

*Gamboa, Guillermo*

***Relaciones entre teoría, práctica y profesión en la asignatura Química Analítica Instrumental de la Licenciatura en Química (UNL). Producción de guías de ejercicios numérico-prácticos.***

*Especialización en Docencia Universitaria*

*Fecha: 29/10/2024*

Licencia:  <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Cita recomendada: Gamboa, G. (2024). *Relaciones entre teoría, práctica y profesión en la asignatura Química Analítica Instrumental de la Licenciatura en Química (UNL). Producción de guías de ejercicios numérico-prácticos* [Trabajo final de especialización]. Universidad Nacional de Rafaela.



# Especialización en Docencia Universitaria

## Material didáctico del Trabajo Final

*Relaciones entre teoría, práctica y profesión en la asignatura  
Química Analítica Instrumental de la Licenciatura en Química (UNL).  
Producción de guías de ejercicios numérico-prácticos.*

Especializando: Lic. Guillermo Gamboa

Directora: Dra. María Virginia Luna

Año: 2024



**UNL • FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
QUÍMICA**

# **Química Analítica Instrumental**

Guías de problemas

*Métodos de espectroscopías ópticas*

2024

## Introducción

Las siguientes cuatro guías de problemas sobre los métodos de espectroscopías ópticas constituyen un nuevo material didáctico de la cátedra de Química Analítica Instrumental de la FIQ-UNL. Este material ha sido elaborado con el fin de favorecer tanto la interrelación entre las clases de teoría y las clases de problemas como también el vínculo entre la parte práctica de la asignatura y el futuro campo profesional de laboratorio.

Dentro de cada una de las guías se encontrarán problemas teóricos y prácticos que tienen por objetivo fomentar el aprendizaje de contenidos y el desarrollo de habilidades relevantes para el campo laboral en laboratorios de análisis químicos. Todas las actividades se presentan de forma ordenada según los tópicos y competencias a trabajar en cada una, por lo que se recomienda respetar este orden al momento de la resolución de cada guía. Para ciertos ejercicios numéricos se dan las respuestas aproximadas al final de cada ejercicio.

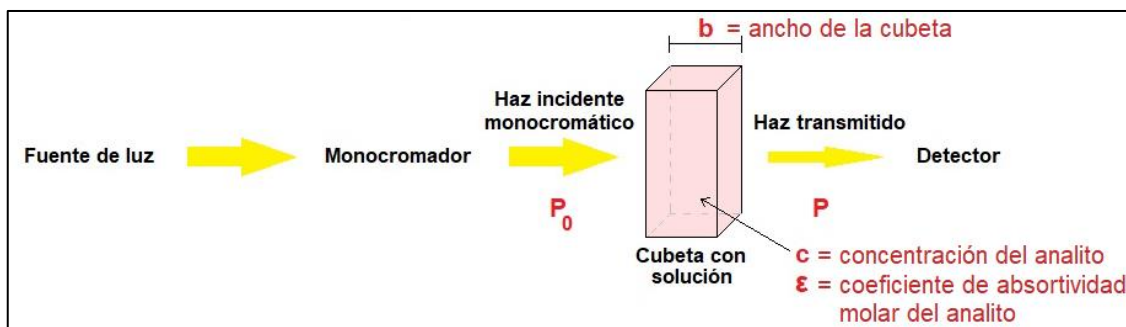
Por último, es importante también resaltar que las nociones y habilidades a trabajar en cada ejercicio son similares a las necesarias para el examen final de acreditación de la asignatura.

## Introducción a la espectroscopía molecular UV-visible e IR cercano Guía de problemas

### Actividad 1

En un análisis por espectroscopía de absorción molecular, una solución del analito contenida en una cubeta es irradiada con un haz de luz monocromático (es decir, de una longitud de onda determinada) y con una potencia lumínica  $P_0$ .

Las moléculas del analito contenidas en la solución absorben fotones del haz incidente y pasan consecuentemente a estados excitados. A causa de esto, el haz transmitido que emerge de la cubeta tiene una potencia lumínica  $P$  menor que la del haz incidente ( $P_0 > P$ ).



A partir de las potencias lumínicas de ambos haces, el espectrofotómetro puede suministrar una respuesta denominada transmitancia  $T$ :

$$T = P / P_0$$

A su vez, el equipo puede suministrar otra magnitud muy utilizada en espectroscopía de absorción molecular: la absorbancia  $A$ . Esta se define de la siguiente forma:

$$A = -\log T$$

La importancia de la absorbancia  $A$  radica en que es una respuesta instrumental que puede seguir una relación lineal con la concentración del analito bajo determinadas condiciones, tal como indica la ecuación de la ley de Lambert-Beer:

$$A = c \cdot b \cdot \epsilon$$

donde (ver figura superior):

- $c$  es la concentración del analito, en mol/L;
- $b$  es el ancho de la cubeta (es decir, la longitud del camino óptico), en cm;
- $\epsilon$  es la absorptividad molar del analito, en L/(mol.cm).

Bajo condiciones en las que  $b$  y  $\epsilon$  son constantes,  $A = f(c)$ .

A. Utilizando la ecuación de la ley de Lambert-Beer, complete la siguiente tabla. Cada fila corresponde a un caso distinto.

	Absorbancia $A$	Transmitancia $T$	Ancho de la cubeta $b$ (cm)	Concentración del analito $c$ (mol/L)	Absortividad molar del analito $\epsilon$ (L/mol.cm)
a	0,081		1,00		$1,72 \cdot 10^3$
b		0,785	2,00	$8,08 \cdot 10^{-6}$	
c	0,447		2,00		$5,41 \cdot 10^3$
d	0,910			$5,95 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^4$
e		0,664	1,00		$7,85 \cdot 10^2$

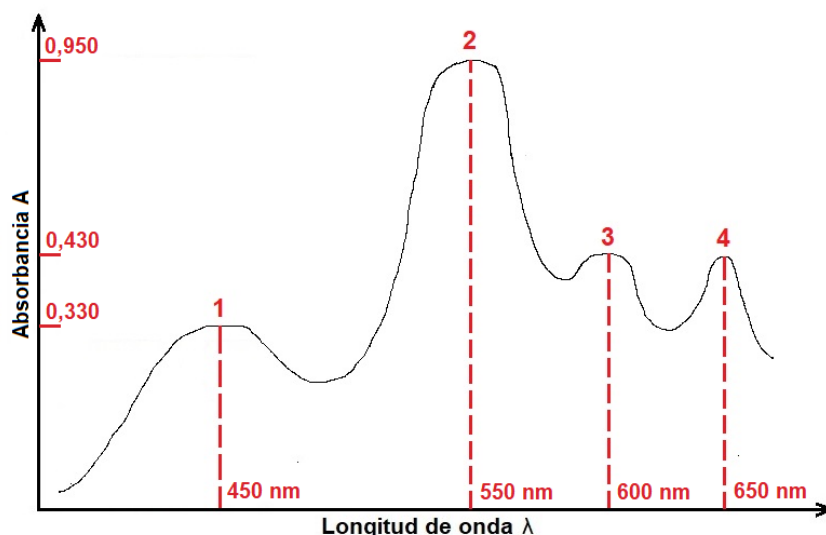
Respuestas aproximadas:

- Inciso a:  $T = 0,830$  ;  $c = 4,71 \cdot 10^{-5}$  mol/L
- Inciso b:  $A = 0,105$  ;  $\epsilon = 6,50 \cdot 10^3$  L/mol.cm
- Inciso c:  $T = 0,357$  ;  $c = 4,13 \cdot 10^{-5}$  mol/L
- Inciso d:  $T = 0,123$  ;  $b = 1,50$  cm
- Inciso e:  $A = 0,178$  ;  $c = 2,27 \cdot 10^{-4}$  mol/L

## Actividad 2

En la actividad anterior se vio que la absorbancia  $A$  no depende sólo del parámetro  $c$ , sino que también depende del parámetro  $\epsilon$ . Para un analito determinado en una solución de composición específica,  $\epsilon$  cambia con la longitud de onda  $\lambda$  del haz incidente.

Para estudiar más en profundidad la variación del coeficiente  $\epsilon$  con la longitud de onda  $\lambda$  considere el siguiente espectro de absorción molecular. Este fue obtenido trabajando con una solución de un analito X en una concentración  $c = 4,00 \cdot 10^{-5}$  mol/L. Suponga además que  $b = 1,00$  cm.



**A.** Empleando la información del espectro, calcule el coeficiente  $\epsilon$  para cada una de las 4 longitudes de onda indicadas.

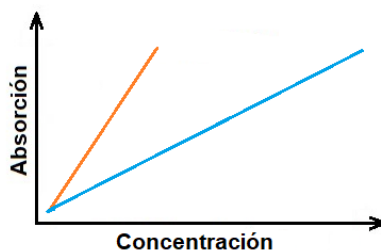
**B.** A partir de los valores de  $\epsilon$  obtenidos y observando las alturas de las bandas de absorción, ¿qué relación encuentra entre el valor de  $\epsilon$  y la intensidad de absorción a una determinada longitud de onda?

A la hora de seleccionar una longitud de onda para una determinación analítica se elige normalmente aquella asociada al mayor valor de  $\epsilon$  posible, pues esto proporciona un alto valor de sensibilidad analítica: un pequeño cambio de concentración da lugar a una variación marcada de la absorbancia.

