548-56.

Supriya, B.S.; Nagaraja, P.; Shashikanth, S.; Ningaraju, M.K.; Chamaraja, N.A.; Byrappa, K. (2016). *Evaluation of Horseradish Peroxidase Activity Using 3-Methyl-2-Benzothiazolinone Hydrazone Hydrochloride Monohydrate and N-(1-Naphthyl) Ethylenediamine Dihydrochloride as Co-Substrates. Application In Vegetable Extracts*. J. Chem. Bio. Phy. Sci. 6, 172-183.

Tanaka, M.; Matsuura, K.; Yoshioka, S.; Takahashi, S.; Ishimori, K.; Hori, H.; Morishima, I. (2003). *Activation of Hydrogen Peroxide in*

*Horseradish Peroxidase Occurs within ~200 ms Observed by a New Freeze-Quench Device*. Biophysical Journal 84, 1998-2004.

Valderrama, B. (2010). *Deactivation of Hemeperoxidases by Hydrogen Peroxide: Focus on Compound III*. En: Biocatalysis Based on Heme Peroxidases (Torres, E.; Ayala, M.; Eds.) Springer-Verlag; Berlin.

Wohlgemuth, R. (2011). *Green Production of Fine Chemicals by Isolated Enzymes (Chapt. 11)*. En: Biocatalysis for Green Chemistry and Chemical Process Development. (Tao, J.; Kazlauskas R.; Eds.) Wiley Online Library.

## Educación para el desarrollo sostenible desde una visión integradora

### Education for sustainable development from an inclusive visión

Virginia Scotta<sup>1</sup>; Romina Craparo<sup>2</sup>; Ximena Valente Hervier<sup>1</sup>; Marcela Boggio Sosa<sup>1</sup>; Ana Espinosa<sup>1</sup>

1. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (FCEIA/ UNR). Av. Pellegrini 250, Rosario, Santa Fe, Argentina.
2. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Rosario (FCM/UNR). Santa Fe 3100, Rosario, Argentina.

E-mail: [virscotta@gmail.com](mailto:virscotta@gmail.com)

#### Resumen

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) no se reduce a promover y educar en relación a la temática. Implica una práctica cotidiana que se traduce en los propios entornos de aprendizaje. Desde la FCEIA, se intenta fortalecer el proceso de enseñanza aprendizaje, facilitar el desarrollo de investigaciones, realizar tareas de extensión y efectuar prestaciones de servicios vinculados a las carreras de grado y posgrado. Se pretende comprender lo que sucede en la sociedad e intervenir en ella, potenciando la capacidad de aprender a aprender. Se trata de conformar espacios disruptivos desde donde implementar prácticas metodológicas de innovación educativa para promover la gestión del conocimiento, la creatividad, las prácticas colaborativas y la búsqueda de soluciones a problemas comunes. Se genera una dialéctica teórico práctica que, desde el intercambio de experiencias, constituya fuente de enseñanza significativa aplicada a la solución de problemas reales. La gestión del conocimiento en red, potencia las capacidades y los aprendizajes, la interdisciplinariedad, la articulación inter e intra institucional y la auto transformación de la comunidad en educanda y educadora. Así, se ha logrado desarrollar e implementar estrategias pedagógicas innovadoras capaces de incorporar e instituir el enfoque integral que requiere la EDS.

Palabras clave: educación, sostenibilidad, desarrollo

#### Abstract

Education for Sustainable Development (ESD) is not limited to promoting and educating in relation to the subject. It involves a daily practice that is translated into the learning environments themselves. From the FCEIA, an attempt is made to strengthen the teaching-learning process, facilitate the development of research, carry out outreach tasks and provide services related to undergraduate and graduate degrees. It is intended to understand what happens in society and intervene in it, enhancing the ability to learn to learn. It is about creating disruptive spaces from which to implement methodological practices of educational innovation to promote knowledge management, creativity, collaborative practices and the search for solutions to common problems. A practical theoretical dialectic is generated that, from the exchange of experiences, constitutes a source of meaningful teaching applied to the solution of real problems. Networked knowledge management enhances capacities and learning, interdisciplinarity, inter and intra-institutional articulation and the self-transformation of the community into an educator and educator. Innovative pedagogical strategies capable of incorporating and instituting the comprehensive approach required by ESD have been developed and implemented.

Keywords: education, sustainability, development

#### 1. Introducción

Hoy es preciso comprender que ya no alcanza aprender sobre el mundo para actuar sobre él. Es urgente aprender a transformarnos junto al mundo que nos rodea.

Por ello es necesario promover la gestión del conocimiento en red, potenciar las capacidades y los aprendizajes, la interdisciplinariedad, la articulación inter e intra institucional y la auto transformación de la comunidad en educanda y educadora.

Pierre Bourdieu (1972), en la búsqueda de un puente entre experiencia y conciencia, recupera el concepto de actitud natural de Husserl, quien señala nuestra disposición a suponer que el mundo se comportará mañana según ciertas reglas más o menos conocidas. Esta actitud se aprende, se interioriza, se hace cuerpo a partir de la experiencia de lo que ya hemos vivido.

Sin embargo, hoy, el criterio acerca de lo que es esperable y natural para el tiempo por venir, poco tiene que ver con lo que se hubiese imaginado. Nos referimos con esto a los profundos cambios socioeconómicos que ha generado la pandemia de COVID-19.

Las tensiones, los conflictos, los desacuerdos que hoy nos contextualizan, nos permiten, entonces, tomar dimensión de la titánica tarea que debimos asumir. La conmoción del sentido común, nos llevó a pensar que las herramientas que nos eran conocidas y afines ya no eran útiles. Tampoco fue fácil crear nuevos instrumentos en un contexto en que el cuerpo de las personas se convertía por sí mismo en una amenaza. Sin dudas, estamos atravesando esas etapas de la historia que luego se llaman post o pre, porque lo natural está lejos todavía de ser visibilizado.

Las transformaciones que a partir del 2020 reconfiguraron el mapa político de la región también modificaron nuestras agendas de investigación y de cooperación científico-académica.

Y estos tiempos de incertidumbre nos interpelan a reafirmar el compromiso con el desarrollo sostenible. Debate que no podemos eludir y que constituye un valioso punto de partida que ahora se presenta más urgente y necesario. Por ello nos proponemos:

**Objetivo General.** Desarrollar un modelo pedagógico innovador destinado a reorientar la educación y el aprendizaje en la FCEIA a fin de lograr que dicha comunidad académica pueda lograr conocimientos, competencias, valores, actitudes y aptitudes que se condigan con el Desarrollo Sostenible.

**Objetivos Particulares.** Analizar distintas metodologías y enfoques disruptivos que permitan desarrollar en la comunidad educativa capacidades vinculadas al reconocimiento de los problemas contemporáneos.

Ensayar métodos y estrategias pedagógicas capaces de promover en la comunidad objeto de este

proyecto, la comprensión de la crisis planetaria en su triple dimensión: ambiental, económica y social e intervenir en su resolución.

Favorecer la discusión y mejora de los planes de acción actualmente existentes en el área de influencia de la FCEIA, que puedan ser perfeccionados a partir de la redefinición de una metodología acorde al paradigma del desarrollo sostenible, utilizando herramientas colaborativas de generación y desarrollo de soluciones.

Promover la reflexión sobre aquellas herramientas que viabilicen la producción de conocimientos y servicios destinados a dar respuestas más efectivas a las necesidades sociales relacionadas con el desarrollo económico y con la mejora de la calidad de vida.

## 2. Materiales y métodos

La EDS va más allá de la mera difusión de conocimientos, definiendo no solo el contenido del aprendizaje, sino también la pedagogía y el entorno del aprendizaje. La EDS exige métodos participativos que motiven a los alumnos y les doten de autonomía, a fin de cambiar su conducta, y promover la adquisición de competencias tales como el pensamiento crítico, la elaboración de hipótesis de cara al futuro y la adopción colectiva de decisiones. La EDS ha de habilitar a los educandos para transformarse a sí mismos y a la sociedad en la que viven mediante la adopción de estilos de vida sostenibles y convirtiéndolos en ciudadanos, activos y participativos, capaces de contribuir a crear un mundo más justo, pacífico, tolerante, inclusivo, seguro y sostenible. En resumen, la EDS tiene como objetivo último la transformación social (Scotta et al, 2018).

En este sentido, desde la Escuela de Posgrado y Educación Continua, a través del departamento de Educación a Distancia y de sus Laboratorios de Energías para el Desarrollo Sostenible y de Gestión Empresarial, vinculados a las Maestrías en Energía para el Desarrollo Sostenible e Ingeniería de la Gestión Empresarial y a la Especialización en Ingeniería de los Recursos Humanos, se promueve, desde un abordaje transdisciplinar del conocimiento, la participación de distintos sectores, cátedras y niveles de educación para conformar un espacio propicio para la interacción.

Su misión es fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, facilitar el desarrollo de investigaciones, realizar tareas de extensión y efectuar prestaciones de servicios vinculados a las carreras de posgrado. Tienen como propósito

favorecer la articulación empresa-academia-sociedad desde un diálogo que posibilite el desarrollo y la innovación en la región, en pos del logro de un entorno competitivo y sostenible.

Por las características de los problemas de la sustentabilidad, el enfoque pedagógico se plantea multidisciplinario e incluso transdisciplinar, para así comprender y analizar la problemática ambiental desde una perspectiva integral, que permita explicar hechos o proponer soluciones, inalcanzables, desde un abordaje disciplinar.

A fin de promover la innovación, la generación de conocimientos, producción y el desarrollo de prácticas auténticas, se fomentan a través de los laboratorios y el Departamento de Educación a Distancia, el diálogo, la integración y articulación de acciones entre estado, empresas y universidad (Scotta et.al 2018)

La operatividad de esos vínculos / diálogo entre los distintos actores se intenta viabilizar a través de la formulación y puesta en marcha de proyectos I + D + i, en los que el estudiante se involucre integrando equipos interdisciplinarios, con participación de diferentes actores: egresados con ejercicio profesional en empresas de la región, docentes, responsables institucionales y estudiantes de grado que participan en los proyectos o asisten a las clases de las asignaturas semi presenciales como Energía y Sostenibilidad, (incluida como electiva en el plan de estudios de la carrera de grado, Ingeniería Mecánica), o a aquellas que se dictan en modalidad virtual.

La educación en entorno virtual implica la utilización de nuevas tecnologías y herramientas de aprendizaje como complemento a procesos de comunicación y enseñanza.

El Campus Virtual permite instrumentar mediante una infraestructura tecnológica adecuada la concreción de un modelo pedagógico y comunicacional de educación continua sobre Internet. Desde allí se intenta promover, mediante marcos de trabajo innovadores como el Pensamiento de Diseño, los marcos ágiles de trabajo, eduScrum entre otros, estrategias pedagógicas tendientes a que los estudiantes puedan resolver problemas adaptativos complejos, mientras que de manera productiva y creativa logran objetivos de aprendizaje

Se busca la conformación de comunidades virtuales de aprendizaje y posibilitar la participación activa de distintos sectores, cátedras y niveles de educación. Se trata de posibilitar una estrategia de acción interinstitucional que logre promover los cambios

intelectuales, económicos y sociales para concretar un desarrollo equitativo y sostenible desde el punto de vista social y ecológico.

Las teorías sistémicas, el pensamiento de Edgard Morin, permiten abordar el conocimiento como un proceso a la vez, biológico, cerebral, espiritual, lógico, lingüístico, cultural, social e histórico y posibilitan interpretar e intervenir en el objeto de análisis desde la perspectiva complejidad / transdisciplinariedad.

También, las teorías del conocimiento fundadas en el constructivismo y el cognitivism y el modelo de aprendizaje socio cultural, darán sustento a un proceso de enseñanza aprendizaje llevado adelante por un profesor, educador y educando a vez, y por sobre todo dispuesto a recrear una metodología que no se plantea a modo de receta, sino que requiere apoyarse y repensarse en las raíces culturales de la comunidad universitaria, de la comunidad social.

A fin de constituir un cuerpo coherente de conocimientos, la metodología propuesta es del tipo cuali-cuantitativa. El grupo de discusión es una práctica constante, donde cada integrante aporta reflexión crítica desde su abordaje profesional, disciplinar y o teórico.

Se intenta desde esta experiencia metodológica, generar una dialéctica teórico práctica que, desde el intercambio de experiencias, abriendo el aula hacia la comunidad social, esta se constituya en fuente de enseñanza significativa y práctica aplicada a la solución de problemas reales.

### 3. Resultados y Discusión

Como lo expresara Miguel de Unamuno, tenemos que aprender a consumir, más que a producir. Para ello es necesario que el conocimiento nos sirva para poder convivir con la naturaleza y para ello se requiere una educación muy diferente a la que estamos acostumbrados. Se requiere indagar, desarrollar e implementar prácticas pedagógicas innovadoras capaces de incorporar y tal vez instituir el enfoque integral que requiere la EDS.

Como lo afirma Pablo Angel Meira, la educación ambiental requiere otras bases metodológicas y teóricas. De allí que es preciso invitar a los profesores a poner en segundo plano lo normativo, los cambios curriculares y priorizar pensar en quienes son nuestros alumnos y cómo debería ser la sociedad del futuro. Sin dudas estamos ante una generación del cambio climático que tiene ante sí ese gran desafío. Por ello la sustentabilidad no puede

ser un contenido más. Hoy, es un imperativo moral y debe ser el eje principal del currículum.

Así como en los años 50, 60 se trató de armonizar el sistema educativo con el productivo, en el siglo XXI el sistema educativo debe articularse con nuevos marcos curriculares, como por ejemplo la noción de finitud del mundo y comenzar a repensar el modelo de desarrollo. “A medida que en el decenio del 2020 comenzaron a sentirse los efectos del Antropoceno, (término creado para designar las repercusiones que tienen en el clima y la biodiversidad, tanto la rápida acumulación de gases de efecto de invernadero como los daños irreversibles ocasionados por el consumo excesivo de recursos naturales), se hizo evidente que la educación no preparaba a los jóvenes alumnos para la precariedad ecológica a la que se enfrentarían en el futuro, y que se necesitaba entonces un enfoque radicalmente diferente de los anticuados modelos individualistas de desarrollo humano del siglo XX.”. (Common Worlds Research Collective, 2020, P. 6)

De allí la necesidad de impulsar la cultura de la descarbonización para aprender a vivir sin consumo de energía fósil. Educar en este momento histórico para la región y el mundo insta a pensar y vivir una interculturalidad amplia e inclusiva. La educación para todos y todas se hace efectiva cuando genera condiciones y prácticas de inclusión social como condición indispensable para el Buen Vivir.

Este principio constitucional de Ecuador es definido como “la satisfacción de las necesidades, la consecución de una calidad de vida y muerte dignas, el amar y ser amado, y el florecimiento saludable de todos y todas, en paz y armonía con la naturaleza y la prolongación indefinida de las culturas humanas. El Buen Vivir supone tener tiempo libre para la contemplación y la emancipación, y que las libertades, oportunidades, capacidades y potencialidades reales de los individuos se amplíen y florezcan de modo que permitan lograr simultáneamente aquello que la sociedad, los territorios, las diversas identidades colectivas y cada uno –visto como un ser humano universal y particular a la vez– valora como objetivo de vida deseable (tanto material como subjetivamente, y sin producir ningún tipo de dominación a un otro). Nuestro concepto de Buen Vivir nos obliga a reconstruir lo público para reconocernos, comprendernos y valorarnos unos a otros –entre diversos pero iguales– a fin de que prospere la posibilidad de reciprocidad y mutuo reconocimiento, y con ello posibilitar la autorrealización y la construcción de un porvenir social compartido” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) de Ecuador, 2009, P10).

Por ello, es necesario redefinir la organización de los contenidos curriculares. Estos deben ser más integrados, transversales, donde el cambio climático no constituya sólo un tema sino un problema. Un problema que articule distintos proyectos de enseñanza y aprendizaje significativo y donde converjan distintas disciplinas para generar así un verdadero proyecto interdisciplinario. El objetivo de esta pedagogía es preparar al alumnado para el mundo que viene. Por ello es necesario promover el pensamiento crítico, la imaginación y pensar colectivamente.

Como lo expresara Paulo Freire, “Saber enseñar no es transferir conocimiento, sino crear condiciones para su propia producción o construcción” y por tanto implica la construcción de espacios de encuentro, espacios que posibiliten una relación dialógica entre docentes y estudiantes.

Enseñar con sentido inclusivo y emancipatorio requiere de modelos de comunicación que alienten el trabajo cooperativo. Se trata de superar la desarticulación entre conocimiento y contexto. Lograr mejores clases y procesos de enseñanza a partir del desarrollo del pensamiento crítico desde una propuesta política pedagógica que, al transformar desde una interacción dada a docente y estudiantes en sujetos activos del conocimiento, posibilitará el desafío de incluir. En definitiva, se trata de asumir que, como lo afirmara Paulo Freire, “la educación es un acto político”.

Por otra parte, “...el aprendizaje participativo no es una mera cuestión de interacción, sino una que desemboca en la creación conjunta de conocimiento. Avanzar hacia una nueva pedagogía no es solo ofrecer a las y los estudiantes tecnologías que probablemente utilicen en la sociedad del conocimiento, tecnologías que, como el conocimiento mismo, están sometidas a rápidos cambios. La pedagogía del siglo XXI implicará lograr que las y los estudiantes participen en cursos de formación sobre distintas formas de aplicación del conocimiento, sobre nuevos procesos de investigación, diálogo y conectividad” (Scott, Cynthia Luna, 2013, P. 33)

El actual contexto de emergencia sanitaria y aislamiento social obligatorio nos interpela en relación a un espacio que, en esta coyuntura, adopta otras características y donde las tecnologías adquieren otro rol. El desafío pedagógico que implica el escenario mediado tecnológicamente abarca, por lo tanto, no solo transformaciones del espacio y del tiempo, sino también la reorganización de los saberes y la redefinición de la comunicación y de las relaciones de autoridad (Dussel, 2018).

“La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron. La Agenda se convierte entonces, en la carta de navegación de los países para los próximos 10 años, proponiendo como meta central, un cambio en el estilo de desarrollo, alentando una alianza mundial reforzada y definiendo los medios de implementación necesarios para que esta agenda se cumpla. Con diversas velocidades, de acuerdo a sus posibilidades políticas y técnicas, los 193 estados firmantes están trabajando en dirección a alcanzar los objetivos y metas propuestas y son 22 países de la región de América Latina y el Caribe, los que han presentado Informes nacionales” (C Morales, et al, 2020, p.10)

Las capacidades de los actores sociales, políticos y económicos del territorio y el modo en cómo se relacionan puede determinar las posibilidades para la construcción de su propio futuro. Por lo tanto, actuar sobre las capacidades de un territorio permitiría construir procesos colectivos con una mirada de desarrollo más inclusiva y sostenible. Se requiere reconstruir confianza entre los ciudadanos y entre ellos y las instituciones, así como también generar políticas y prácticas que la faciliten, para crear una cultura colaborativa.

“Las políticas públicas que potencian un desarrollo territorial inclusivo y sostenible deben formularse y gestionarse en el marco de una visión de país de largo plazo, producto de un pacto social y político, que contemple los tres pilares del desarrollo sostenible, acompañado de prácticas institucionales que aborden los problemas públicos de forma integral. Esta mirada debe necesariamente tener un enfoque territorial que potencie la diversidad de las vocaciones productivas, capacidades sociales e identidades culturales de los territorios y las capacidades de asociatividad de los actores para que aporten al proyecto de desarrollo” (C Morales, 2020).

Frente a las tensiones crecientes, tanto internas como en las relaciones internacionales, los ODS son un marco ordenador que refleja el consenso amplio de los gobiernos y la sociedad civil en torno a un desarrollo sostenible.

“Es imprescindible recuperar el concepto de ciudadanía y de igualdad de derechos para estructurar un nuevo ciclo de políticas de desarrollo centradas en el crecimiento, el empleo, la sostenibilidad y la igualdad. Las acciones orientadas a fortalecer la Agenda 2030, los ODS y la década de

acción son —y serán cada vez más— fundamentos para construir un futuro mejor” (CEPAL 2021).

Incluso en este sentido, la UNESCO afirma que “Las acciones correspondientes a este ámbito de acción prioritario son, entre otras, el fortalecimiento de las redes de múltiples partes interesadas en el plano local y la mejora de la calidad de las plataformas locales de aprendizaje y cooperación.

En este sentido, surgió la necesidad de repensar las prácticas de enseñanza desarrolladas en la presencialidad, para migrar a una modalidad de dictado virtual, que no puede prescindir del conocimiento pedagógico, insoslayable en la tarea de enseñar.

Fue por ello necesario redefinir la planificación de las clases y de los encuentros para una modalidad virtual. Asimismo, superar aquellas prácticas limitadas a la mera transmisión de información y donde la incorporación de tecnologías a la tarea pedagógica no se limitara a lo puramente instrumental sino como recurso, como apoyo a la enseñanza, a la educación para el Desarrollo Sostenible.

Fue necesario reinventar la forma de comunicarnos para así facilitar una relación pedagógica mediada por tecnologías.

En este contexto se trató de pensar distinto el proceso de enseñanza reflexionando sobre la tecnología y lo pedagógico.

Se trató de gestionar el tiempo y el espacio, organizar los contenidos, diseñar materiales y actividades (de acuerdo a las características del grupo, de sus capacidades, intereses y necesidades) y evaluar el proceso de aprendizaje. “Desplegar estrategias desafiantes e interesantes para los estudiantes, donde las relaciones pedagógicas propuestas sean capaces de diversificar, problematizar y potenciar las posibilidades de aprender y de enseñar”.

Esto implica:

Considerar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de las acciones de desarrollo

Incorporar las lógicas y actuaciones de los diferentes actores en el proceso de planificación y gestión.

Promover la interacción de diferentes disciplinas en la resolución de los problemas del desarrollo.

Superar la visión reduccionista y mecanicista imperante y asumir la cultura de la complejidad

Para ello, frente a la coyuntura y como un continuum, fue preciso repensar el proceso educativo.

“Pasar de una educación monológica a otra dialógica y horizontal” tal como lo proponía Paulo Freire. Generar así una dialéctica teórico práctica entre alumnos y docente que posibilite desde un espacio de interacción, en este caso el aula virtual, la construcción de un nuevo paradigma, el de la sostenibilidad, para hacer frente a la crisis ambiental.

Se trata de generar una puerta de ingreso a conceptos principalmente sociales (desarrollo sostenible) en el marco de una carrera de ingeniería. El propósito es introducir una visión superadora de la del especialista, para contribuir a formar profesionales que puedan dar respuesta a los problemas del desarrollo, pero desde el nuevo paradigma de la sostenibilidad.

Se trata de brindarles las herramientas analíticas que les permita devenir en sujetos activos de aprendizaje a partir de incorporar nuevas y hasta contradictorias conceptualizaciones. Las tecnologías digitales conformaron recursos destinados a potenciar la enseñanza y el aprendizaje. Todo un desafío, dado que de la interacción lograda y del proceso dialógico entablado, dependerían la permanencia en las aulas virtuales y el compromiso con la temática, fundamental para los próximos graduados y su rol en la sociedad como actores comprometidos con la transformación de la realidad.

#### 4. Conclusiones

Hoy estamos en una instancia diferente, que tal vez se pueda referenciar como fin de una etapa, pero inicio de otro recorrido. Un recorrido que comienza con nuevos saberes, con nuevos conceptos y herramientas, con nuevas vivencias compartidas, como un entrelazamiento entre lo que fuimos ayer y somos hoy.

Pero además y por sobre todo, entre todos pudimos analizar y reflexionar sobre un contexto político, económico, social y tecnológico que no puede determinarnos sino interpelarnos para repensar y proponer nuevos caminos hacia una educación emancipatoria, liberadora y comprometida ideológicamente. Una educación capaz de construir, desde la diversidad de actores y saberes, las propuestas y respuestas necesarias para el desarrollo

de nuestro país, de nuestra región, pero desde un nuevo paradigma, el de la sostenibilidad.

El ámbito educativo debe ser el lugar donde se creen escenarios deseables para la vida. Imaginar futuros peores nos ha quitado la capacidad de pensar mundos mejores y sostenibles. Educar para transformar. De eso se trata. Alfabetizar en lo ecosocial. Trabajar en red a fin de posibilitar proyectos en común, intercambio de experiencias, creación de confianza. Ver la oportunidad para la innovación. Festejar los encuentros, la vida.

La humanidad y el planeta requieren construir procesos educativos que pongan la vida como centro para que los alumnos se constituyan en verdaderos agentes de cambio. Para ello es preciso buscar nuevas respuestas desde lo racional pero también desde lo emocional. Iniciar el camino del cambio cultural y para ello el proceso de aprendizaje debe comenzar por las emociones y los valores, mostrando posibles alternativas. La idea clave, es la esperanza...

Paulo Freire, el pedagogo de la esperanza decía: “... la esperanza necesita de la práctica para volverse historia concreta. Por eso no hay esperanza en la pura espera, ni tampoco en la espera pura, que así se vuelve espera vana”. Debemos descubrir las posibilidades para la esperanza, sin la cual poco podemos hacer. Debemos ayudar a mostrar que la realidad se puede transformar.

En definitiva, educar para el Desarrollo Sostenible deviene en puente, es pedagogía transformada en acción.

#### 5. Referencias

Apple, Michael W. (2012). Crisis global, justicia social y Educación. New York: Routledge.

Banco Mundial, (2020). La Economía en los Tiempos del Covid-19. Informe semestral de LAC, abril de 2020. Washington, DC: Banco Mundial. © Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33555> Licencia: CC BY 3.0 IGO”.

Bourdieu, Pierre, (1972) Esquisse d’une théorie de la pratique. Précédé de trois études d’ethnologie Kabyle. Paris, Droz.

Burbules, N. (2014). Los significados de “aprendizaje ubicuo”. Education Policy Analysis Archives/Archivos Analíticos de Políticas Educativas, 22,1-7. ISSN: 1068-2341. Disponible en

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2750/275031898105>

Caride Gómez, J. A., & Meira Cartea, P. Ángel. (2019). Educación, ética y cambio climático. *Innovación Educativa*, (29), 61-76. <https://doi.org/10.15304/ie.29.6336>

Castells, M. (1995). *La ciudad informacional: tecnologías de la información, reestructuración económica y el proceso urbano-regional*. Madrid: Alianza Editorial.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe- CEPAL- (2021) *Construir un futuro mejor: acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (LC/FDS.4/3/Rev.1)*, Santiago, 2021

Comisión Económica para América Latina y el Caribe,- CEPAL- (2016) *La Unión Europea y América Latina y el Caribe ante la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. EL GRAN IMPULSO AMBIENTAL*

Common Worlds Research Collective (2020) ("Aprender a transformarse con el mundo: educación para la supervivencia futura, en *Investigación y Prospectiva en Educación*, n° 28, UNESCO.