A pesar de esta ventaja, en determinados casos es conveniente trabajar con una longitud de onda cuyo valor de  $\epsilon$  no sea el más alto de todos los posibles. A continuación, analizaremos algunas situaciones interesantes vinculadas a este hecho.

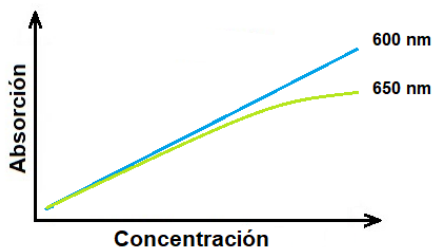
**C.**

**i.** Si para el analito X, mencionado anteriormente, se realizan 2 curvas de calibrado diferentes, una trabajando con la longitud de onda de la banda de absorción 2 (550 nm) y otra trabajando con la de la banda 3 (600 nm), se obtienen las curvas mostradas a continuación.



¿Cuál curva corresponde a cada longitud de onda? ¿Por qué? ¿Qué ventaja proporciona trabajar con la curva de menor pendiente (es decir, de menor sensibilidad analítica)? **Pista:** para responder esta última pregunta tenga en cuenta al eje de concentración.

ii. Si para el mismo analito X se realizan otras 2 curvas de calibrado diferentes, pero esta vez seleccionado la banda 3 (600 nm) y la banda 4 (650 nm), se obtienen las curvas aquí debajo.



Si para ambas longitudes de onda el coeficiente  $\epsilon$  es el mismo, ¿por qué una de las curvas presenta una desviación negativa? **Pista:** para justificar considere la forma de las bandas de absorción 3 y 4 (ver espectro al inicio de esta actividad).

iii. Suponga que ahora se desea cuantificar el analito X en una solución donde están presentes otras especies químicas que pueden absorber luz de forma intensa por encima de 500 nm. ¿Se podría utilizar alguna de las longitudes de onda de las bandas 2, 3 o 4 en donde el analito tiene altos valores de  $\epsilon$ ? Justifique su respuesta.

Respuestas aproximadas:

A.

$$\epsilon_1 (\lambda = 450 \text{ nm}) = 8250 \text{ L}/(\text{mol}\cdot\text{cm}) \quad \epsilon_2 (\lambda = 550 \text{ nm}) = 23750 \text{ L}/(\text{mol}\cdot\text{cm})$$

$$\epsilon_3 (\lambda = 600 \text{ nm}) \text{ y } \epsilon_4 (\lambda = 650 \text{ nm}) = 10750 \text{ L}/(\text{mol}\cdot\text{cm})$$

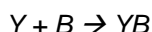
### Actividad 3

Ciertos analitos **no presentan bandas de absorción convenientes** para determinaciones analíticas por espectroscopía UV-visible, por ejemplo, porque sus bandas están asociadas a bajos valores de  $\epsilon$  o no se ubican en la región del espectro adecuada para la técnica analítica. Un proceso denominado derivatización puede ser utilizado, en determinados casos, para afrontar este problema.

La derivatización de un analito implica la transformación del mismo en otro compuesto similar, presentando este último mejores propiedades físicas y/o químicas, en comparación con el analito de partida, para una determinación analítica.

En espectroscopía UV-visible una derivatización podría permitir, por ejemplo, mejorar un coeficiente  $\epsilon$  a una determinada longitud de onda o correr una banda de absorción a una longitud de onda más conveniente.

Suponga que el analito Y tiene un coeficiente de absorptividad molar  $\epsilon = 1300 \text{ L/mol.cm}$  a 500 nm, mientras que el complejo YB presenta un coeficiente  $\epsilon = 7384 \text{ L/mol.cm}$  a la misma longitud de onda. Este complejo se forma a partir de la siguiente reacción de derivatización:



**A.** Calcule la concentración molar de Y en una solución que dio una absorbancia  $A = 0,172$  a 500 nm en una celda de 1,50 cm.

A la solución anterior de Y se le agregó un exceso de B para derivatizar todo el analito y transformarlo cuantitativamente en YB.

**B.** Calcule la absorbancia a 500 nm medida después de la derivatización. Considere que  $b$  es el mismo del inciso anterior.

**C.** Comparando los valores de absorbancia de los incisos anteriores para una misma concentración de Y e YB, ¿cómo contribuye la derivatización a la sensibilidad y a los límites de detección y cuantificación del método analítico? Explique su respuesta.

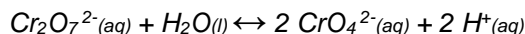
Respuestas aproximadas:

**A.**  $c = 8,82 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$

**B.**  $A = 0,977$

### Actividad 4

El Cr(VI) puede presentarse en solución acuosa bajo dos formas químicas diferentes: el ion dicromato  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , que presenta un color anaranjado; y el ion cromato  $\text{CrO}_4^{2-}$ , que en genera un color amarillo. Si bien ambas especies son distintas, en solución acuosa ellas se encuentran en equilibrio como indica la siguiente ecuación química:



$$K = \frac{[\text{CrO}_4^{2-}]^2 [\text{H}^+]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]} = 2,38 \cdot 10^{-15}$$

**A.** Calcule la concentración molar de cada anión de Cr(VI) en 2 soluciones de pH diferentes. Cada solución se preparó disolviendo  $1 \cdot 10^{-4}$  moles de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en un poco de agua destilada y llevando a 250 mL con distintos *buffers*: uno de pH = 5,8 y otro de pH = 6,5.

**Pista:** para este inciso deberá plantear el balance de masa correspondiente.

Solución	$[\text{CrO}_4^{2-}]$	$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$
pH = 5,8		
pH = 6,5		

**B.** Observando la reacción de equilibrio, ¿cómo justifica que la concentración de  $\text{CrO}_4^{2-}$  sea mayor a pH más básico?

A una longitud de onda de 400 nm, ambas especies de Cr(VI) pueden absorber radiación:  $\epsilon_{\text{cromato}} = 1,88 \cdot 10^3 \text{ L/mol.cm}$  y  $\epsilon_{\text{dicromato}} = 1,89 \cdot 10^2 \text{ L/mol.cm}$ .

**C.** Calcule las absorbancias a 400 nm de las soluciones del inciso A considerando que:

- $b = 1,00 \text{ cm}$ ;
- para una mezcla de especies absorbentes que no interactúan fuertemente entre sí, la absorbancia total de la mezcla a una dada longitud de onda viene dada por la sumatoria de las absorbancias individuales a la misma longitud de onda. En el caso de esta actividad se verifica:

$$A_{\text{TOTAL}}(400 \text{ nm}) = A_{\text{cromato}}(400 \text{ nm}) + A_{\text{dicromato}}(400 \text{ nm})$$

$$A_{\text{TOTAL}}(400 \text{ nm}) = b \cdot C_{\text{cromato}} \cdot \epsilon_{\text{cromato}}(400 \text{ nm}) + b \cdot C_{\text{dicromato}} \cdot \epsilon_{\text{dicromato}}(400 \text{ nm})$$

$$A_{\text{TOTAL}}(400 \text{ nm}) = b \cdot [ C_{\text{cromato}} \cdot \epsilon_{\text{cromato}}(400 \text{ nm}) + C_{\text{dicromato}} \cdot \epsilon_{\text{dicromato}}(400 \text{ nm}) ]$$

Respuestas aproximadas:

**A.**

pH = 5,8  $\rightarrow [\text{CrO}_4^{2-}] = 4,23 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$  ;  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

pH = 6,5  $\rightarrow [\text{CrO}_4^{2-}] = 7,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$  ;  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 2,38 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$

**C.** pH = 5,8  $\rightarrow A_{\text{TOTAL}} = 0,831$

pH = 6,5  $\rightarrow A_{\text{TOTAL}} = 1,418$

## Actividad 5

Se denomina radiación esporádica o radiación no absorbida  $P_s$  a la radiación que llega al detector de un espectrofotómetro pero que no corresponde a la longitud de onda seleccionada para el análisis.

En condiciones instrumentales donde hay un alto nivel de esta radiación, se genera un error en la determinación. Esto se debe a que arriba un exceso de radiación al detector: por un lado, la radiación  $P$  emergente de la muestra y que es vital para el análisis; y, por otro lado, la radiación adicional  $P_s$ .

Cuando esta radiación  $P_s$  está presente, la absorbancia  $A'$  registrada por el equipo está dada por la ecuación siguiente:

$$A' = -\log\left(\frac{P + P_s}{P_0 + P_s}\right)$$

A partir de esta ecuación, se puede llegar a demostrar que:

$$A' = f(x, A) = -\log\left(\frac{10^{-A} + 0,01x}{1 + 0,01x}\right)$$

donde:

- $x = (P_s/P_0) \cdot 100$ , es el porcentaje de radiación no absorbida  $P_s$ ;
- $A$  es la absorbancia en condiciones instrumentales óptimas, es decir, **en ausencia** de radiación no absorbida  $P_s$ , que se puede calcular a partir de la ecuación de la ley de Lambert-Beer.

Es interesante notar en la fórmula anterior que si  $x = 0$  (ausencia de radiación  $P_s$ ),  $A' = A$ .

**A.** Empleando la ecuación de  $A' = f(x, A)$  complete la siguiente tabla. Suponga que  $b = 1,00$  cm y que el analito presenta un  $\epsilon = 3000$  L/(mol.cm).