Dussel, Inés (2018). ¿Nuevas formas de enseñar y aprender? En *Revista Perfiles Educativos*, vol. XL, número especial, IISUE-UN.

Freire, Paulo (1996). *Pedagogía de la autonomía. Saberes necesarios para la práctica educativa*. Buenos Aires, Siglo XX.

González, Alejandro Héctor; Esnaola, Fernanda; Martín, Mercedes (2012) *Propuestas educativas mediadas por tecnologías digitales - Algunas pautas de trabajo* - Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25803>

Hoffmann Bridge, (2020) *CAMBIO CLIMÁTICO Y DESASTRES NATURALES: Exposición desigual, impactos y capacidad para hacerles frente*.

<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/que-es-educacion-ambiental>

Litwin, E. (comp) (2000). *La Educación a Distancia. Temas para el debate en una nueva agenda educativa*. Buenos Aires: Amorrortu

Maggio, M. (2012). *Enriquecer la enseñanza: los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad*. Buenos Aires: Planeta.

Martín Barbero, J. (2009). *Cuando la tecnología deja de ser una ayuda didáctica para convertirse en mediación cultural. Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 10(1), 19-31.

Matías Busso, Julián Messina, (2020) *La crisis de la desigualdad: América Latina y el Caribe en la encrucijada / editores, BID*.

Meira Cartea, Pablo Ángel, Andrade, Marilia,(2020) *Educación para una Cultura de la Sostenibilidad: eco-ciudadanía, políticas públicas y participación social en Pedagogía social: revista interuniversitaria*, N° 36, págs. 13-17

Morales C, Pérez R., Riffo L. y Williner A., "Desarrollo territorial sostenible y nuevas ciudadanías: consideraciones sobre políticas públicas para un mundo en transformación", *Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/180)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

Morozov, E. (2013). *To save everything, click here. The folly of technological solutionism*. New York: Public Affairs.

Odeti, V. (2012). "Curaduría de contenidos: límites y posibilidades de la metáfora".

Sacristán, Gimeno (1978). *Explicación, norma y utopía*. En: Escolano, A. y otros, *Epistemología y educación*, Salamanca: Ed. Sígueme.

Scolari, C. A. (2019). "¿Cómo analizar una interfaz?". *Method January 2019*. Disponible [https://www.researchgate.net/publication/330651740\\_Como\\_analizar\\_una\\_interfa](https://www.researchgate.net/publication/330651740_Como_analizar_una_interfa)

## La evaluación en la asignatura Química en FCEIA UNR durante ambos cuatrimestres 2020

### The evaluation in the Chemistry subject at FCEIA UNR during both semesters 2020

Verónica Magdalena Relling<sup>1</sup>, Cristina Susana Rodríguez<sup>1</sup>, María Eugenia Disetti<sup>1</sup>;  
Gerardo Camí<sup>1</sup>, Lautaro Bosco<sup>1</sup>

1. Grupo de Investigación en Educación Química (GIEQ). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (FCEIA/UNR). Av. Pellegrini 250, Rosario, Santa Fe, República Argentina.

E-mail: [vrelling@fceia.unr.edu.ar](mailto:vrelling@fceia.unr.edu.ar)

#### Resumen

El presente estudio aborda la evaluación en química para dar continuidad a la formación académica universitaria en la extraordinaria situación provocada por la pandemia del covid-19. Se describen autoevaluación, taller, consulta, trabajo práctico y examen de acreditación, actividades ofrecidas por los docentes enmarcados en las recomendaciones e instrumentos de evaluación online propuestos desde la UNR. Con enfoque cualitativo a través de encuestas, se caracterizan las opiniones y comentarios de los estudiantes al respecto y, las apreciaciones de docentes sobre las actividades y recursos utilizados en los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación. Los resultados más significativos de dichas encuestas a estudiantes muestran que, si bien la opinión es favorable sobre la acción de evaluar, no resulta totalmente satisfactoria la herramienta cuestionario de Moodle para acreditar. Al respecto los docentes, no la consideran suficientemente útil para valorar procesos de razonamiento pero sí, la mejor opción disponible posible. Se describe también el desempeño de los estudiantes y se cierra esta presentación reflexionando sobre el grado de satisfacción que brinda la tecnología y la oferta de instancias ofrecidas para regular tanto el aprendizaje como la enseñanza.

Palabras clave: Química, Ingeniería no química, Evaluación remota, Cuestionarios moodle

#### Abstract

This study addresses the evaluation in chemistry to give continuity to university academic training in the extraordinary situation caused by the covid-19 pandemic. Self-evaluation, workshop, consultation, practical work and accreditation exam, activities offered by teachers framed in the recommendations and online evaluation instruments proposed by the UNR are described. With a qualitative approach through surveys, the opinions and comments of the students in this regard are characterized, as well as the teachers' appreciations about the activities and resources used in the teaching, learning and evaluation processes. The most significant results of these student surveys show that, although the opinion is favorable about the action of evaluating, the Moodle questionnaire tool for accreditation is not totally satisfactory. In this regard, teachers do not consider it useful enough to assess reasoning processes, but it is the best possible option available. The performance of the students is also described and this presentation closes reflecting on the degree of satisfaction that technology provides and the offer of instances offered to regulate both learning and teaching.

Keywords: Chemistry, Non-chemical engineering, Remote assessment, Moodle questionnaires

#### 1. Introducción

Durante 2020, a lo largo de los dos cuatrimestres Química desarrolla todo el trayecto de instrucción

(enseñanza, aprendizaje y evaluación) mediado por la tecnología. Se ofrecen instancias de evaluación con dos fines. Por un lado, las destinadas a conocer las dificultades de los estudiantes para aprender, con función “*formativa-reguladora*” (Puig, 2007)

que permita a los docentes diseñar estrategias dirigidas a morigerarlas y, por otro, las identificadas con una función “*calificadora*” (Puig, 2007) para acreditar la asignatura. En ambos casos, los resultados a estas evaluaciones son insumos que habilitan a los docentes establecer o no modificaciones en las secuencias de enseñanza. En otras palabras, la evaluación regula tanto *las dificultades y los errores del alumnado, como del proceso de enseñanza*” (Puig, 2007). Se entiende entonces que la acción pedagógica debe configurarse alrededor de la adecuación de la oferta didáctica para que los estudiantes puedan elaborar un razonamiento propio que les permita aprender y así conseguir una mayor autonomía. (Jorba y Sanmartí, 2008). Los resultados de las evaluaciones son insumos valiosos particularmente para los docentes, permiten detectar cuáles prácticas son más eficaces para reforzarlas, y cómo provocar los cambios necesarios para transformar las poco eficientes en idóneas para que los estudiantes puedan ir construyendo sus propios esquemas de representación mental o “*sistema personal de aprender*” (Jorba y Sanmartí, 2008). Las instancias sincrónicas como talleres, resolución de problemas y consultas se constituyen en espacios ideales para la regulación de los saberes, en los cuales los docentes intentan, reconocer qué cuenta como causa de los éxitos y de los fracasos y cómo detectar los yerros de los estudiantes, sin que esto implique una evaluación calificadora.

En cuanto a las potencialidades de la tecnología, el conjunto de las herramientas que ofrece la plataforma Moodle es poderoso, sin embargo, esta cualidad se desdibuja, se opaca, con la intempestiva irrupción de la pandemia y la consecuente adaptación al contexto online de manera precipitada ya que no se instala con una previa “*planificación ni una reflexión del diseño educativo*” (Grande-de-Prado *et al*, 2021). De dicha plataforma no se aprovecha la diversidad y las potencialidades de las herramientas, ya sea: por la poca experiencia o falta de conocimiento de los docentes para la selección y aplicación de las herramientas digitales, por la baja disponibilidad real de los docentes, propia de la situación epidemiológica, por la escasa conectividad y/o por la paupérrima relación docente-estudiante.

Debido al poco conocimiento docente sobre las posibilidades que brindan las herramientas utilizadas, éstas no resultan convocantes para los estudiantes y muchas de ellas se dejan de utilizar. La que sí se utiliza y en muchas oportunidades es el *questionario* de Moodle, para promover la autoevaluación y el estudio autónomo como para evaluar el final de la instrucción. Con estas

intenciones surgen tres tipos de cuestionarios con diferentes configuraciones: Autoevaluaciones (AuE) de corrección automática e inmediata, disponibles todo el cuatrimestre. Trabajos Prácticos (TP) y Exámenes de Acreditación (EA), con correcciones diferidas automáticas y manuales. Para poder rediseñar el proceso de enseñanza aprendizaje y evaluación en las circunstancias tan particulares de la pandemia se decide hacer esta investigación descriptiva, que en una primera etapa posee los siguientes objetivos:

Describir el soporte tecnológico con los aspectos organizativos del aula en el primero y segundo cuatrimestre de 2020.

Describir actividades destinadas a la regulación de aprendizaje y a la autoevaluación y la opinión de los docentes.

Describir el armado, la configuración y la aplicación del Cuestionario Moodle en las diferentes actividades de evaluación y la opinión de los docentes.

Exponer la adecuación de la oferta didáctica que se produce en el segundo cuatrimestre y el relato de los docentes entrevistados sobre la misma.

Caracterizar en aspectos positivos y negativos las opiniones de estudiantes respecto de la evaluación.

Relevar el desempeño de los estudiantes.

## 2. Materiales y métodos

Se emplea una metodología cualitativa y estadística descriptiva. Se analizan las planificaciones de la asignatura para identificar las estrategias didácticas que se implementan para superar las dificultades de los estudiantes y se emplean los registros que provee la plataforma Moodle para describir el desempeño de los estudiantes en las instancias de evaluación. Para conocer las opiniones de los estudiantes sobre autoevaluaciones, trabajos prácticos y exámenes, los datos se recolectan con el instrumento Encuesta de la plataforma Moodle. Estas últimas son aplicadas en forma anónima y voluntaria, al finalizar el primero y el segundo cuatrimestre del 2020 (Encuesta N°1 y Encuesta N°2). En ambas encuestas se plantean preguntas cerradas de opciones múltiples, expresadas en términos de valoraciones positivas, negativas y neutras (pueden seleccionarse más de una) y abiertas en donde los estudiantes deben redactar expresiones de opinión. Para conocer las opiniones de los docentes respecto de preparación, aplicación, corrección y valoración de las actividades de evaluación y recursos utilizados, se plantea una entrevista semiestructurada a tres docentes involucrados activamente en el proceso de evaluación.

### 3. Resultados y Discusión

#### *Aspectos organizativos del aula virtual de Química*

Se encuentra en el Campus Virtual de FCEIA. Se utilizan los recursos: *archivo, página, etiqueta, y libro*, y las actividades: *tarea, foro, chat, cuestionario* de la plataforma Moodle. Se organiza en los siguientes bloques:

- Presentación (del plantel docente y de la asignatura).
- Foro de Avisos y novedades (suscripción obligatoria).
- Material didáctico.
- Foro de consultas asincrónicas.
- Encuentros sincrónicos: se utiliza el recurso página para brindar información general, link y horarios. Se realizan a través de video conferencia (GSuite For Education de la FCEIA, con la herramienta Meet de Google).
- Semana (1 al 16): con el recurso página, se presentan en cada una de las semanas de cursado, las indicaciones, las sugerencias y el material complementario de estudio que incluye clases grabadas y presentaciones multimedia, accesibles por hipertexto en la misma página. Además, se agregan las actividades de *foros, tareas y cuestionarios* de autoevaluación (AuE).
- Trabajos prácticos: se ofrece un *archivo* con información general, horarios, modalidad y temario. Se utilizan *cuestionarios* de Trabajos Prácticos (TP)
- Exámenes: se utiliza el recurso página para brindar información general, link y horarios y la actividad *cuestionario* de Examen de Acreditación (EA).

#### *Instancias de regulación y aprendizaje*

Autoevaluación: Asincrónica, semanal, *cuestionario* constituido por preguntas de opciones múltiples, sin límites en la cantidad de intentos, con retroalimentación. Para la construcción se proponen situaciones problemáticas cuali y cuantitativas sobre un eje temático, e implica una ardua tarea previa a la aplicación del *cuestionario* para lograr la corrección automática por medio de la plataforma y la retroalimentación necesaria. También se ofrecen tres autoevaluaciones integradoras. Taller: Sincrónico de dos horas semanales durante el segundo cuatrimestre con videos/ lecturas/ ejercicios para acercar a los estudiantes a situaciones experimentales. Es el espacio más interesante para los estudiantes porque es donde se expresan y fortalecen sus buenos aprendizajes y

superan sus errores. Con propuestas para planificar, desarrollar las capacidades como describir, representar, argumentar y justificar, se intenta favorecer la construcción de los propios esquemas para comprender. Consulta: Sincrónica todas las semanas entre dos y tres horas. Se trabaja con las inquietudes de los estudiantes y se refuerza con actividades.

*Los docentes opinan:* sobre la AuE la consideran un recurso muy valioso para regular autoaprendizajes de cada bloque temático durante el cuatrimestre ya que poseen retroalimentación inmediata. El hecho que estén abiertas y disponibles durante todo el cursado es considerado un aspecto a revisar ya que la mayoría de las resoluciones ocurren al final del cuatrimestre y no al finalizar cada eje temático. Las actividades sincrónicas de taller y consulta son ofrecidas con el propósito de que los estudiantes puedan superar las causas más significativas de los inconvenientes que se les presentan tanto a la hora de interpretar, planificar y resolver situaciones problemáticas como para justificar y/o argumentar sus decisiones. Sin embargo, por más entusiasmo y solvencia que demuestren los profesores, son actividades muy poco aprovechadas por los estudiantes que privilegian más escuchar que actuar. En dichos encuentros demuestran importantes debilidades para construir conclusiones argumentadas que, sumadas a la falta de consistencia en las fundamentaciones metodológicas y teóricas, deja en claro la falta o insuficiencia, en el diseño implementado, de instancias de aprendizaje que ataquen esta falencia.

#### *Armado, configuración y aplicación del Cuestionario Moodle en las diferentes actividades de evaluación calificadora.*

El *cuestionario* es una actividad muy versátil, y permite configurarlo de acuerdo a las diferentes instancias de evaluación.

*Cuestionario Trabajo Práctico (TP):* Solo se incorporan tres TP en el segundo cuatrimestre, consisten en preguntas de opciones múltiples y/o tipo ensayo, asincrónico. Para la construcción se apeló a la creatividad y a recursos audiovisuales para acercar actividades observables, experimentales de laboratorio químico. *Opinión de docentes:* Se constituyó como una actividad individual para evaluar aprendizajes de varios ejes temáticos integrados, sin embargo, la corrección evidencia una resolución conjunta y masiva realizada con poco criterio. Su aplicación en forma asincrónica no es la mejor elección para este tipo de evaluación, ya que fue grande el esfuerzo en la construcción y corrección por parte de los docentes, quienes perciben que no cumple con la función

formativa reguladora, por lo cual no permite que los estudiantes reconozcan las causas de sus erróneos aprendizajes.

**Cuestionario Examen de Acreditación (EA):** en mesas de examen, preguntas de opciones múltiples y/o tipo ensayo, reordenadas al azar, y seleccionadas aleatoriamente de una base de preguntas preestablecida (800 preguntas), sincrónico (con supervisión docente a través de meet), abierto entre 60 y 90 minutos según los cuatrimestres. **Opinión de docentes:** Para preparar exámenes virtuales en formato cuestionario, el trabajo docente es mucho más exigente que en la presencialidad. Estas tecnologías demandan más labores docentes, más horas de trabajo y posiblemente la necesidad de más docentes. La elaboración de una base de preguntas inéditas, originales y que contemple la integración de los contenidos de toda la asignatura resulta una experiencia desafiante que los docentes llevan a cabo para continuar y sostener la formación académica de los estudiantes. Los docentes sostienen que, al privilegiar la variabilidad de las preguntas, el modo sincrónico y secuencial presentado, se favorece la resolución individual. Sin embargo, encuentran una gran debilidad de esta propuesta, pues se califican más resultados que desarrollos, y en ese sentido a los docentes no les satisface como modo de acreditación. Dicha debilidad es considerada como una consecuencia de una baja disponibilidad de docentes en pandemia para corregir en tiempo y forma el proceso y no solo los resultados.

#### La oferta didáctica

**Opinan los docentes:** el diseño curricular del primer cuatrimestre ofrece pocas instancias sincrónicas para regular y evaluar aprendizajes, lo cual las dificultades de los estudiantes para lograr aprendizajes significativos no se logran superar. Los estudiantes demuestran importantes debilidades para construir conclusiones argumentadas y falta de consistencia en las fundamentaciones metodológicas y teóricas y, los docentes alegan, por la falta o insuficiencia, en el diseño implementado, de instancias de aprendizaje que ataquen esta falencia. En cuanto a los exámenes de acreditación, los docentes perciben que, para los estudiantes, es la instancia más angustiante del dispositivo pedagógico. Conforme la virtualidad se consolida como única forma de continuar la formación académica del grado, los docentes aumentan la oferta de actividades sincrónicas en el segundo cuatrimestre tanto para la formación como para la acreditación. Estas diferencias entre cuatrimestres se exhiben en la Tabla 1.

#### Desempeño de los estudiantes

Una descripción estadística muestra cómo es el desempeño de los estudiantes durante ambos cuatrimestres. El desempeño de los estudiantes contempla: asistencia, realización de AuE, realización y aprobación de TP y EA. Esta descripción se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Oferta didáctica

	1er Cuatrimestre 2020	2do Cuatrimestre 2020
Encuentros sincrónicos: contenidos conceptuales	1 por semana	2 por semana
Encuentros sincrónicos: resolución de problemas	1 por semana	2 por semana
Consultas	1 por semana	4 por semana
Talleres	0	3 por semana
Trabajos prácticos	0	3 en el cuatrimestre
Oportunidades para acreditar	2 mesas de examen	5 mesas de examen

**Tabla 2.** Desempeño de los estudiantes

	1er Cuatrimestre 2020 N° de estudiantes (%)	2do Cuatrimestre 2020 N° de estudiantes (%)
Inscriptos en Plataforma	456 (100%)	390 (100%)
AuE (*)	146 realizan la primera 83 realizan la última (16%) realizan todas	306 realizan la primera 156 realizan la última (33%) realizan todas
TP (1)	-----	TP1: 367 resuelven 344 aprueban TP2: 339 resuelven 332 aprueban TP3: 319 resuelven 307 aprueban
EA	124 se presentan a rendir (**) 58 (12,7%) acreditan	236 se presentan a rendir (**) 112 (28,7%) acreditan
Asisten a encuentros sincrónicos	40 en promedio	70 en promedio
(*) El n° de estudiantes que las realiza disminuye a lo largo del cuatrimestre desde la número 1 hacia la número 13. (**) cantidad de estudiantes que se presentan a rendir. Cada uno de ellos entre 1 y 5 veces por cuatrimestre		

*Opiniones de estudiantes respecto de la evaluación en términos de aspectos positivos y negativos*

Los resultados de las Encuestas N°1 y 2 se vuelcan en la Tabla 3. Se observa el aumento de estudiantes que responden en el segundo cuatrimestre cuando ya está afianzada la cursada virtual.

**Tabla 3.** Aspectos positivos y negativos de las evaluaciones según los estudiantes

	ENCUESTA N° 1 2020 (48 estudiantes)		ENCUESTA N° 2 2020 (96 estudiantes)	
	positivo	negativo	positivo	negativo
AuE	65% muy útiles	80% complejidad mucho menor a la de los EA	69% muy útiles	70% complejidad es mucho menor a la de los EA.
TP	No se aplicó	No se aplicó	42% muy útiles	30% Dificultad no es acorde a la de los EA.
EA	25% Acceso a la acreditación	31% La considera injusta.  Formato Secuencial no permite la revisión. Tiempo escaso. Complejidad alta.	40% Acceso a la acreditación.	10% La considera injusta.  Formato Secuencial no permite la revisión  Tiempo escaso.  Complejidad alta.  20% considera una alta carga conceptual para una única evaluación

#### 4. Conclusión

Durante el 2020, en pandemia con escasa formación y nula experiencia en los procesos de enseñanza aprendizaje y evaluación enseñanza en entornos virtuales, el plantel de profesores de Química de la FCEIA (diez docentes) logran implementar evaluaciones formativas y de acreditación para que los estudiantes de un curso masivo del ciclo básico (alrededor de 400 inscriptos), adquieran su promoción. Mediante las actividades y recursos de la plataforma Moodle, fue posible sostener

autoevaluaciones, trabajos prácticos y exámenes de acreditación. La actividad *cuestionario* se adaptó permitiendo las diferentes instancias de evaluación, sin embargo, de acuerdo al desempeño de los estudiantes y a la opinión de los docentes esta herramienta si bien es muy útil, no resulta suficientemente idónea para asegurar una acreditación de calidad, pero sí adecuada para permitir el avance de los estudiantes en la carrera.

Sin duda esta situación de emergencia demuestra, más que otras circunstancias, qué poco conocen los docentes sobre nuevos escenarios y cómo aprenden de los errores propios detectados por ellos mismos y/o expresados por los estudiantes y cómo se reconstruyen luego de la repentina ausencia de la audiencia presencial que lleva a un giro didáctico de consecuencias aún no conocidas.

Dos aspectos totalmente opuestos y muy importantes como conclusión. Uno de ellos, en el extremo positivo, es haber logrado que los estudiantes acrediten en aislamiento y el otro aspecto en el extremo opuesto, como negativo, el formato de la EA. Estos dos aspectos son considerados en la actualidad como fuentes de información valiosa para diseñar actividades de evaluación formativas y reguladoras que favorezcan el pensar más que el calcular y, un formato de la EA que privilegie el desarrollo argumentativo y procedimental además de la conclusión y el resultado.

#### 5. Referencias

- Grande-de-Prado, M.; García-Peñalvo, F. J.; Corell Almuzara, A.; Abella-García, V. (2021). Evaluación en Educación Superior durante la pandemia de la COVID-19. *Campus Virtuales*, 10(1), 49-58. ([www.revistacampusvirtuales.es](http://www.revistacampusvirtuales.es))
- Jorba, J., & Sanmartí, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de innovación educativa*, 20, 20-30.
- Puig, N. S. (2007). *10 ideas clave. Evaluar para aprender* (Vol. 1). Grao

# Aula invertida en tiempos de convergencia tecnológica: una experiencia en Física Universitaria durante la COVID-19 en la carrera de ingeniería en informática de la Universidad de Mendoza

## Flipped classroom in times of technological convergence: an experience in University Physics during COVID-19 in the computer science engineering degree at the Universidad de Mendoza

Augusto Roggiero<sup>1</sup>, Cecilia Musale<sup>1</sup>, Eugenia Marquez<sup>1</sup>, Alicia Mayoral<sup>1</sup>, Sevillano Eugenia<sup>1</sup>

1. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria - Universidad Nacional de Cuyo UNCuyo, Bernardo de Irigoyen 375, C.P.: 5600, San Rafael, Mendoza, Argentina.

E-mail: [aroggier@fcai.uncu.edu.ar](mailto:aroggier@fcai.uncu.edu.ar)

### Resumen

El sistema de Educación Superior, en Argentina, ha evolucionado mucho en los últimos años, siguiendo una serie de factores como la democratización, la masificación del acceso, así como la evolución de las prácticas de aprendizaje de los estudiantes desde la cultura digital. Estos catalizadores empujan a cuestionar las prácticas pedagógicas de los profesores y sobre todo a cambiar. En este contexto, sugerimos utilizar clases invertidas para reforzar la preparación preliminar para el trabajo práctico. Para ello, se implementó un módulo autoasistido online basado en el escenario educativo del aprendizaje en cuestión. Estas cuestiones se actualizan a la luz de los requerimientos que el contexto pandémico impuso. Nos hallamos ante una realidad que demanda revisar nuestro trabajo en escenarios combinados en los que están mutando las formas de la presencia, las maneras de diseñar y proponer la enseñanza y el lugar de los objetos culturales a los que recurrimos desde los espacios educativos, entre otros aspectos. La primera experiencia piloto del enfoque propuesto tuvo lugar durante el año académico 2020 sobre el trabajo práctico de "electromagnetismo en el vacío" por parte de los estudiantes matriculados en el segundo año de la carrera de ingeniería en informática de la Universidad de Mendoza. Esta metodología también implica propiciar la reciprocidad del vínculo entre la calidad y eficacia de la práctica pedagógica adoptada por un lado y el aprendizaje de los estudiantes por otro lado. Los análisis de los distintos resultados obtenidos son alentadores y aportan información sobre los puntos a mejorar a nivel de nuestro sistema.

Palabras clave: trabajo práctico, clase invertida, educación universitaria.

### Abstract

The Higher Education system in Argentina has evolved a lot in recent years, following a series of factors such as democratization, the massification of access, as well as the evolution of student learning practices from digital culture. These catalysts push to question the pedagogical practices of teachers and above all to change. In this context, we suggest using flipped classes to reinforce preliminary preparation for practical work. For this, an online self-assisted module was implemented based on the educational setting of the learning in question. These issues are updated in light of the requirements that the pandemic context imposed. We are faced with a reality that demands reviewing our work in combined scenarios in which the forms of presence, the ways of designing and proposing teaching and the place of cultural objects to which we resort from the educational spaces, among other aspects. The first pilot experience of the proposed approach took place during the academic year 2020 on the practical work of "electromagnetism in vacuum" by students enrolled in the second year of the degree in computer science engineering at Universidad de Mendoza. This methodology also implies fostering the reciprocity of the link between the quality and effectiveness of the pedagogical practice adopted on the one hand and the learning of the students on the other hand. The analyzes of the different results obtained are encouraging and provide information on the points to improve at the level of our system.

Keywords: practical work, flipped class, university education.

## 1. Introducción

La pandemia Covid-19 llevó a casi todos los estados a tomar medidas para cerrar por completo sus escuelas durante varias semanas entre marzo y julio de 2020, creando un fenómeno de magnitud sin precedentes. Al 25 de marzo, 165 países habían cerrado sus escuelas, lo que afectó a casi 1.500 millones de estudiantes<sup>2</sup>; estas cifras aumentarán a 194 países y 1.725 millones de estudiantes durante el mes de abril, para disminuir desde principios de mayo. Los gobiernos han respondido tomando medidas para asegurar la continuidad educativa. Esta noción de continuidad pedagógica ha variado de un país a otro. En este sentido, las universidades argentinas estuvieron llamadas a asumir varios retos y repensar los métodos de enseñanza/aprendizaje para promover una mayor participación de los estudiantes y promover prácticas de enseñanza innovadoras. Dado el crecimiento de la matrícula de estudiantes y la limitación de los recursos de humanos docentes, tal desarrollo conduce a enfrentar simultáneamente desafíos educativos, tecnológicos y organizacionales. Por tanto, la universidad argentina debió conseguir afrontar el trastorno estructural de los nuevos modos de acceso, creación y difusión del conocimiento. El presente trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación “El conocimiento profesional movilizado por los docentes en la preparación de sus actividades didácticas y la implementación en clase de enseñanza de la ciencia. Estudio de caso en Física Universitaria” de la Universidad Nacional de Cuyo.