$c$ (mol/L)	$A'_{x=0} = A$ 0 % de radiación no absorbida	$A'_{x=2}$ 2,0 % de radiación no absorbida	$A'_{x=5}$ 5,0 % de radiación no absorbida
$1,00 \cdot 10^{-4}$			
$2,00 \cdot 10^{-4}$			
$3,00 \cdot 10^{-4}$			
$4,00 \cdot 10^{-4}$			

**B.** En un mismo gráfico de absorbancia vs. concentración muestre cómo  $A'_{x=0}$ ,  $A'_{x=2}$ ,  $A'_{x=5}$  varían.

**C.** A partir de la gráfica anterior, ¿cómo impacta un incremento de la radiación no absorbida sobre la absorbancia? ¿Este efecto es el mismo para todas las concentraciones?

Respuestas aproximadas:

**A.**

$c$ (mol/L)	$A'_{x=0} = A$	$A'_{x=2}$	$A'_{x=5}$
$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,300	0,292	0,280
$2,00 \cdot 10^{-4}$	0,600	0,575	0,542
$3,00 \cdot 10^{-4}$	0,900	0,845	0,776
$4,00 \cdot 10^{-4}$	1,200	1,089	0,968

## Anexo – Fórmulas importantes para el estudio

1)  $A = -\log T$  (relación entre A y T)

donde: A = absorbancia

T = transmitancia

2)  $A = c \cdot b \cdot \epsilon$  (ecuación de la ley de Lambert-Beer)

donde: A = absorbancia

c = concentración del analito, en mol/L

b = ancho de la cubeta (es decir, la longitud del camino óptico), en cm

$\epsilon$  = absorptividad molar del analito, en L/(mol.cm)

3) Para una solución que contiene diversas especies absorbentes de radiación electromagnética, la absorbancia total a una determinada longitud de onda viene dada por la sumatoria de las absorbancias individuales de cada especie a esa longitud de onda, siempre y cuando las especies absorbentes no interactúen fuertemente entre sí:

$$A_{\text{TOTAL}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n = b \cdot c_1 \cdot \epsilon_1 + b \cdot c_2 \cdot \epsilon_2 + \dots + b \cdot c_n \cdot \epsilon_n$$

donde:  $A_i$  = absorbancia individual de cada analito  $i$

b = ancho de la cubeta, en cm

$c_i$  = concentración del analito  $i$ , en mol/L

$\epsilon_i$  = absorptividad molar del analito  $i$ , en L/(mol.cm)

## Notas aclaratorias para los docentes.

### Justificación de la secuencia de actividades.

La actividad 1 tiene por objetivo que los estudiantes se familiaricen con conceptos y procedimientos básicos de la espectroscopía UV-vis, como el uso de la ecuación de la ley de Lambert-Beer.

Por su parte, la actividad 2 propone analizar en profundidad el término del coeficiente de absorptividad molar de la ecuación de la ley de Lambert-Beer vista en la actividad precedente.

La actividad 3 se vincula con la actividad 2 pues procura que los cursantes comprendan cómo una derivatización podría ser usada con el propósito de obtener un valor de coeficiente de absorptividad molar más elevado para un análisis determinado.

En la actividad 4 se amplía la aplicación de la ecuación de la ley de Lambert-Beer, introducida en la actividad 1, para mezclas de especies absorbentes.

La actividad 5 no presenta una fuerte vinculación con las actividades anteriores, pero propone el examen de un fenómeno instrumental de importancia para análisis de cuantificación denominado radiación esporádica.

### Intencionalidades y otros comentarios sobre cada actividad.

#### Actividad 1

- Propone trabajar con nociones y procedimientos similares a los requeridos en los ejercicios 1, 2, 3 y 6 de la guía de problemas original, es decir, la que se analizó para armar este nuevo material:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Guía de problemas: Introducción a la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano.*

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante repase conceptos asociados a los fundamentos de la espectroscopía de absorción molecular;
  - y que adquiera destreza en el manejo de la ecuación de la ley de Lambert-Beer.
- La tabla de esta actividad se armó tomando como ejemplo la tabla ubicada en la parte inferior de la p. 680 de la siguiente bibliografía:

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Capítulo 24: Introducción a los métodos espectroquímicos. En *Fundamentos de Química Analítica* (9.ª ed., pp. 650-682). Cengage Learning.

#### Actividad 2

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante pueda evidenciar cómo el coeficiente de absorptividad molar, que depende de la longitud de onda, influye en la intensidad de una banda de absorción;
  - que el cursante comprenda, a través del estudio de situaciones puntuales, que a veces la mejor longitud de onda para un análisis no es la asociada al mayor valor de  $\epsilon$ .
- La gráfica del inciso C-i está basada en una de las gráficas de la guía de TP:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Espectroscopía molecular: Determinación de nitrito por UV-vis.*

### Respuesta al inciso B

A medida que aumenta el valor del coeficiente de absortividad molar, la intensidad de absorción es más elevada. Este incremento de intensidad se refleja en una mayor altura de la banda de absorción en el espectro.

### Respuesta al inciso C-i

El hecho de trabajar con una sensibilidad analítica no tan elevada permite ampliar el rango de concentraciones donde la respuesta del método es lineal. Esto puede evitar, por ejemplo, el uso de diluciones para que la concentración del analito se ubique en el rango lineal, facilitando el trabajo de laboratorio.

### Actividad 3

- Intencionalidad de la actividad:
  - que el estudiante se familiarice con el concepto de derivatización y vea, a través de un ejemplo práctico, qué ventajas potenciales ofrece en la espectroscopía UV-vis.

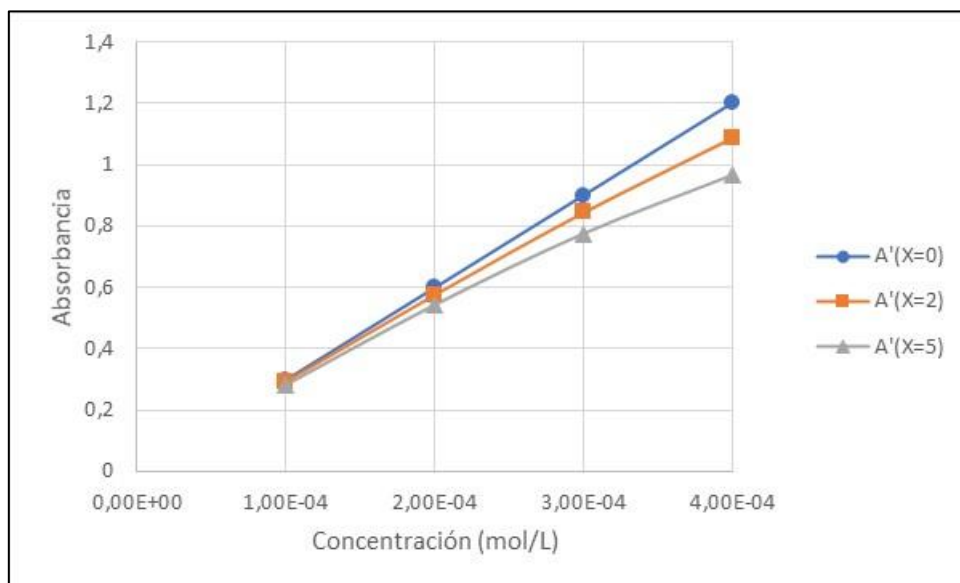
### Actividad 4

- Esta actividad es similar al problema 4 de la guía de problemas original y toma de él algunos valores numéricos, entre otros elementos. No obstante, existen ciertas diferencias en el ejercicio original y el propuesto en esta nueva guía.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el cursante recuerde cómo hacer un cálculo de concentraciones utilizando una constante de equilibrio y un balance de masas;
  - y que aprenda a calcular la absorbancia total de una solución que contiene más de una especie absorbente.

### Actividad 5

- Es una reformulación más detallada del ejercicio 5 de la guía original.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante se familiarice con el concepto de radiación esporádica o no absorbida;
  - y que pueda evidenciar las consecuencias negativas sobre la absorbancia que tiene un incremento del porcentaje de esta radiación.

### Respuesta al inciso B



## Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-visible e IR cercano Guía de problemas

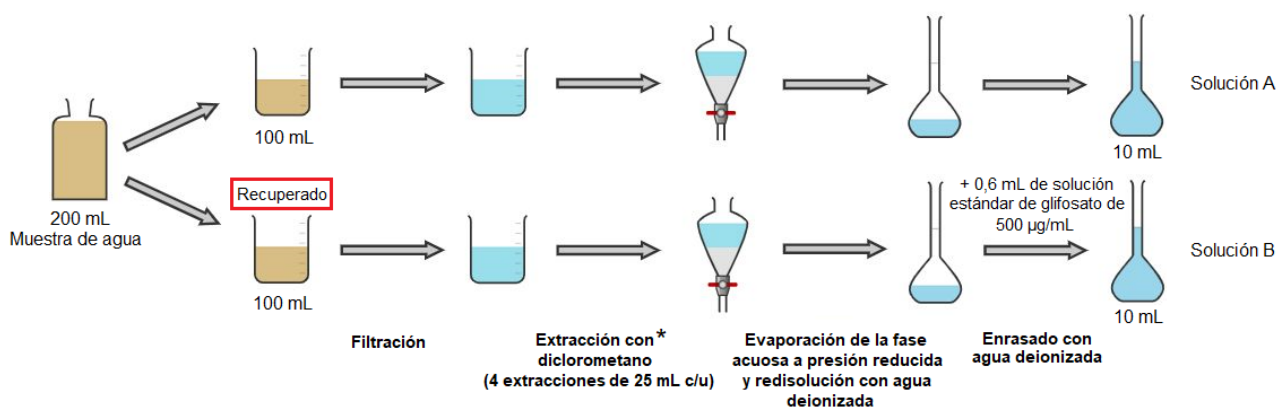
### Actividad 1

El glifosato es una molécula utilizada como principio activo en ciertos herbicidas. Debido a sus nocivos efectos en especies animales y en el ser humano, es muy importante el desarrollo de métodos analíticos que permitan su identificación y cuantificación en diferentes matrices.