En general, el Trabajo Práctico (TP) se considera una parte esencial de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Esta posición ha sido confirmada por investigadores, profesores y programas de estudios internacionales (Dillon, 2008). De hecho, muchos investigadores han descubierto que el aprendizaje de las ciencias, así como el nivel de comprensión, mejora cuando los estudiantes participan en experimentos prácticos en un laboratorio de ciencias (Karabulut - Ilgu, A., Jaramillo Cherez, N. y Jähren, 2017).

En las facultades de ingeniería, los trabajos prácticos deben realizarse en pequeños grupos de estudiantes, para permitir que la teoría aprendida en clase se materialice a través de experimentos. Las prácticas estimulan la curiosidad de los estudiantes al permitirles observar y hacer preguntas. También permiten desarrollar un espíritu de iniciativa y especialmente un espíritu crítico a la hora de analizar e interpretar los resultados. De hecho, el enfoque experimental ayuda por un lado a dominar los conceptos que gestionan el funcionamiento de

un dispositivo y por otro lado a articular las prácticas experimentales para conducir a una apropiación de conocimientos calificados como teóricos. Sin embargo, las sesiones de TP en algunas universidades argentinas se ven afectadas por la masificación. Además del problema de aumentar el número de estudiantes matriculados en la asignatura, no hay suficiente cantidad de docentes para monitorear el adecuado uso del equipamiento a lo largo de los experimentos para evitar cualquier posible daño. Por otro lado, a los estudiantes se les requiere que profundicen su comprensión de los conceptos teóricos y los conocimientos técnicos adecuados, tales como: dominar los aspectos teóricos relacionados con el manejo correcto del equipo, lectura e interpretación de los resultados y finalmente extraigan conclusiones significativas.

La pedagogía inversa o aula invertida nos parece una solución relevante para dar respuesta a este problema, es una pedagogía que pone al aprendiz en medio del proceso de enseñanza / aprendizaje como actor principal en su formación y desarrollo de las propias habilidades. Esta iniciativa tuvo como objetivo proporcionar un marco de referencia que promueva modalidades de aprendizaje activo y una enseñanza más centrada en el alumno en las universidades argentinas con el fin de hacer fructífera la adquisición del aprendizaje en el trabajo práctico.

En este contexto, proponemos recurrir al uso de la clase invertida para la realización de trabajos prácticos. Nuestra propuesta consiste en reforzar la preparación preliminar de las manipulaciones fuera de las sesiones presenciales. Los elementos clave a los que se dirige son: dominar los conceptos relacionados con las incertidumbres de medición; identificar los riesgos asociados con el montaje de circuitos electrónicos; utilizar correctamente los instrumentos de medida en hormigón en las diversas experiencias prácticas; redactar correctamente un informe de trabajo práctico; realizar mediciones electrónicas básicas a través de estudios de casos.

Para ello, hemos puesto en línea un curso de formación asincrónico que pone a disposición de los estudiantes dos categorías de videos: la primera destinada a las ayudas al aprendizaje relativas a los dispositivos comunes a las distintas experiencias programadas. Estos videos se centran en particular en explicar el uso de dispositivos electrónicos involucrados en el trabajo práctico, incluidas las técnicas de medición. La segunda categoría de videos se centra en las particularidades de cada experiencia, es decir, el montaje completo y el inicio de la manipulación en cuestión. Se ofrecen

ejercicios de simulación, en particular, para evaluar la evolución del aprendizaje de los estudiantes a través de un espacio de interacción gráfico y animado.

La puesta a prueba de nuestro enfoque se realiza inicialmente para el trabajo práctico de "electromagnetismo en el vacío" por parte de los estudiantes matriculados en el segundo año de la carrera de ingeniería en informática, trabajo práctico generalmente común a los diferentes cursos de las facultades de ingeniería argentinas

### *El aula invertida: Fundamentos*

El aula invertida es una estrategia educativa que reorganiza el espacio- tiempo para la enseñanza y el aprendizaje (Lebrun, 2017), apoyándose en el uso de las TIC. Utiliza métodos de enseñanza bien conocidos fuera del aula y métodos activos centrados en el alumno en el aula. De hecho, combina las características de varios enfoques pedagógicos entre los que podemos citar la pedagogía activa, la diferenciación pedagógica, el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo. Se basa en un enfoque socioconstructivista y moviliza intensamente las TIC como: foros, formularios, ejercicios, textos colaborativos, mapas mentales, etc. Además, Marcel Lebrun, presenta tres tipos de clase invertida (Lebrun, 2017). El tipo 1 corresponde al patrón "clásico" de la clase inversa "lecturas en casa y tareas en clase". Esta práctica de aula invertida consiste en solicitar a los estudiantes que lean su libro de referencia y sus apuntes de antemano. De esta manera el profesor dedica sus enseñanzas a las dificultades expresadas por los estudiantes, a estudios en profundidad y diversos ejercicios. Esto permite reconocer que el concepto de "clase invertida" se remonta bastante atrás en el tiempo. En el tipo 2 de la clase invertida informada por Lebrun, las actividades a distancia las realizan los propios estudiantes, de forma independiente o en grupo, antes de la actividad de clase. Los propios estudiantes, utilizando internet, buscan, seleccionan y utilizan conocimientos y estrategias didácticas para preparar y presentar actividades a sus compañeros de clase. El tipo 3 representa una mezcla de clases invertidas que reúnen los dos primeros tipos en diversas proporciones

En este trabajo adoptamos el concepto de aula invertida cuando: el contenido del curso se imparte mediante recursos que se pueden consultar online - la mayoría de las veces cápsulas de vídeo - y el tiempo de clase presencial se dedica exclusivamente a proyectos en equipo, intercambios con el profesor y entre compañeros, ejercicios prácticos y otras actividades colaborativas.

Para ello, el aula se convierte en un lugar donde los estudiantes se enfrentan y aumentan su comprensión de la asignatura, gracias a ejercicios de aprendizaje activo, realizados principalmente en grupo. Para ello, se preparan antes de clase, por ejemplo, leyendo o escuchando videos sobre el material a trabajar en clase. El docente, aprovechando que los estudiantes ya se han documentado fuera del aula, puede dedicar más tiempo a la aplicación, orientación individualizada, personalización y contextualización. Los recursos para ser consultados de forma independiente fuera del aula varían considerablemente según el lugar que ocupen cronológicamente dentro de la secuencia de aprendizaje. Como ejemplo, los conceptos teóricos del curso se pueden insertar al inicio o en medio de la secuencia para profundizar o formalizar nociones aproximadas. También puede ser la demostración y explicación de un dispositivo técnico o una manipulación práctica que se realizará en clase, lo que permite a los estudiantes ser más autónomos a la hora de ponerlo en práctica. Según investigadores que examinaron los posibles impactos de esta reorganización de las actividades educativas (Karabulut et al, 2017), las ventajas de usar la estrategia de aula invertida en la enseñanza puede contribuir a: 1-lograr autonomía, mayor control y posibilidad de progresión individualizada para los estudiantes; 2- acceso a una gran cantidad de contenido de diferentes fuentes y 3- facilitación del diálogo y los intercambios entre estudiantes, profesores y expertos externos.

## **2. Materiales y métodos**

Este estudio se llevó a cabo en la Universidad de Mendoza y más concretamente en la Facultad de Ingeniería, que entre su misión tiene la de asegurar la realización de trabajos prácticos (TP). En este contexto, pretendemos contribuir a mejorar y facilitar el logro de esta misión para el TP en Física que constituirá para nosotros el área de aprendizaje objeto de la pedagogía inversa. El TP consistió en actividades que propician el desarrollo de habilidades prácticas (medición o manipulación de aparatos, entre otras), estrategias de investigación (control de variables, diseño de experimentos, etc.), habilidades de comunicación (saber seguir instrucciones o comunicar los resultados por medio de un informe) o procesos cognitivos en un contexto científico (observación, clasificación, inferencia, emisión de hipótesis, etc.)

El objetivo de esta experiencia es el establecimiento de soluciones fundamentales a los problemas encontrados durante las sesiones prácticas de "electromagnetismo en el vacío" en el segundo año de la carrera de ingeniería. Para ello, hemos producido un curso de autoadministrado online a

través de nuestra plataforma Moodle. Con ello proponemos reforzar los conocimientos teóricos relacionados con la práctica y establecer una metodología de trabajo en el alumno a través de videos y presentaciones para poder conducir a una sesión práctica fructífera con una buena preparación, un uso correcto y seguro de los dispositivos e instrumentos de medición y finalmente análisis riguroso de los resultados.

Nuestra primera experiencia se realizó con estudiantes matriculados en el segundo año de la carrera de ingeniería en informática de la Universidad de Mendoza, quienes siguieron el trabajo práctico del módulo "electromagnetismo en vacío" durante el primer semestre de 2020. Se pidió a los 53 estudiantes interesados que siguieran la formación en línea con el fin de recibir apoyo a la preparación para trabajos prácticos.

#### *Recopilación de datos*

Varias técnicas se dedican a la recopilación de datos como entrevistas, cuestionarios y observación. Para evaluar nuestro enfoque de aula invertida, utilizamos estas técnicas dependiendo de cuándo se usaron en el proceso de enseñanza / aprendizaje (durante o fuera del curso).

La asimilación de los conocimientos aportados por la autoformación preparatoria online se controla a través de cuestionarios, tanto online a través de cuestionarios tipo test y de la aplicación práctica en clase mediante preguntas directas, vinculadas únicamente al contenido de la formación. Para estimar el nivel de conocimientos de los estudiantes en relación con las competencias requeridas para el trabajo práctico en "electromagnetismo en el vacío", se solicitó una evaluación sumativa a través del examen de trabajo práctico realizado al final de la del semestre de 2019.

Los resultados obtenidos se compararon con los del curso anterior. Explicitamos las competencias las competencias requeridas en el TP a-Plantear, analizar y resolver problemas físicos experimentales, b-Demostrar hábitos de trabajo necesarios para el desarrollo de la profesión tales como el trabajo en equipo, el rigor científico, el autoaprendizaje y la persistencia, c- Utilizar programas de computación para el procesamiento de información. d- Identificar los elementos esenciales de una situación compleja, realizar las aproximaciones necesarias y construir modelos simplificados para comprender su funcionamiento, e- Comunicar conceptos y resultados científicos en lenguaje oral y escrito ante sus pares y en situaciones de enseñanza y divulgación.

El uso de varios métodos complementarios hizo más relevante el análisis y la explicación de los resultados; en este sentido hemos realizado entrevistas individuales y grupales con nuestro público objetivo. También utilizamos la técnica de observación durante las sesiones de trabajo práctico, para controlar el progreso y el curso del aprendizaje por un lado y para evaluar la adquisición lograda por otro lado. Para identificar en detalle las dificultades que pudieran haber surgido durante este experimento, se recurrió a la retroalimentación de los estudiantes a este aprendizaje activo basado en el aula invertida. Al final de este aprendizaje y utilizando un formulario de preguntas cerradas, los estudiantes evaluaron este proceso expresando sus percepciones de forma anónima. Las declaraciones cubrieron tres categorías: Organización, Impacto y Participación.

#### *Organización de la experiencia*

El estudiante debió registrarse en la plataforma, generar un nombre de usuario y contraseña. Al acceder a la plataforma, el alumno tiene a disposición una guía para utilizar las secuencias como introducción. Se optó por un enfoque pedagógico que consiste en variar los materiales formativos ofrecidos, aprendizaje progresivo, cuyo objetivo es permitir al alumno localizar primero sus necesidades formativas mediante una prueba inicial sobre los requisitos previos. Esto le permite identificar sus lagunas para poder desarrollar sus conocimientos a lo largo de la formación gracias a diversos recursos como videos, podcast, simulaciones, cuestionarios, etc. Se introdujo a los estudiantes en el uso de la plataforma en persona antes del inicio de esta formación preparatoria. Durante esta sesión de iniciación, se explicó bien el rol y objetivo de cada entidad al tiempo que se indicó que se le atribuiría una calificación a este aprendizaje.

Las distintas secuencias introductorias para el trabajo práctico tienen como objetivo presentar el material en una forma diferente a la utilizada durante las aulas o durante las sesiones de tutoría en clase. Utilizamos videos que explican el funcionamiento de los diferentes dispositivos electrónicos involucrados en las manipulaciones, videos para dispositivos de medición y videos para el montaje y realización de la parte experimental.

### **3. Resultados y Discusión**

La evaluación de un dispositivo didáctico cualquiera que sea su naturaleza no es una tarea sencilla. Es un proceso complejo estrechamente vinculado a varias tomas de decisiones que no son necesariamente cuantificables. Además, la

evaluación no debe limitarse solo a resultados empíricos, sino que también debe incluir los resultados de las interacciones entre las diferentes entidades involucradas en el experimento. Para ello, tomamos en consideración para la evaluación de nuestro enfoque los resultados de: la prueba previa y la prueba posterior, la evaluación sumativa, las entrevistas individuales y grupales, la observación de docentes y los comentarios de los estudiantes.

#### *Resultados de la prueba previa y posterior*

Usamos el mismo cuestionario en formato de papel para el Pre-Test y el Ex post -Test. Este cuestionario está compuesto por ítems breves y directos con una única respuesta. El Pre-Test lo realizan los estudiantes al inicio de la sesión de prácticas presenciales y el Post-Test al final de la misma.

En primer lugar, queremos señalar que a pesar de que todos los estudiantes confirmaron su registro en el sistema, las estadísticas proporcionadas por la plataforma han confirmado que, de la muestra de 53 estudiantes, sólo 49 de ellos completó la capacitación en línea.

Al observar los resultados de la prueba previa, registramos que solo el 26% de los 49 estudiantes tomaron la capacitación en línea (fuera de la clase antes de la sesión de laboratorio), pudieron responder las preguntas correctamente y obtuvieron puntajes más altos o igual al promedio (Promedio= 5/10). En cuanto a los resultados del Ex post-Test (después del trabajo práctico en clase), se determinó que el 78% de los estudiantes entre los 53 lograron contestar correctamente las preguntas. Los resultados del Ex post-Test muestran que la mejora en el nivel de conocimientos de los estudiantes se presentó tras el trabajo práctico en clase tras el apoyo y seguimiento de los docentes tutores. Los resultados del Pre-Test concuerdan indican que solo el 32,7% de los estudiantes pudieron seguir la formación hasta el final. Estos resultados muestran, por un lado, que nuestros estudiantes aún no están acostumbrados a este tipo de autoaprendizaje en línea porque nuestro experimento es el primero de este tipo para ellos.

#### *Resultados de la evaluación sumativa*

Para estimar el nivel de conocimientos de los estudiantes en relación con las competencias requeridas para el trabajo práctico en "electromagnetismo en el vacío", se solicitó una evaluación sumativa a través del examen de trabajo práctico realizado al final de la sesión para el público objetivo de la promoción 2019. Los resultados obtenidos se compararon con los de la promoción anterior (grupo control) del mismo nivel

de la carrera. Para realizar esta comparativa, aseguramos el mismo grado de dificultad en el examen del trabajo práctico en comparación con las dos promociones.

A partir de ello se pudo observar una marcada mejora en las puntuaciones de las tres categorías consideradas. El número de estudiantes que no obtuvieron la media (5/10) del examen TP representa el 15,87% para el curso de 2019, mientras que se redujo al 7,54% para el curso de 2018, promoción que se benefició de la preparación autodidacta previa a las prácticas. El número de estudiantes que no aprobaron las pruebas de laboratorio en cuestión se redujo en un 5%. El porcentaje de estudiantes que validaron el trabajo práctico con una buena nota aumentó un 20% para la clase 2019 respecto a 2018. Siguiendo estos resultados, podemos decir que la preparación para el autoaprendizaje para el trabajo práctico proporcionó a los estudiantes de la clase 2019 fue beneficioso para ellos. En particular, los videos puestos a disposición de los estudiantes permiten la verificación de aprendizajes previos, acceder a diversas ayudas técnicas o teóricas, lo que permitió actualizar conocimientos y revisar su preparación para el examen del práctico.

#### *Resultados de entrevistas individuales y grupales*

Durante las sesiones prácticas se llevaron a cabo entrevistas individuales y grupales con los estudiantes interesados. El propósito de estas entrevistas fue evaluar nuestro sistema de autoaprendizaje para prepararnos para el trabajo práctico a través de las percepciones de los estudiantes. En términos de eficiencia, los estudiantes obviamente confirmaron que las fuentes de información disponibles en la plataforma les permitieron comprender varios conceptos nuevos, especialmente aquellos que explican el uso de dispositivos eléctricos. La mayoría de los estudiantes expresaron su satisfacción con el dispositivo y dijeron que la idea era nueva e interesante ya que les permitió prepararse bien.

En cuanto a la aceptabilidad, el 80% de los estudiantes afirmaron estar motivados para realizar esta formación y descubrir por primera vez esta nueva forma de aprendizaje independiente online. Sin embargo, un cierto número de estudiantes (20%) admitió haberse visto obstaculizado por la prueba de acceso en los requisitos previos por tener a que se tuviera en cuenta en la evaluación de los aprendizajes para las prácticas en cuestión. Cabe señalar, como explicamos a los estudiantes durante la sesión de iniciación presencial, que esta prueba de nivel se configuró para permitir que los estudiantes probaran su prerrequisito pero que de ninguna manera impidió el acceso a los distintos

recursos disponibles. Como conclusión de esta parte, notamos que la evaluación calificada sigue siendo un tema de preocupación recurrente entre los estudiantes más que la adquisición de aprendizajes.

#### *Resultados de la observación del docente*

Seguimos atentamente a los estudiantes durante las distintas sesiones de prácticas con el fin de detectar cualquier cambio de actitud entre nuestros estudiantes tras el autoaprendizaje online dedicado a la preparación preliminar de los trabajos prácticos. Siguiendo nuestras observaciones, resultó que a algunos equipos les fue bien y rara vez solicitaron la intervención de los tutores durante las sesiones prácticas. Hemos comprobado y constatado que estos estudiantes son nuevos inscriptos, es decir que nunca han realizado el trabajo práctico en cuestión. Estos elementos constituyen el 34% del número de estudiantes que conforman el grupo de trabajo práctico.

#### *Resultados a partir de los comentarios de los estudiantes*

Al final de este aprendizaje, los estudiantes evaluaron este proceso de aprendizaje expresando sus opiniones de forma anónima según tres categorías de preguntas: Organización, Impacto e Implicación.

El 65,8% de los estudiantes dice que ha trabajado en el dispositivo principalmente durante el fin de semana. Esto se debe principalmente a la carga horaria de demandada por las otras asignaturas del plan de estudios.

Solo el 32,7% de los estudiantes pudieron seguir la formación hasta el final cuando el 28,6% alcanzó el 75%. Por tanto, las dos cifras corresponden al número de estudiantes que pudieron demostrar una autonomía real durante el transcurso de las sesiones de trabajo práctico. El 12,2% de los estudiantes afirmó haber accedido a la formación desde el establecimiento, y concretamente desde la biblioteca que tiene cobertura wifi. El 49% de los estudiantes dijo que dedicaba entre media hora y una hora al día al curso online. Al hacer referencia a los resultados en los que confirmaron haber trabajado en gran parte durante el fin de semana, podemos concluir que el tiempo asignado no fue suficiente para realizar la preparación de las prácticas fuera de clase y aprobar las sesiones dedicadas a las prácticas presenciales.

Podemos concluir que los resultados del éxito del dispositivo dependen en gran medida del grado de implicación del alumno. Un factor relativo que

también se ve afectado por otras condiciones: carga del volumen horario de conectividad a Internet, motivación, por mencionar algunas.

#### **4. Conclusiones**

Nuestro trabajo busca contribuir y dar respuesta a la eficiencia del uso de las TIC en la educación superior, mediante el despliegue de clases invertidas destinadas a la preparación preliminar para trabajos prácticos de Física. Los resultados obtenidos son muy alentadores ya que, a nivel de aceptabilidad, el 80% de los estudiantes confirmaron que estaban motivados para seguir esta formación y descubrir por primera vez esta nueva forma de aprendizaje en línea independiente. Desde el punto de vista de la eficiencia, podemos decir que la preparación autodidacta para los trabajos prácticos entregada a los alumnos de la clase 2020 fue beneficiosa para ellos. Ya que les permitió reforzar aprendizajes previos y acceder a diversas ayudas técnicas o teóricas que posibilitaron una mejor preparación para el examen de trabajos prácticos.

Además, hemos podido identificar una serie de limitaciones que debemos afrontar para mejorar nuestro sistema, ya sean técnicas o humanas. Los diversos resultados obtenidos también nos han permitido comprender las prácticas y funcionalidades actuales de nuestro enfoque con el fin de arrojar luz sobre futuras implementaciones.

#### **5. Referencias**

Dillon, J. (2008). *A review of the research on practical work in school science*. London, England: King's College Press.

Karabulut - Ilgu, A., Jaramillo Cherez, N. y Jahren, C. T. (2018). *A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education*. British Journal of Educational Technology, 49 (3), 398 - 411.

Lebrun M., (2016). *Chapter book: 1 La classe inversée au confluent de différentes tendances dans un contexte mouvant*. Books: La pédagogie inversée Enseigner autrement dans le supérieur avec la classe inversée. ISBN 978-2-8073-0618-9. De Brok Superior, 13 – 38.

## Laboratorios remotos y virtuales: recursos para la educación en Física.

### Remote and virtual laboratories: resources for education in Physics.

Graciela Serrano<sup>1</sup>, Carlos Martínez<sup>1,2</sup>, Silvia Clavijo<sup>1</sup>.

1. Facultad de ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375 (5600) San Rafael, Mendoza, Argentina.
2. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael. Urquiza 314 (5600) San Rafael, Mendoza, Argentina.

E-mail: [gserrano@fcai.uncu.edu.ar](mailto:gserrano@fcai.uncu.edu.ar)

#### Resumen

Este trabajo presenta un estudio exploratorio y descriptivo sobre la selección, caracterización, uso y valoración de laboratorios remotos y laboratorios virtuales en la educación en Física en condiciones de no presencialidad. La metodología incluyó la búsqueda, caracterización, selección e implementación en el aula de laboratorios remotos y virtuales, así como el diseño y aplicación de un cuestionario a estudiantes para la valoración de la propuesta. De la gran variedad de recursos disponibles solamente unos pocos se adaptaron a los criterios de selección que, entre otros aspectos, consideraron los contenidos disciplinares y el nivel de educación universitario. Los recursos seleccionados implementados con guías didácticas especialmente confeccionadas para la educación no presencial fueron valorados positivamente por los estudiantes en diferentes aspectos, entre ellos la capacidad de operar en cualquier momento repitiendo el experimento tantas veces como sea necesario y promoviendo de este modo el involucramiento del estudiante en sus aprendizajes. Es importante resaltar la versatilidad de estos recursos para acompañar la actividad experimental en educación no presencial o en una propuesta de educación mixta como la que se está transitando en el 2021.

Palabras clave: laboratorios remotos, laboratorios virtuales, educación en física.

#### Abstract

This work presents an exploratory and descriptive study on the selection, characterization, use and evaluation of remote and virtual laboratories in Physics education in non-presence conditions. The methodology included the search, characterization, selection and implementation in the classroom of remote and virtual laboratories, as well as the design and application of a questionnaire to students for the evaluation of the proposal. Of the great variety of available resources, only a few were adapted to the selection criteria that, among other aspects, considered the disciplinary content and the level of university education. The selected resources implemented with didactic guides specially made for non-face-to-face education were positively valued by the students in different aspects, including the ability to operate at any time by repeating the experiment as many times as necessary and thus promoting student involvement in their learning. It is important to highlight the versatility of these resources to accompany the experimental activity in non-face-to-face education or in a mixed education proposal such as the one that is being transited in 2021.

Keywords: remote laboratories, virtual Laboratories, physics Learning.

#### 1. Introducción

Con la inesperada pandemia COVID 19, los docentes de todas las cátedras universitarias debieron ajustar sus formas de trabajo a una modalidad diferente a la que, en la mayoría de los casos, era la tradición: la educación presencial.

Desde la cátedra de Física II se revisaron estrategias de educación desarrolladas desde años anteriores, en especial pensando en la necesidad de ofrecer a los estudiantes universitarios situaciones de experimentación. Es indiscutible la importancia del laboratorio en la enseñanza de la Física en todos los niveles y modalidades de enseñanza, y en particular

en carreras de ingeniería, en las cuales los estudiantes tienen en el laboratorio instancias que les permiten apropiarse de habilidades fundamentales para el aprendizaje de la Física y para su futuro desempeño profesional. Entre estas habilidades podemos destacar: el manejo de equipamiento, la toma de datos, la estimación de errores, el registro, tratamiento y análisis de datos, además del trabajo colaborativo (Romero *et al.*, 2020) y de apropiarse de conocimientos del campo conceptual de la disciplina.

Durante años la experimentación en Física se realizó exclusivamente en los laboratorios reales de las instituciones educativas. Sin embargo, con el desarrollo computacional de las últimas décadas, los docentes disponen de nuevas herramientas para la experimentación: los laboratorios virtuales o simulaciones computacionales (LV) y los laboratorios remotos (LR), que han ido cubriendo aquellos espacios que, por cuestiones de costo, disponibilidad de equipos o distancia, no podían ser cubiertas por los laboratorios reales. (Rosado y Herreros, 2005).

Los laboratorios virtuales (LV) consisten en una simulación que muestra en la pantalla de la computadora, con diferentes lenguajes (gráficos, imágenes, incluso instrumentos), los resultados de la modelización de un fenómeno físico. Algunos LV han sido evaluados de manera positiva para acompañar el aprendizaje universitario de diferentes temas de electromagnetismo de los cuales no se dispone de laboratorio real (o convencional) o como complemento del mismo (Velazco y Buteler, 2017; Rosado y Herreros, 2005; Lucero *et al.*, 2000).