Para muestras de agua, uno de los métodos analíticos desarrollados implica la derivatización del glifosato con ninhidrina en medio neutro usando molibdato de sodio ( $\text{NaMoO}_4$ ) como catalizador. De esta manera, se forma un compuesto de color lila con un máximo de absorción a 570 nm que puede ser cuantificado por espectrofotometría UV-visible.

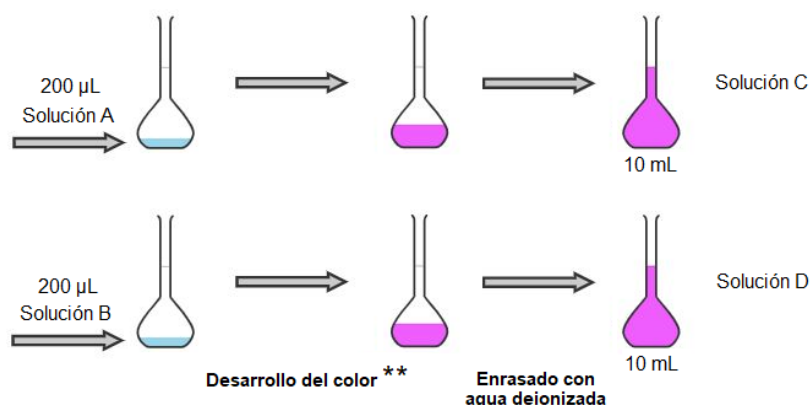
En un laboratorio de análisis de plaguicidas se recibió una muestra de agua de escorrentía proveniente de un campo donde se utiliza glifosato. A continuación, se describen las etapas seguidas para la cuantificación de este contaminante.

#### Tratamiento de la muestra y preparación del recuperado – 1º Parte



*\*Nota: las extracciones con diclorometano sirvieron para eliminar compuestos de la fase acuosa que podrían interferir en la determinación analítica. El glifosato, por su carácter iónico en solución, permaneció en la fase acuosa. Las fases orgánicas fueron descartadas.*

#### Tratamiento de la muestra y preparación del recuperado – 2º Parte



*\*\* Nota: si bien no es relevante para la resolución de la actividad, en la etapa de desarrollo de color se agregaron 1 mL de solución de ninhidrina 5% m/v y 1 mL de solución de  $\text{NaMoO}_4$  5% m/v. Luego, la mezcla se calentó en baño de agua a 100 °C por 5 minutos hasta formación del color violeta.*

Curva de calibrado

Se analizaron 2 estándares acuosos de glifosato junto con el respectivo blanco de reactivos a 570 nm. Para cada solución se tomaron 3 lecturas. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Concentración de glifosato ( $\mu\text{g/mL}$ )	Absorbancia		
	1 <sup>o</sup> lectura	2 <sup>o</sup> lectura	3 <sup>o</sup> lectura
Blanco de reactivos	0,012	0,006	0,009
1,0	0,194	0,199	0,192
3,0	0,587	0,590	0,587

A. ¿Qué pasos habría seguido en el laboratorio para preparar este blanco de reactivos?

Análisis de la muestra y del recuperado

Utilizando las mismas condiciones instrumentales que para los estándares, la solución de la muestra (solución C) y del recuperado (solución D) fueron analizadas por triplicado.

	Absorbancia		
	1 <sup>o</sup> lectura	2 <sup>o</sup> lectura	3 <sup>o</sup> lectura
Blanco de reactivos (de la tabla anterior)	0,012	0,006	0,009
Muestra (sol. C)	0,374	0,370	0,384
Recuperado (sol. D)	0,506	0,497	0,491

B. Calcule la concentración de glifosato en la muestra de agua de escorrentía, expresando el resultado en  $\mu\text{g/mL}$ .

C. Calcule el porcentaje de recuperación. ¿Qué conclusiones puede sacar sobre el análisis realizado a partir de este resultado?

Respuestas aproximadas:

- Concentración de glifosato en la muestra de agua de escorrentía: 9,6  $\mu\text{g/mL}$ .
- Porcentaje de recuperación: 103,3 %.

## Actividad 2

El catión  $\text{Fe}^{3+}$  reacciona en solución acuosa con el anión tiocianato  $\text{SCN}^-$  para dar el complejo  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ , especie que presenta una absorbancia máxima a 580 nm.

Con el objetivo de cuantificar  $\text{Fe}^{2+}$  en una muestra de agua subterránea se tomaron 25,0 mL de la misma y se los colocaron en un matraz aforado de 100 mL. A esta muestra se le agregó solución de agente oxidante y solución de KSCN, ambos en exceso. Finalmente, se llevó la mezcla a volumen final con agua.

Una alícuota de esta solución fue medida en un espectrofotómetro a 580 nm, obteniéndose una absorbancia de 0,231.

Por otro lado, otra solución se preparó con 25,0 mL del agua subterránea y 5,0 mL de una solución estándar de  $\text{Fe}^{2+}$  de 2,75 mg/L. Después de agregarle el mismo exceso de agente oxidante y de KSCN que antes, se llevó a volumen final de 100 mL con agua.

Bajo las mismas condiciones experimentales anteriores, la absorbancia de una alícuota de esta nueva solución fue de 0,549.

**A.** Realice un gráfico de absorbancia vs. concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  en mg/mL en las soluciones finales.

- Ubique la absorbancia de la **solución sin fortificar** sobre el eje de las absorbancias (eje Y).
- Ubique la absorbancia de la **solución fortificada** a un valor de concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  igual al originado por la fortificación, es decir, sin tener en cuenta el  $\text{Fe}^{2+}$  que ya estaba presente.

**B.** Determine la ecuación de la recta que pasa por ambos puntos.

**C.** Con la ayuda de la recta y de la gráfica calcule la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  en la muestra de agua subterránea, expresando el resultado en mg/L.

**D.** ¿Cómo se denomina el método de cuantificación, empleado en esta actividad, que se basa en medir las respuestas instrumentales antes y después de fortificar con el analito de interés?

Respuestas aproximadas:

**B.** Ecuación de la recta:  $A = 0,231 + 2,31 \cdot 10^3 \cdot x$  (concentración  $\text{Fe}^{2+}$ , en mg/mL)

**C.** Concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  el agua subterránea analizada: 0,40 mg/L.

### Actividad 3

La espectrofotometría UV-visible permite también cuantificar **simultáneamente** varios analitos en solución (2 o más). En estos casos, la absorbancia total a una longitud de onda viene dada por la sumatoria de las absorbancias individuales de cada especie a la misma longitud de onda.

En esta actividad se trabajará en la determinación simultánea de Co y Ni en una aleación metálica. Cada uno de los cationes de estos metales puede formar un complejo con el compuesto 2,3-quinoxalinaditiol. En la siguiente tabla se presentan los datos espectroscópicos de interés de cada complejo.

Longitud de onda (nm)	$\epsilon$ (L/mol.cm)	
	Complejo de Co	Complejo de Ni
510	36400	5520
656	1240	17500

#### Tratamiento de la muestra

Una muestra de 0,425 g de la aleación metálica conteniendo Co y Ni en muy baja proporción fue disuelta por digestión ácida y luego llevada a un volumen de 50 mL en matraz aforado.

Una alícuota de 25,0 mL fue tratada para eliminar interferencias. Luego, se le adicionó 2,3-quinoxalinaditiol para la formación de los complejos. La mezcla final fue llevada a un volumen de 50 mL.

A. Realice un esquema orientativo del tratamiento de la muestra.

#### Análisis de la muestra

Se midieron por triplicado un blanco de reactivos y la solución final preparada en el tratamiento de muestra. Para todas las lecturas se utilizó la misma celda de 1,00 cm.

	Longitud de onda (nm)	Absorbancia		
		1º lectura	2º lectura	3º lectura
Blanco de reactivos	510	0,010	0,014	0,012
Muestra		0,456	0,457	0,461
Blanco de reactivos	656	0,009	0,010	0,014
Muestra		0,336	0,341	0,334

B. Calcule las concentraciones molares de Co y Ni en la solución final del tratamiento de muestra.

**Pista:** plantee y resuelva un sistema de 2 ecuaciones (las absorbancias totales a cada longitud de onda) y de 2 dos incógnitas (las concentraciones molares de Co y Ni).

C. Calcule las concentraciones de Co y Ni en la aleación, expresando el resultado en mg/kg de aleación.

#### Respuestas aproximadas:

B.  $C_{Co} = 9,53 \cdot 10^{-6}$  mol/L y  $C_{Ni} = 1,80 \cdot 10^{-5}$  mol/L

C. Concentración de Co: 132,1 mg/kg ; concentración de Ni: 248,6 mg/kg.

## Actividad 4

Para la cuantificación de un analito por espectroscopía UV-visible normalmente se recurre a *curvas de calibrado* o al *método de adición estándar*, como se vio en actividades anteriores. Además de éstas, otra forma de cuantificación es mediante una *curva de titulación fotométrica*. En este caso se produce una reacción química entre el analito y un agente titulante (analito + agente titulante → productos).