Los laboratorios remotos (LR) permiten la experimentación real utilizando una computadora con conexión a Internet (Arguedas y Concari, 2018). Los LR pueden considerarse como una evolución de los LV (Lorandi *et al.*, 2011) pues no significa realizar una simulación de un fenómeno (como es el caso del LV) sino que son herramientas tecnológicas que configuran prácticas reales que no requieren desplazamiento del estudiante (o el científico) al lugar donde está emplazado el equipamiento, y le permiten realizar actividades como las de un laboratorio convencional, en la mayoría de los casos sin requerir de la sincronía entre docentes, estudiantes, personal de laboratorio, etc.

Diferentes investigadores, (Lerro y Marchisio, 2016; Herrero-Villarreal *et al.* 2020; Marchisio *et al.*, 2014, Arriassecq y Santos, 2017) han estudiado aspectos vinculados a la enseñanza universitaria de

la Física empleando estos recursos virtuales, resaltando sus potencialidades en la promoción de aprendizajes. Los mismos han sido favorablemente valorados no solamente como instancia de laboratorio sino por sus capacidades de propiciar formas de razonamiento y argumentación propias de la educación en ciencias. En este trabajo se presentan los resultados de la implementación de diferentes LR y LV para el cursado no presencial de Física con contenidos de electromagnetismo.

Las preguntas que orientaron esta investigación son:

¿Qué LR y LV poseen características que los hace potencialmente útiles para la enseñanza universitaria de electromagnetismo, como facilidad de acceso, potencialidad para relacionar teoría y práctica, acompañamiento didáctico, tratamiento que favorezca la interpretación de los conceptos teóricos, rigurosidad conceptual, motivación para el aprendizaje de la Física, capacidad de ofrecer experiencias que la disponibilidad de equipo real no puede brindar, etc.?

¿Cómo valoran los estudiantes las experiencias con LR, particularmente en relación con su implicación en el proceso de aprendizaje?

Así, el objetivo de esta investigación fue seleccionar y caracterizar laboratorios remotos y laboratorios virtuales para ser empleados durante el cursado de Física II en el año 2020, y describir las valoraciones de los estudiantes respecto a su uso al finalizar ese curso.

Como primera hipótesis de trabajo se consideró que, de la multiplicidad de recursos disponibles en la web, solamente unos pocos podían cumplir con requisitos que los hicieran valiosos para acompañar la enseñanza y los aprendizajes del electromagnetismo. Por otra parte, al tomar desde la cátedra la decisión didáctica de mediar la experimentación durante la pandemia COVID 19, en clases sincrónicas virtuales con estos recursos, se suponía que los mismos además de cubrir aquellos espacios que por razones obvias no podían darse con los laboratorios reales, brindarían a los estudiantes situaciones que los llevaran a construir conocimientos del campo conceptual en estudio, abordando estrategias de trabajo no tradicionales.

## 2. Materiales y métodos

Los 90 estudiantes que cursaron Física II en carreras de Ingeniería en el segundo semestre 2020 con modalidad virtual, utilizando recursos de la plataforma Moodle y clases sincrónicas por Google Meet, realizaron 3 experiencias de laboratorio remoto y 6 de laboratorio virtual. Con una

metodología exploratoria y descriptiva, los docentes de la cátedra durante el primer semestre 2020 procedieron a la búsqueda, caracterización y selección de los recursos virtuales adecuados para ser utilizados con fines didácticos para la enseñanza de los contenidos de óptica y electromagnetismo básicos, durante el segundo semestre 2020.

Para la selección de LR y LV, con contenidos de óptica y electromagnetismo disponibles en la web, se procedió a su caracterización según indicadores considerados relevantes para poder emplear los recursos en el aula universitaria (Tabla 1).

Durante la implementación de los laboratorios se asumió una metodología de investigación participativa en la que los docentes al mismo tiempo de comportarse como investigadores, acompañaron a los estudiantes en los desarrollos de los experimentos. Para estos experimentos se elaboraron guías didácticas y videos.

Al finalizar el cursado, todos los estudiantes respondieron una encuesta autoadministrada por Google en la cual expresaron sus opiniones y valoraciones sobre el uso, aprendizajes y sus comentarios respecto a los laboratorios remotos y virtuales que realizaron en forma no presencial durante el cursado 2020.

### 3. Resultados y Discusión

Para cumplir con el objetivo de caracterizar LR y LV disponibles, se elaboró la Tabla 1: esta presenta criterios e indicadores considerados para la selección primaria de posibles recursos a utilizar en la realización de experimentos de Física.

**Tabla 1.** Criterios e indicadores para caracterizar LR y LV.

Criterios	Accesibilidad	Características didácticas	Contenidos de física
Indicadores	Disponibilidad libre (salvo matriculación)  Acceso desde diferentes dispositivos con conexión a Internet  Idioma	Presenta una anticipación/descripción del experimento a realizar.  Dispone de guías didácticas/material de apoyo para la realización de la experiencia.  Es suficientemente versátil para que el docente lo adapte según las necesidades curriculares.	AC. DC. Magnetismo. Campo eléctrico. Fenómenos de inducción electromagnética. Óptica geométrica. Óptica física.

A modo de ejemplo se presenta la caracterización, a partir de los criterios indicados en la Tabla 1, del sitio e-Laboratory Project que permite el acceso virtual a diversos laboratorios remotos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Caracterización de los laboratorios remotos e-laboratory Project

Indicadores	e-laboratory project disponible en <a href="http://www.ises.info/index.php/en">http://www.ises.info/index.php/en</a>
Características de Accesibilidad	Disponibilidad libre. Acceso desde diferentes dispositivos con conexión a Internet Puede accederse desde dispositivos móviles a la mayoría de las experiencias. Casi todos los experimentos (18) ya están disponibles en una nueva versión de JavaScript que permite realizar mediciones desde tabletas y teléfonos móviles. Idioma: inglés. Se puede traducir toda la página.
Características didácticas	a) Presenta una anticipación/descripción del experimento a realizar: Cada experimento tiene una breve descripción y enlaces a video o mediciones. b) Dispone de guías didácticas/material de apoyo para la realización de la experiencia: cada experimento cuenta con los siguientes apartados (en el lado izquierdo de la pantalla) - La motivación: esquema con preguntas en relación al experimento - Base física: contenidos teóricos - Guía de experimentos: esquema del experimento - Entrada de tareas: procedimiento. - Arreglo experimental: fotografías de secuencias del experimento. - Ejecutando el experimento. c) Es suficientemente versátil para que el docente lo adapte según las necesidades curriculares: Si d) Adaptabilidad al nivel universitario: si
Contenidos disciplinares de Física	Inducción electromagnética Oscilaciones libres y forzadas Radioactividad (5 experimentos) Capacitores, resistencia, carga El circuito serie RLC Óptica: Difracción en micro objetos, polarización de la luz. Estudio de espectros. Principio de incertidumbre de Heisenberg; efecto fotoeléctrico. Medición de la constante de Planck. Campos magnéticos El efecto de Faraday en magnetoópticos Caída libre, plano inclinado, péndulo simple, principio de Arquímedes, Ley de Faraday

La Tabla 3 ilustra la caracterización, a partir de los criterios indicados en la Tabla 1, de un sitio que ofrece diversos laboratorios virtuales.

En la instancia de búsqueda y caracterización de recursos, se encontraron 12 laboratorios remotos que cumplían el requisito de disponer de contenidos adecuados para la asignatura, y 10 laboratorios virtuales.

Sin embargo, al someterlos a la caracterización por los demás indicadores (accesibilidad y características didácticas), se encontró que algunos no eran accesibles desde diferentes dispositivos y/o

no disponibles en cualquier momento, y otros no disponían de los contenidos adecuados para el nivel del curso (sea por los contenidos disciplinares o por la versatilidad para la adaptación a la enseñanza básica universitaria).

En esta etapa de la exploración resultó fundamental acceder a cada posible laboratorio y realizar los experimentos disponibles para poder tomar decisiones sobre su posibilidad de uso didáctico.

**Tabla 3.** Caracterización de los laboratorios virtuales de PHET

<b>Indicadores</b>	Phet Universidad de Colorado disponible en <a href="https://phet.colorado.edu/">https://phet.colorado.edu/</a>
<b>Características de accesibilidad</b>	Disponibilidad libre. Acceso desde diferentes dispositivos con conexión a Internet (teléfono, Tablet, computadora). Acceso en todo momento. Idioma: español.
<b>Características didácticas</b>	a) Presenta una anticipación/descripción del experimento a realizar: No b) Dispone de guías didácticas/material de apoyo para la realización de la experiencia: Se presentan diferentes guías didácticas elaboradas de manera colaborativa por la comunidad educativa. c) Es suficientemente versátil para que el docente lo adapte según las necesidades curriculares: Si d) Adaptabilidad al nivel universitario: si
<b>Contenidos disciplinares de Física</b>	Movimiento Sonido y Ondas Trabajo, Energía y Potencia Calor Fenómenos Cuánticos <i>Luz y Radiación</i> <i>Electricidad, Imanes y Circuitos</i>

Teniendo en cuenta que para un mismo tema teórico se disponía en algunos casos de diferentes recursos, se realizó una comparación entre LR y LV. Por ejemplo, en el caso de circuitos de corriente continua se compararon los laboratorios remoto VISIR, y virtuales FALSTAD y CROCODILE CLIPS, según indicadores propios más minuciosos elaborados especialmente para refinar la selección de los recursos encontrados inicialmente. Se valoraron MB (muy bueno), B (bueno), R (Regular), NS (no se dispone), cada uno de los aspectos. La tabla siguiente sintetiza los resultados obtenidos. Luego de este proceso de exploración inicial, se seleccionaron los laboratorios remotos VISIR (compartido por UNED de Costa Rica), Difracción (e-laboratory Proyect ISES) e Inducción electromagnética (e-laboratory Proyect ISES). En tanto que los laboratorios virtuales correspondientes a los temas Campo eléctrico, Potencial eléctrico, Capacitores, Reflexión y refracción de la luz se seleccionaron de PHET (<https://phet.colorado.edu>), Circuitos de corriente continua con FALSTAD (<http://www.falstad.com/>), Lentes y microscopio

(<http://physics.bu.edu/>) y Difracción e interferencia de la luz (APPS DE FÍSICA, Walther Fendt <https://www.walter-fendt.de/html5/phes/>).

Se reelaboraron guías de trabajo de laboratorio que permitieran acompañar a los estudiantes en las actividades al tiempo de propiciar el desarrollo de competencias vinculadas al trabajo experimental. Previo a la realización de cada laboratorio se brindó una explicación virtual sincrónica por Google Meet, y además se suministraron videos propios de la cátedra con explicaciones detalladas de acceso y uso de laboratorio, para aquellos casos que pudieran presentar mayor dificultad. Todo el material se medió a través de la plataforma FACAI virtual.

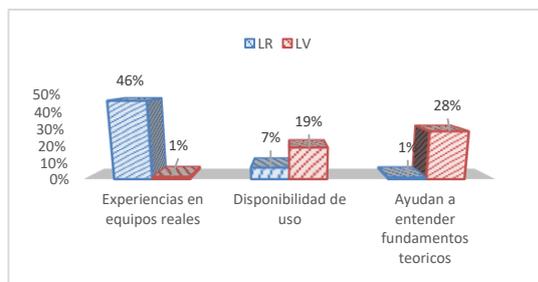
**Tabla 4.** Comparación de un laboratorio remoto y dos virtuales desde su potencialidad didáctica

Indicadores	Electrónica. VISIR Universidad de Deusto.	Laboratorio virtual Falstad	Laboratorio virtual Crocodile Clips v.3.5
	<b>Funcionalidad</b>		
La estética del experimento.	MB	MB	MB
La presencia de imágenes o simulaciones superpuestas.	NS	NS	NS
El experimento capta la atención del experimentador.	MB	B	MB
<b>Operacionalidad</b>			
El tiempo que se requiere para acceder.	MB	MB	MB
Tiempo disponible del enlace alcanza para realizar a conciencia el experimento	MB	MB	MB
<b>Coherencia de contenido</b>			
¿Se puede hacer preguntas para orientar el experimento y poder contrastar el marco teórico, formular hipótesis explicativas, comparar con simulaciones (si tenemos disponibles)?	MB	MB	MB
El desarrollo del experimento corresponde a la profundidad de los contenidos abordados en nivel superior (o son solamente introductorios)	Nivel superior	Nivel superior	Nivel superior

Los trabajos de laboratorio se realizaron en grupos de no más de 5 integrantes, y los informes se entregaron por plataforma Moodle para su evaluación por parte de los docentes. Previo a cada laboratorio los estudiantes disponían de un cuestionario de revisión conceptual de los temas involucrados, y posteriormente al laboratorio de otro, de manera de permitir la autoevaluación de sus aprendizajes.

Los informes de laboratorio se solicitaron en un formato no convencional, al modo de un resumen que respondiera las siguientes cuestiones: cuál fue el objetivo del experimento, qué realizaron para cumplirlo, qué conceptos/leyes/teorías se pusieron en juego en la realización del experimento, cómo analizaron los datos, qué conclusiones obtuvieron. En cada informe dentro de las conclusiones los estudiantes debieron emitir un juicio de valor relativo al uso de ese laboratorio. Esta nueva modalidad de presentación de informes buscó desarrollar en los estudiantes habilidades vinculadas con el desarrollo de la habilidad argumentativa y de la comunicación en eventos científicos.