A medida que se agrega poco a poco la solución del titulante a la solución del analito, se mide la absorbancia de esta última solución. La longitud de onda de trabajo dependerá de la especie química cuya absorbancia se quiera seguir a lo largo de la titulación (analito, agente titulante o algún producto).

Una vez obtenidos los resultados de absorbancia, se realiza una gráfica absorbancia vs. volumen de agente titulante agregado. A continuación, se debe identificar el punto final de la titulación, lugar en donde la gráfica sufre un cambio abrupto. A partir del volumen de titulante del punto final, se puede cuantificar el analito.

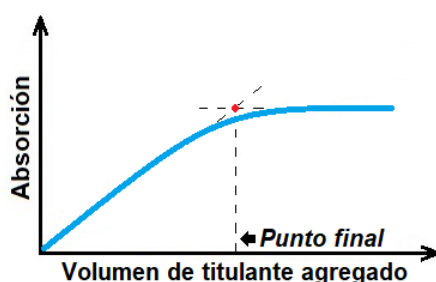
En esta actividad se verá cómo cambian las curvas de titulación fotométricas según las longitudes de onda seleccionadas y las especies involucradas.

**Caso 1.** El analito  $A^+$  reacciona con el agente titulante  $B$  para dar el complejo  $C^+$ :



Este complejo presenta 2 máximos de absorción: uno de mayor intensidad a 650 nm y otro de menor a 500 nm.

Si se trabaja a 500 nm y se registra la absorbancia a medida que se agrega titulante a un volumen fijo de solución del analito, se obtiene la siguiente curva fotométrica.

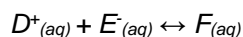


**A.** ¿Cómo cambiaría la gráfica anterior si se trabajara a 650 nm? Bosqueje la nueva curva y marque el punto final.

**B.** ¿Cómo se modificaría la gráfica obtenida a 500 nm si la relación estequiométrica fuera la siguiente?



**Caso 2.** El analito  $D^+$  reacciona con el agente titulante  $E^-$  para dar el complejo  $F$ :



Entre estas 3 especies, sólo  $D^+$  y  $E^-$  absorben luz:  $D^+$  presenta un máximo de absorción a 520 nm y  $E^-$  a 600 nm.

**C.** Bosqueje la curva fotométrica que se obtendría si se agregara solución del titulante  $E^-$  a un volumen fijo de solución de  $D^+$  y se midiera la absorbancia a 520 nm. Identifique también el punto final.

D. ¿Cómo cambiaría la gráfica anterior si se trabajase a 600 nm? Marque además el punto final de la titulación.

**Caso 3.** Los analitos  $G^+$  y  $J^+$  pueden reaccionar con el agente titulante  $E^-$  para dar dos complejos diferentes:



Se sabe que:

- La constante de formación  $K_{f1}$  es mucho mayor que  $K_{f2}$ .
- Entre todas las especies mencionadas, sólo  $G^+$  y  $E^-$  pueden absorber a 600 nm con coeficientes de absorptividad molar similares.

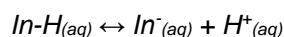
E. Bosqueje la curva de titulación que se obtendría si se agregara solución del titulante  $E^-$  a un volumen fijo de solución conteniendo  $G^+$  y  $J^+$  en cantidades equimolares. Considere que se trabaja a 600 nm.

F. Identifique en la curva anterior los 2 puntos finales de titulación (uno para  $G^+$  y otro para  $J^+$ ).

## Actividad 5

La espectroscopía UV-visible puede emplearse para muchos usos diversos, y no sólo para cuantificaciones. Por ejemplo, puede utilizarse para determinar valores de constantes de equilibrio químico en solución. Dentro de los diferentes equilibrios podría ser interesante estudiar el equilibrio ácido-base de un indicador empleado en titulaciones.

A continuación, se describen los pasos seguidos para la determinación de la constante de acidez  $K_a$  por de un indicador ácido-base hipotético al que denominaremos **In-H** que presenta el siguiente equilibrio en solución:



**In-H** y **In<sup>-</sup>** son especies químicas que presentan estructuras moleculares algo diferentes y, por lo tanto, niveles energéticos moleculares distintos. Las diferencias entre los niveles energéticos de cada especie hacen que ellas absorban radiación de distinta manera. Por consiguiente, **In-H** y **In<sup>-</sup>** poseen colores diferentes en solución, lo que es una característica necesaria de todo indicador ácido-base.

**Paso 1.** Se prepararon 2 soluciones acuosas del indicador, ambas con una concentración del mismo de  $5,0 \cdot 10^{-4}$  mol/L, pero de pH diferentes: 1,0 y 13,0.

La absorbancia de cada solución fue medida a 485 nm en una celda de 1,00 cm. Luego, la absorbancia fue medida a 625 nm. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos.

Longitud de onda (nm)	pH	Absorbancia
485	1,0	0,454
	13,0	0,052
625	1,0	0,176
	13,0	0,823

En la solución ácida se consideró que el indicador estaba exclusivamente bajo la forma protonada In-H, mientras que en la solución básica estaba totalmente bajo la forma no protonada In<sup>-</sup>.

**A.** Con estos datos calcule los coeficientes de absorptividad molar  $\epsilon$  de cada especie (In-H y In<sup>-</sup>) a 485 nm.

**B.** Repita el cálculo anterior pero ahora considerando los datos obtenidos a 625 nm.

**Paso 2.** Se preparó una tercera solución del indicador con una concentración de  $5,0 \cdot 10^{-4}$  mol/L y de pH = 5,0 (a este pH existe una mezcla de ambas formas del indicador). En la misma celda anterior se midió la absorbancia de la solución a las dos longitudes ya mencionadas, obteniéndose 0,472 a 485 nm y 0,351 a 625 nm.

**C.** Calcule la constante de acidez  $K_a$  y el  $pK_a$  del indicador In-H. **Pista:** suponga que los valores de  $\epsilon$  son independientes del pH. Además, considere que la absorbancia total a una longitud de onda viene dada por la suma de las absorbancias individuales de cada especie a la misma longitud de onda.

Respuestas aproximadas:

**A.** A 485 nm:  $\epsilon$  (In-H) = 908 L/mol.cm ;  $\epsilon$  (In<sup>-</sup>) = 104 L/mol.cm

**B.** A 625 nm:  $\epsilon$  (In-H) = 352 L/mol.cm ;  $\epsilon$  (In<sup>-</sup>) = 1646 L/mol.cm

**C.**  $K_a = 2,06 \cdot 10^{-6}$  ;  $pK_a = 5,69$

## Notas aclaratorias para los docentes.

### Justificación de la secuencia de actividades.

La actividad 1 propone a los estudiantes un ejercicio de cuantificación empleando una pequeña curva de calibrado. La actividad 2, por su parte, plantea también una cuantificación, pero utilizando el método de adición estándar. Asimismo, la actividad 4 es otro problema de cuantificación, pero usando curvas de titulación fotométricas. De esta forma, los estudiantes pueden trabajar con 3 métodos de cuantificación diferentes.

El ejercicio 3 propone, a diferencia de las actividades 1, 2 y 4, una determinación simultánea de 2 analitos.

Todas las actividades anteriores (1 a 4) se basan en el uso de la espectroscopía UV-vis para fines de cuantificación, mientras que la actividad 5 tiene el propósito que los cursantes vean cómo esta técnica instrumental puede ser empleada para la determinación de una constante de equilibrio químico.

### Intencionalidades y otros comentarios sobre cada actividad.

#### Actividad 1

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante se enfrente a una situación que simula, hasta cierto punto, una metodología de análisis por espectroscopía de absorción molecular;
  - que el cursante pueda sacar conclusiones fundamentadas sobre la *performance* del análisis a partir de los datos experimentales de un recuperado.
- Esta actividad hace hincapié en el tratamiento de muestra, entendiéndolo como una parte clave de todo proceso analítico.
- El procedimiento analítico, ciertos valores numéricos y otros elementos de la actividad fueron tomados o adaptados del artículo:

Bhaskara, B. L., & Nagaraja, P. (2006). Direct sensitive spectrophotometric determination of glyphosate by using ninhydrin as a chromogenic reagent in formulations and environmental water samples. *Helvetica Chimica Acta*, 89, 2686-2693.

#### Actividad 2

- Esta actividad es similar al problema 2 de la guía original, pues plantea una preparación parecida de la muestra para el análisis. Se asemeja también al ejercicio 1 de la guía original porque propone una cuantificación por el método de adición estándar. La guía de la cual se habla aquí es la siguiente:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Guía de problemas: Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano*.

- Intencionalidad de la actividad:
  - que el estudiante aprenda el procedimiento matemático detrás del método de cuantificación por adición estándar;
  - que el docente emplee el ejercicio con el fin de describir más detalles de este método, como sus ventajas y los casos en el que el mismo debería aplicarse.
- Para armar este ejercicio, la mayoría de los datos numéricos, así como también otros elementos que aparecen en el problema, fueron tomados del ejercicio 26.16 ubicado en la p. 755 de la siguiente bibliografía:

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Capítulo 26: Espectrometría de absorción molecular. En *Fundamentos de Química Analítica* (9.ª ed., pp. 722-759). Cengage Learning.

### Actividad 3

- Esta actividad propone un trabajo similar a lo que se hace en la siguiente guía de TP de la asignatura:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Espectroscopía molecular: Determinación simultánea por regresión lineal univariada*.

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el cursante pueda ser capaz de tratar datos para la determinación simultánea de 2 analitos en solución;
  - y que aprenda a plantear y resolver un sistema de 2 ecuaciones y 2 incógnitas;
  - el docente podría utilizar esta actividad para comentar las ventajas de una determinación simultánea y sus requisitos.
- Para la elaboración de esta actividad se tomaron la mayoría de los datos numéricos y otros elementos del problema 26.18 de la p. 756 de la siguiente bibliografía:

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Capítulo 26: Espectrometría de absorción molecular. En *Fundamentos de Química Analítica* (9.ª ed., pp. 722-759). Cengage Learning.

No obstante, se realizaron ciertos agregados y modificaciones pertinentes.

### Actividad 4

- Procura el desarrollo de competencias similares a las implicadas en los problemas 5 y 6 de la guía original.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante se familiarice con el método de cuantificación por curvas de titulación fotométricas;
  - y que pueda analizar cómo cambian las formas de estas curvas según factores como la absortividad molar, la estequiometría de reacción, la especie química elegida para ser seguida fotométricamente durante la titulación, etc.

### Actividad 5

- Es una reformulación del problema 3 de la guía original y plantea un objetivo similar al del ejercicio 7 de la misma guía: la determinación de una constante de equilibrio a partir de datos de absorbancia.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el cursante pueda ser capaz de tratar datos experimentales para un fin diferente a los trabajados en las actividades precedentes de esta guía: determinar una constante de equilibrio;
  - y que el estudiante practique el planteo y resolución de un sistema de 2 ecuaciones y 2 incógnitas como el del ejercicio 3 de esta guía.

## Fluorescencia molecular Guía de problemas

### Actividad 1

La siguiente figura es un diagrama de Jablonski simplificado para una molécula. El mismo presenta los estados energéticos (electrónicos y vibracionales) de la especie química, habiéndose omitido los niveles rotacionales con fines de simplificación.



A. Dibujando flechas en el diagrama indique las siguientes transiciones:

- transiciones desde el estado de más baja energía de S<sub>0</sub> hasta cada uno de los estados de S<sub>1</sub> ;
- transiciones desde el estado de más baja energía de S<sub>1</sub> hasta cada uno de los estados de S<sub>0</sub> ;
- transiciones desde el estado de más baja energía de T<sub>1</sub> hasta cada uno de los estados de S<sub>0</sub>.

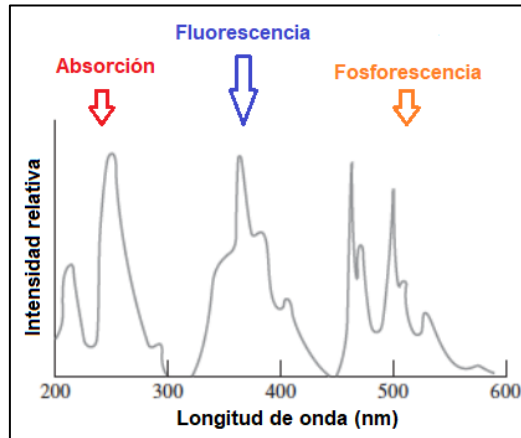
B. Las transiciones del inciso A.i. implican la absorción de luz, mientras que las otras implican la emisión de luz.

i. ¿Cómo se denomina al fenómeno relacionado a las transiciones desde el estado S<sub>1</sub> al S<sub>0</sub>? ¿Y cómo se denomina al fenómeno que implica transiciones desde T<sub>1</sub> a S<sub>0</sub>?

ii. ¿Cuál es la diferencia entre un estado excitado singlete S y uno triplete T? ¿Cuál tiene mayor probabilidad de ocurrir? ¿Por qué?

C. A continuación se muestran los espectros de absorción, de emisión por fluorescencia y de emisión por fosforescencia del fenantreno.

¿Por qué la emisión por fluorescencia ocurre a mayores longitudes de onda que la absorción?  
¿Y por qué la fosforescencia ocurre a longitudes de onda más grandes que la fluorescencia?  
Para justificar su respuesta puede ayudarse con el diagrama de Jablonski genérico presentado más arriba.



En el diagrama de Jablonski precedente, además de los 3 tipos de transiciones **radiantes** (es decir, que involucran fotones de luz) analizados en el inciso A, se producen también transiciones **no radiantes** (que no implican ni absorción ni emisión de fotones).

**D.** Dibujando flechas en el diagrama de Jablonski anterior, indique las siguientes transiciones **no radiantes**:

- *cruce entre sistemas* desde el estado  $S_1$  hasta el estado  $T_1$  ;
- *conversión interna* desde el estado de menor energía de  $S_1$  hasta el estado de mayor energía de  $S_0$  ;
- *conversión interna* desde el estado de menor energía de  $T_1$  hasta el estado de mayor energía de  $S_0$  ;
- *relajaciones vibracionales* en el interior de cada uno de los tres estados electrónicos ( $S_0$ ,  $S_1$  y  $T_1$ ).

## Actividad 2

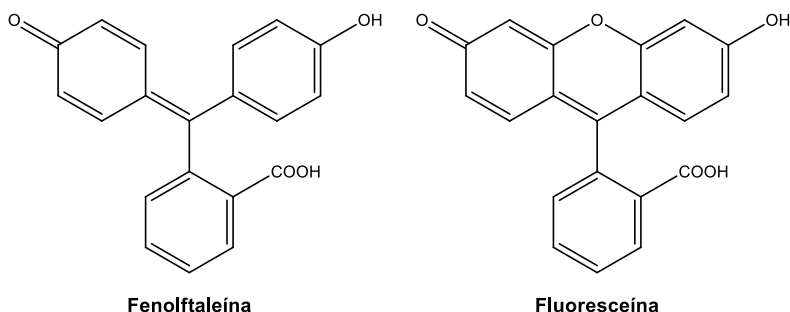
Existen diferentes factores que influyen en la fluorescencia o fosforescencia de una molécula, por ejemplo, aumentando o disminuyendo ya sea la intensidad de emisión o la longitud de onda de la radiación emitida. Dentro de estos factores se podría mencionar la temperatura de la solución, la viscosidad del solvente, factores estructurales de la especie química, entre otros. A continuación, se analizará en particular la influencia de algunos factores estructurales.

### Rigidez estructural

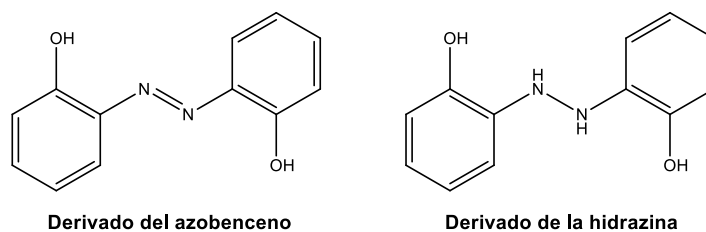
Un aumento de la rigidez de la estructura de la especie química desfavorece la velocidad a la cual ocurren los procesos de relajación no radiantes del estado excitado. Esta disminución de velocidad llega a tal punto que la relajación por fluorescencia puede ocurrir más rápido, favoreciéndose la emisión por este proceso.

A. Teniendo en cuenta la observación anterior, ¿cuál compuesto de cada par presentaría una fluorescencia relativa mayor? Justifique sus respuestas.

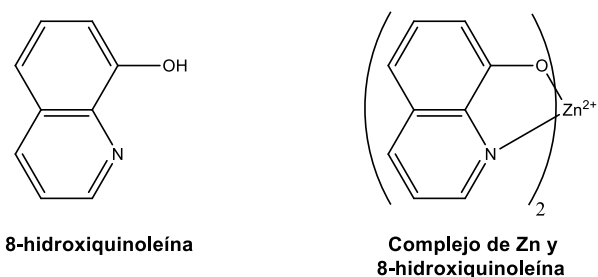
i.



ii.



iii.



### Átomos de halógeno como sustituyentes

Cuando existen sustituyentes de este tipo se produce una perturbación de los spines de los electrones. Este efecto se conoce como efecto del átomo pesado interno.

**B.** ¿Cuál transición entre estados electrónicos incrementa su velocidad como consecuencia de este efecto? ¿Cómo influye esto en un aumento de la fosforescencia por sobre la fluorescencia?

---

Para una molécula que es excitada por un haz de luz bajo determinadas condiciones experimentales, la eficiencia cuántica o rendimiento cuántico ( $\Phi$ ) es un parámetro que indica el número de moléculas que siguen un determinado proceso (fluorescencia o fosforescencia) sobre el total de moléculas excitadas.

A modo de ejemplo, si una molécula presenta un rendimiento cuántico de fluorescencia elevado, esto indica que la mayoría de las moléculas excitadas regresan al estado basal por emisión fluorescente y no fosforescente, ni tampoco por otras vías de relajación no radiantes.