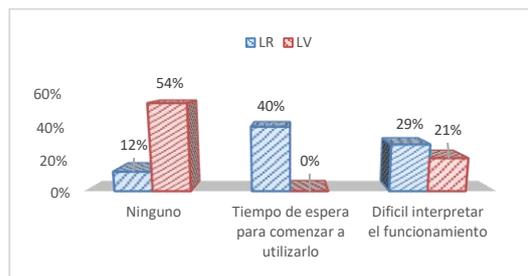
Respecto a las valoraciones de los estudiantes en las encuestas autoadministradas al finalizar el cursado, se sintetizaron las respuestas en tres categorías: aspectos de interés, dificultades y opiniones personales. En cada categoría se informan a continuación las respuestas que mayor frecuencia presentaron o que, comparativamente, presentaron mayores diferencias.



**Figura 1.** Resultados de encuesta correspondiente a la Categoría “Aspectos de interés del uso de LR y LV”

El 46 % de los estudiantes valoran como aspecto de interés la oportunidad de trabajar y de realizar ensayos con equipos reales, que les permitieron experimentar en condiciones de no presencialidad recurriendo a los LR. Los LV tuvieron una valoración positiva del 28% y superior a la de los LR, en los aspectos relativos a entender y comprender con mayor facilidad los fundamentos teóricos vistos. En tanto a la disponibilidad de uso, fue valorada positivamente en mayor medida en los LV que en los LR, en una pregunta relativa a la disponibilidad los laboratorios en todo momento, permitiéndoles repetir los experimentos tantas veces

como lo desee y lograr así un mayor aprovechamiento del recurso para el aprendizaje.



**Figura 2.** Resultados de encuesta correspondiente a la Categoría “Inconvenientes en el uso de LR y LV”

Entre estas dificultades o inconvenientes reportados por los estudiantes, se destaca el tiempo de espera para operar los equipos reales en los laboratorios remotos, si bien esta observación correspondió a uno solo de los laboratorios, frente a la ausencia de demora en la operación de una simulación como es el caso de un LV. También los estudiantes mencionaron dificultades mayores para comprender el funcionamiento de los LR que los LV, aspecto que se debe a la diferencia sustancial entre un equipo real como es el empleado en un LR y una representación de un equipamiento o la simulación de un fenómeno que se presenta en los LV. El uso de los LV es mucho más sencillo e intuitivo que el de los LR, y esta característica se destaca en la ausencia de inconvenientes para el 54% de los alumnos en la operación con LV, frente a un 12% de estudiantes que tuvieron alguna dificultad al operar o comprender la operación de un LR.

En la encuesta se prestó especial atención a las opiniones libres de los estudiantes. Respecto a los laboratorios remotos, algunos estudiantes resaltaron lo interesante de operar con equipos que están en otro lugar del mundo, poder repetir la experiencia tantas veces como fueran necesarias para entender la teoría, y en cualquier momento, observar los cambios producidos en las respuestas al modificar variables. Estos aspectos mencionados son consistentes con los declarados en otras investigaciones relativas al empleo didáctico de estos recursos (Idoyaga *et al.*, 2020; Arguedas Matarrita y Concari, 2018; García Zubía *et al.*, 2014; Herrero Villarreal *et al.*, 2020).

Las siguientes son opiniones textuales de los estudiantes, relativas al empleo de LR:

*“Lo que más destaco de los laboratorios remotos es el poder ver en tiempo real el fenómeno y lo que sucede en el laboratorio a pesar de estar lejos y a través de una pantalla. Me hizo sentir un poco que estaba en un laboratorio de verdad como si hubiera*

*estado ahí, poder familiarizarme con el laboratorio y saber que sucede en uno.”*

*“Los laboratorios remotos me gustan porque podemos ver o visualizar mejor como son en la vida real los equipos. Ver cómo funcionan en realidad y de no correr el riesgo de romper cosas a la hora de usarlos. Aunque algún día estaría encantado de hacerlo en persona”.*

En tanto a los laboratorios virtuales, los estudiantes resaltaron la posibilidad de operar sin temor a romper equipos, poder contrastar resultados del experimento con el modelo teórico y el fenómeno, lo atractivo de las presentaciones visuales, la posibilidad de repetir la experiencia de manera ilimitada, el idioma del recurso, respuestas que también han sido presentada en anteriores investigaciones al caracterizar este tipo de laboratorio (Vergara Rodríguez, 2019; Lorandi Medina *et al.*, 2011; Velasco y Buteler, 2017).

A modo de ejemplo, las siguientes son opiniones de estudiantes al valorar los LV:

*“...fueron más simples de entender y de utilizar, ya que sus elementos no eran tan complicados para utilizar, la mayoría de estos estaban en español por lo que facilitó su uso, no tenía miedo de romper los elementos ya que no pasaría nada. Los gráficos y esquemas de cada uno eran un poco más simples de entender por lo que me ayudó a comprender la teoría y el fenómeno estudiado.”*

*“...te abre mucho la cabeza y podés imaginarte mejor y entender mejor los conceptos...”*

A modo de síntesis de los comentarios de los estudiantes, dos opiniones que consideramos resaltan los aspectos didácticos más fuertes de estos recursos, son las siguientes:

*“Me pareció muy interesante el concepto de laboratorio remoto. Antes de cursar la materia no conocía que se podía acceder a los resultados de un experimento realizado con equipos físicos a través de internet.”*

*“Me encantó la simplicidad que tienen y la forma de mostrarte las cosas. Sin dudas, en mi opinión, aunque no se si en años anteriores los usaron, deberían presentarlos todos los años y usarlos durante las clases, porque entendés muchísimo mejor el tema. Los laboratorios virtuales me encantaron, me fueron muy útiles.”*

La implementación orientada con fines didácticos de los laboratorios remotos y virtuales en condiciones

de no presencialidad en la cátedra de Física II muestra resultados altamente positivos desde el punto de vista de la valoración de los estudiantes, los que son coincidentes con los informados por la bibliografía.

#### 4. Conclusiones

De los numerosos recursos disponibles en la web se pudo caracterizar y seleccionar diversos laboratorios remotos y laboratorios virtuales disponibles con acceso libre, atendiendo a que fueran potencialmente útiles para relacionar teoría y práctica, que presentaran opciones de trabajo que favorecieran la interpretación de los conceptos teóricos sin desmedro de la rigurosidad conceptual y al mismo tiempo resultaran en una fuente de motivación para el aprendizaje de la Física. Estos recursos, con contenidos variados de electromagnetismo y óptica, se implementaron en el cursado virtual 2020.

Tanto los laboratorios remotos como los laboratorios virtuales resultan herramientas esenciales para acompañar los aprendizajes de los estudiantes de Física. Permiten formas de experimentación a la que pueden acceder disponiendo de un dispositivo como PC, Tablet, notebook o celular y una adecuada conexión a Internet. Este tipo de trabajo resulta esencial en momentos de aislamiento y no asistencia a la universidad, como es la situación vivida consecuencia de la pandemia de COVID 19, pero también durante un cursado presencial o mixto.

La educación en condiciones de virtualidad requirió un alto nivel de adaptación a la nueva modalidad de enseñanza y de aprendizaje. Los docentes debieron realizar un trabajo de resignificación de todas las clases y en particular las de laboratorio, con la elaboración de nuevas guías de trabajos experimentales y videos para poder acompañar a los estudiantes en el recorrido por los laboratorios remotos y virtuales utilizados. Por parte de estudiantes, disponer de dispositivos y conexiones a Internet, y al no contar con la presencia del docente (no obstante la disponibilidad de clases de consulta y de videos entregados) les exigió un mayor esfuerzo de comprensión de principios de funcionamiento del equipamiento e interpretación de datos. Este ejercicio extra consideramos que favoreció el trabajo en grupo para la búsqueda de soluciones, aspecto esencial en la formación del futuro ingeniero.

Las valoraciones de estos recursos por parte de los estudiantes, permite afirmar que son fuertemente motivadores para acompañar aprendizajes, convirtiéndose en situaciones que generan una disposición favorable esencial para promover aprendizajes significativos.

Docentes y estudiantes valoraron positivamente estos recursos virtuales. En especial, los estudiantes resaltaron la posibilidad de poder operar con los equipos tantas veces como fuera necesario, permitiendo el acercamiento a la forma de operación con dispositivos reales y a la interpretación en contexto de un fenómeno de la teoría de la asignatura, en el LR, o simulados como en el LV.

Es innegable que la pandemia COVID 19 ha generado una ruptura en la forma de enseñar y de aprender. Las metodologías de trabajo en el aula no volverán a ser las mismas, debiendo prepararse los equipos de cátedra en un camino hacia la bimodalidad o modalidad mixta, en la que el acento estará puesto más en el aprendizaje que en la enseñanza.

La implementación de recursos como los laboratorios remotos y virtuales exige un alto grado de mediación, en particular, en condiciones de no presencialidad. La figura del docente como tutor orientador de la actividad del estudiante es crucial para acompañar en la formación en cualquier modalidad de enseñanza.

El conocimiento logrado por el equipo de investigación, docentes de una cátedra universitaria, relativo al empleo de recursos como los laboratorios remotos y virtuales, y la valoración de los estudiantes sobre su uso, resulta valioso para su implementación en futuros cursos.

## 5. Referencias

Arguedas-Matarrita, C. y Concari, S. B. (2018). *Características deseables en un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 35 (3), 702-720.

Arriasecq, I. y Santos, G. (2017). *Nuevas tecnologías de la información como facilitadoras de aprendizaje significativo*. Archivos de Ciencias de la Educación, 11 (12), e030. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.24215/23468866e030>

Conejo-Villalobos, M., Arguedas-Matarrita, C. y Concari, S. (2019). *Difundiendo el uso de laboratorios remotos para la enseñanza de la Física: Talleres con docentes y estudiantes*. Revista de Enseñanza de la Física, 31. N° Extra, Nov.2019,205-213

García-Zubía, J., Romero, S., Guenaga, M., Hernández-Jayo, U., Angulo, I., Cuadors, J., González-Sabaté, L., Orduña, P., Dziabenko, O., Rodríguez-Gil, L. (2014). *XI Congreso TAEE* Universidad de Deusto.

Gómez, A., García Pérez, M. y Díaz Orueta, G. (2016). *La Evaluación como instrumento de formación para el aprendizaje a través de los laboratorios remotos*. Revista de docencia Universitaria 14 (1), 377-403.

Herrero-Villarreal, D.; Arguedas Matarrita, C.; Gutiérrez Soto, E. (2020). *Laboratorios remotos: recursos educativos para la experimentación a distancia en tiempos de pandemia desde la percepción de estudiantes*. Revista de Enseñanza de la Física, Vol. 32, n° extra.

Idoyaga, I. Vergas-Badilla, L., Moya, C.N., Montero-Miranda, E. y Garro-Mora, A.L (2020) *El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental*. Campo Universitario. 1(2) Septiembre- Diciembre 2020, pp. 4-26

Lerro, F. y Marchisio, S. (2016). *Preferences and Uses of a Remote Lab from the Students' Viewpoint*. iJOE, 12, 53-58. Recuperado de: <https://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/5468>

Lorandi Medina, P., Hermida Sab, G., Hernández Silva, J. y Ladrón de Guevara Durán, E. (2011). *Los Laboratorios Virtuales y los Laboratorios remotos en la Enseñanza de la Ingeniería*. Revista Internacional de Educación en Ingeniería, 4, 24-30

Lucero, I.; Meza, S.; Sampallo, G.; Aguirre, M. y Concari, S. (2000). *Laboratorio real y laboratorio virtual*. Memorias comunicaciones científicas y tecnológicas. UNNE. Argentina.

Marchisio, S., Concari, S., Lerro, F. y Kofman, H. (2014). *Acerca de logros y dificultades: valorando desarrollos tecnológicos y experiencias educativas con laboratorios remotos en Argentina*. Diálogo entre culturas: estrategias didácticas y tecnologías educativas. Pizarra digital. Madrid: UNED.

Periago, M. C. y Bohigas, X. (2005). *Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería*. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 7 (2). Recuperado de: <http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-periago.html>

Romero, R., Stoessel, A. y Rocha, A. (2020). *Un estudio de diseño sobre la implementación de laboratorios remotos en la enseñanza de la física universitaria: la observación del trabajo de los estudiantes*. Revista de Enseñanza de la Física, 32 (1), 77-91.

Rosado, L. y Herreros, J. (2005). *Nuevas aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física*. International

Conference on Multimedia and CT in Education.

Recuperado de:

<https://observatoriotecedu.uned.ac.cr/media/286.pdf>

Serrano, G., Catalán, L., Julián, F., Mauceri, D. (2018). *Laboratorio Real y laboratorio virtual: valoración de los estudiantes*. Presentado en: Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas CLICAP, 11-14 de abril, San Rafael, Argentina.

Velasco, J. y Buteler, L. (2017). *Simulaciones computacionales en la enseñanza de la Física: una revisión crítica de los últimos años*. Enseñanza de las ciencias, 35 (2), 161-178.

Vergara Rodriguez, D. (2019). *Imposición de los laboratorios virtuales en la educación del siglo XXI*. Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación, V (13), n 2. Julio-Diciembre 2019. Eduweb, 2019 Online ISSN:2665-0223

Viegas, C.; Pavani, A.; Lima, N.; Marques, A.; Pozzo, I.; Dobboletta, E.; Atencia, V.; Barreto, D.; Callari, F.; Fidalgo, A.; Lima, D.; Temporao, D.; Alves, G. (2018). *Impact of a remote lab on teaching practices and student learning*. Computer & Education, 126, 201-216.