Aquí debajo se presentan las ecuaciones de ambas eficiencias. Las mismas se calculan a partir de constantes de velocidad  $k$  asociadas a diferentes procesos radiantes y no radiantes (como los analizados en el diagrama de Jablonski de la actividad anterior).

$$\text{Eficiencia cuántica de fluorescencia (F)} : \Phi_F = \frac{k_F}{k_F + k_{nr}}$$

$$\text{Eficiencia cuántica de fosforescencia (P)} : \Phi_P = \frac{k_{T1}}{k_F + k_{nr}} \frac{k_P}{k_P + k'_{nr}}$$

donde:

- $k_F$  está asociada a las transiciones de fluorescencia;
- $k_{T1}$  está asociada al cruce entre sistemas;
- $k_P$  está asociada a las transiciones de fosforescencia;
- $k_{nr}$  y  $k'_{nr}$  engloban las constantes asociadas a otros procesos de relajación no radiantes.

**C.** Observando la ecuación para  $\Phi_F$ , ¿cómo podría explicar que la fluorescencia aumenta con el incremento de la rigidez de la molécula?

**D.** Observando la ecuación para  $\Phi_P$ , ¿cómo podría explicar que la fosforescencia aumenta a causa del efecto del átomo pesado interno?

### Actividad 3

En un laboratorio de investigación de productos lácteos se cuantificó el contenido de retinol (vitamina A) en una muestra de leche de vaca. Como la leche es una matriz muy compleja y contiene varios componentes (proteínas, lípidos, azúcares, entre otros) fue fundamental efectuar un tratamiento de muestra que permitiera la separación del retinol del resto de la matriz.

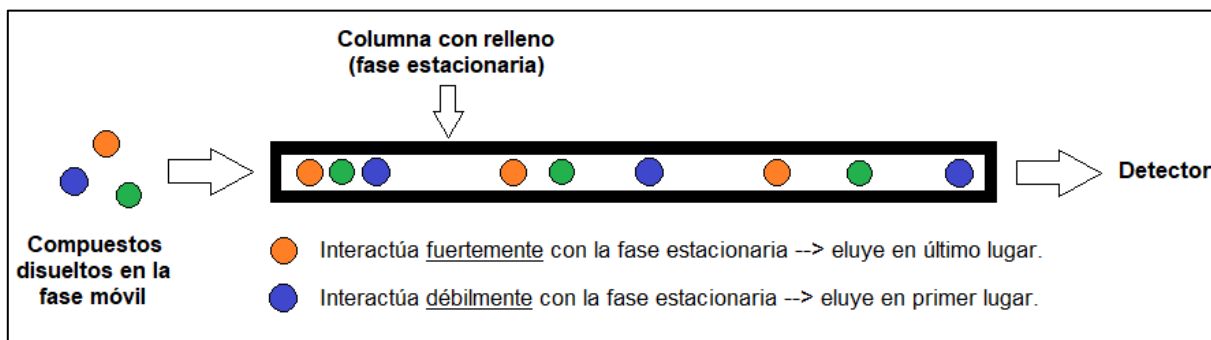
#### Tratamiento de la muestra

1. Dentro de un pequeño tubo con tapa se mezclaron 0,40 mL de la muestra de leche, 0,5 mL de metanol, 2,0 mL de etanol, 1,5 mL de solución de KOH de concentración 1 g/mL y 1,1 mL de agua destilada.
2. Antes de sellar el tubo la atmósfera en su interior fue evacuada usando nitrógeno gaseoso. Esto permitió eliminar el oxígeno del aire que puede oxidar y destruir parte del retinol.
3. El tubo sellado se introdujo en un baño de agua a 70°C por 20 min. Esto dio lugar a la saponificación en medio básico de ciertos compuestos grasos de la leche, no viéndose afectado el retinol en este proceso.
4. Luego de enfriar, el contenido del tubo fue extraído 2 veces con 5 mL de mezcla diisopropil éter-heptano 1:3 v/v. En la fase acuosa básica quedaron varios compuestos que fueron saponificados, mientras que en las fases orgánicas quedaron el retinol y otras moléculas.
5. Las fases orgánicas se colocaron en un matraz de 10 mL y se llevaron a volumen con la mezcla de diisopropil éter-heptano anterior. Esta última solución es la que se sometió a análisis instrumental.

A. Realice un esquema orientativo del tratamiento de la muestra.

En análisis químicos es habitual que el analito de interés esté acompañado de otras especies que podrían interferir y generar inconvenientes durante una determinación. Si bien existen procesos de separación o eliminación de las interferencias (como extracciones líquido-líquido, oxidaciones, precipitaciones, formación de complejos, etc.), en ciertos casos esto no es posible o no es suficiente. Frente a este problema es necesario recurrir a técnicas de separación más complejas, como es el caso de la cromatografía líquida de alto rendimiento, más conocida como HPLC por sus siglas en inglés.

Explicado de forma sencilla, esta técnica logra la separación de diferentes compuestos haciendo pasar la solución que los contiene (llamada fase móvil) a través de un tubo fino (denominado columna), el cual posee un relleno (llamado fase estacionaria) que interactúa a través de diferentes fuerzas intermoleculares (puente de H, dipolo-dipolo, etc.) con los componentes a separar. Algunas moléculas interactuarán fuertemente con la fase estacionaria y otras débilmente, dependiendo de las características de cada una. Las que interactúen fuertemente serán más retenidas por la fase estacionaria y eluirán (emergerán) últimas de la columna, y viceversa. A la salida de la columna un detector adecuado generará una señal analítica proporcional a la concentración de cada analito separado.



La solución obtenida al final del tratamiento de la muestra contenía otros compuestos además del retinol. Por este motivo, se sometió esta solución a una separación por HPLC para cuantificar el retinol. Se utilizó un detector de fluorescencia, trabajando con una longitud de excitación de 344 nm y una longitud de emisión de 472 nm.

Curva de calibrado y análisis de la muestra

En la siguiente tabla se presentan los resultados de análisis de 2 estándares de retinol y de la solución resultante del tratamiento de la muestra.

Concentración de retinol ( $\mu\text{g/mL}$ )	Señal analítica
0,015	0,303
0,050	1,039
Solución de la muestra	0,551

**B.** Calcule la concentración de retinol en la muestra de leche analizada, expresando el resultado en  $\mu\text{g/mL}$ .

Respuesta aproximada:

Concentración de retinol en la leche: 0,67  $\mu\text{g/mL}$ .

## Actividad 4

La fluorescencia molecular puede ser empleada para realizar cuantificaciones directas o indirectas de analitos.

- La **forma directa** consiste en medir la fluorescencia producida directamente por el analito. Un ejemplo de este caso es la determinación de retinol vista en la actividad precedente. En una cuantificación directa, un aumento de la fluorescencia se relaciona con un incremento de la concentración del analito.
- La **forma indirecta**, por su parte, consiste en medir la disminución de fluorescencia generada por una interacción entre un **analito no fluorescente** y una **especie que sí lo es**. En una cuantificación indirecta, como se verá en esta actividad, la disminución de la fluorescencia se relaciona con un incremento de la concentración del analito.

Para la determinación de  $F^-$  en una muestra de agua se decidió usar un método de cuantificación indirecto basado en la disminución de fluorescencia del complejo  $Al^{3+}$ -granate de alizarina R. Este complejo fluorescente es destruido por reacción química con el  $F^-$ , liberándose el  $Al^{3+}$  bajo la forma de  $AlF_6^{3-}$ .

Se prepararon las siguientes soluciones para el análisis, todas conteniendo un exceso del complejo fluorescente. El volumen final en todos los casos fue de 50 mL.

	Solución del complejo $Al^{3+}$ -granate de alizarina R (mL)	Muestra de agua a analizar (mL)	Solución estándar de $F^-$ 0,010 $\mu g/mL$ (mL)	Intensidad de fluorescencia IF
Blanco	5,0	0	0	73,0
Muestra	5,0	10,0	0	68,2
Muestra fortificada	5,0	10,0	1,0	55,3

**A.** Realice una gráfica del **valor absoluto** de reducción de fluorescencia, calculada como  $IF_{\text{solución de interés}} - IF_{\text{blanco}}$ , vs. concentración de  $F^-$  ( $\mu g/mL$ ) en el volumen final de 50 mL.

**B.** A partir de la gráfica anterior calcule la concentración de  $F^-$  en la muestra de agua analizada, expresando el resultado en  $\mu g/L$ .

Respuesta aproximada:

Concentración de  $F^-$  en el agua: 0,37  $\mu g/L$ .

## Notas aclaratorias para los docentes.

### Justificación de la secuencia de actividades.

En la actividad 1 se propone trabajar con los conceptos de procesos radiantes y no radiantes, sus diferentes tipos y los estados electrónicos y vibracionales asociados a ellos.

En la actividad 2 se recuperan varios de estos conceptos con el fin de analizar cómo ciertos factores estructurales influyen en la fluorescencia y fosforescencia de una molécula.

Las actividades 3 y 4, de corte menos teórico en comparación con las anteriores, procuran la práctica de cálculos de cuantificación: el ejercicio 3 presenta una cuantificación directa por fluorescencia (en el sentido que el analito es en sí mismo fluorescente), mientras que el 4 propone un ejemplo de cuantificación indirecta.

### Intencionalidades y otros comentarios sobre cada actividad.

#### Actividad 1

- Presenta similitudes con el problema 1 de la guía original:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Guía de problemas: Fluorescencia molecular.*

Sin embargo, amplía mucho más los aspectos teóricos presentados en ese problema de la guía original.

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante se familiarice con un diagrama de Jablonski genérico y pueda ubicar en él tanto transiciones radiantes (de absorción, fluorescencia y fosforescencia) como no radiantes (cruce entre sistemas, conversiones internas y relajaciones vibracionales);
  - que el cursante pueda comprender por qué difieren las longitudes de onda de procesos de absorción, fluorescencia y fosforescencia;
  - que el estudiante aprenda las principales diferencias entre estados excitados del tipo singlete y triplete.
- La imagen del inciso C fue tomada de las diapositivas de la clase teórica sobre fluorescencia molecular:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Espectroscopía de luminiscencia molecular.*

#### Actividad 2

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el cursante analice cómo ciertos factores estructurales (en particular, la rigidez estructural y la presencia de átomos de halógeno) tienen una influencia sobre los procesos de fluorescencia o fosforescencia;
  - que el estudiante se familiarice con el concepto de eficiencia cuántica y sus ecuaciones;
  - y que pueda utilizar estas últimas para explicar los efectos de la rigidez estructural y de la presencia de átomos de halógeno vistos previamente.
- Las estructuras de las moléculas del inciso A fueron extraídas de la siguiente bibliografía:

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Capítulo 27: Espectroscopía de fluorescencia molecular. En *Fundamentos de Química Analítica* (9.ª ed., pp. 760-772). Cengage Learning.

#### Actividad 3

- Este ejercicio es algo similar al problema 2 de la guía original puesto que propone una cuantificación de tipo directa por fluorescencia.

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el cursante se enfrente a una situación que simula, hasta cierto punto, una metodología de análisis por fluorescencia molecular;
  - y que pueda ver cómo la técnica de HPLC (examinada en detalle en otra asignatura de la carrera de Licenciatura en Química) es aplicada normalmente en Química Analítica.
- Esta actividad hace hincapié en el tratamiento de muestra, etapa de suma importancia en todo proceso analítico.
- El procedimiento de análisis, ciertos valores numéricos y otros elementos presentes en el ejercicio fueron adaptados a partir del artículo:

Jensen, S. K. (1994). Retinol determination in milk by HPLC and fluorescence detection. *Journal of Dairy Research*, 61(2), 233-240.

#### Actividad 4

- Es una reformulación del problema 3 de la guía original.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante comprenda las diferencias entre una cuantificación directa y una indirecta por fluorescencia, viendo además un ejemplo de este último caso;
  - que el cursante practique el procedimiento matemático detrás del método de cuantificación por adición estándar. Este procedimiento ya debería haber sido aprendido en la guía de ejercicios precedente sobre las aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis.

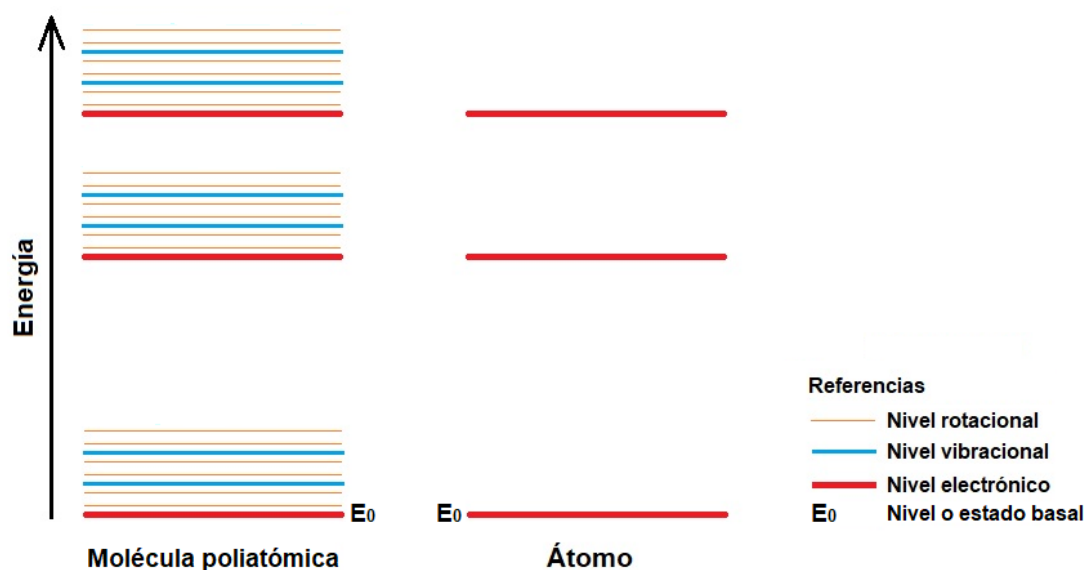


## Actividad 2

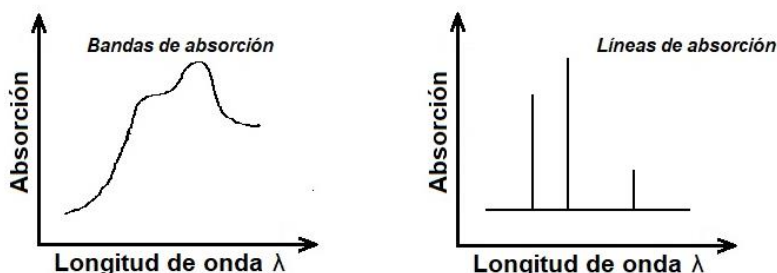
En la espectroscopía de absorción atómica por llama se busca que el analito a determinar se encuentre en forma atómica, como se describió en los esquemas de la actividad anterior.

Por su parte, en la espectroscopía de absorción molecular UV-vis, el analito que absorbe luz se encuentra en forma molecular.

Aunque ambas especies químicas (moléculas y átomos) pueden absorber energía y pasar a estados excitados, los diagramas de energía asociados a cada especie son diferentes. El siguiente esquema muestra, de forma simplificada, los niveles energéticos de una molécula poliatómica y de un átomo individual.



**A.** A partir de las diferencias entre los diagramas de energía, explique por qué las moléculas presentan **bandas** de absorción en sus espectros, mientras que los átomos presentan **líneas** de absorción. Tenga en cuenta que, antes de ganar energía, la mayoría de las moléculas o átomos se encuentran en el nivel basal, es decir, en el de más baja energía.



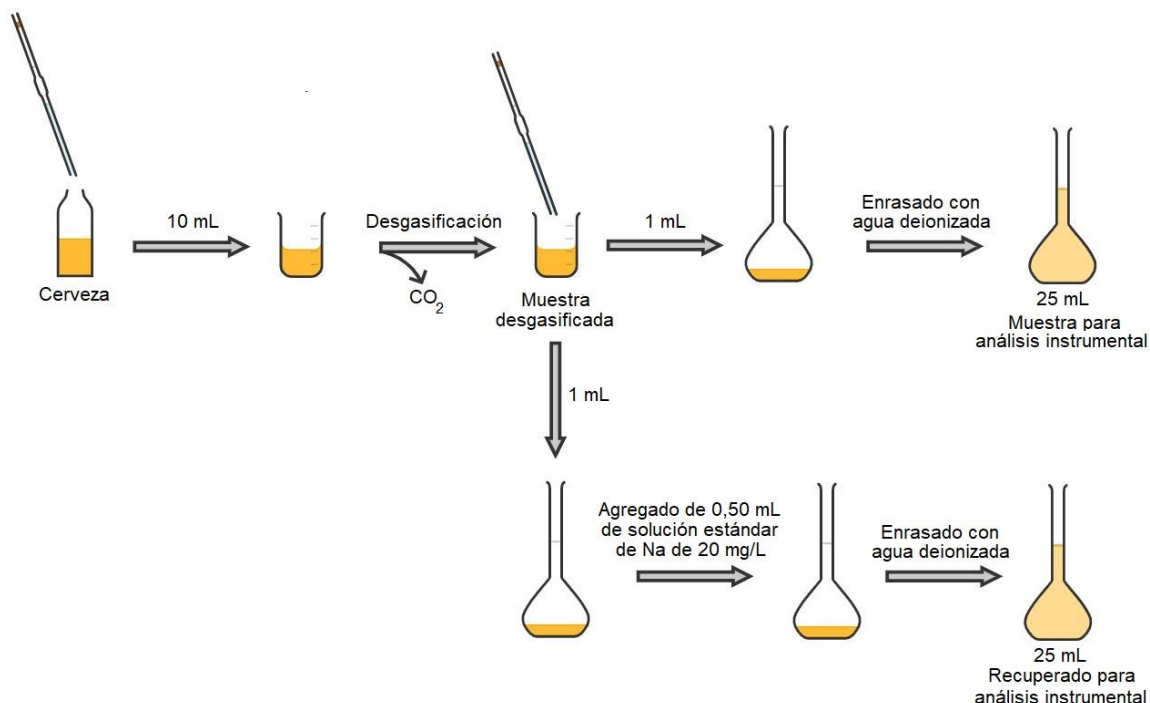
**B.** Utilizando el diagrama de energía para el átomo, explique la diferencia entre la espectroscopía de absorción atómica y la de emisión atómica en cuanto a la forma en la que se produce la señal analítica.

**C.** Si aumenta la cantidad de átomos del analito en la llama (por ejemplo, influyendo sobre alguno de los procesos estudiados en la actividad anterior), ¿qué cree que sucederá con la señal analítica en un análisis por absorción atómica? ¿Y en uno de emisión atómica? Justifique sus respuestas.

### Actividad 3

En el laboratorio de control de calidad de una cervecería una muestra de cerveza fue analizada por espectroscopía de emisión atómica por llama para cuantificar su contenido de Na.

#### Tratamiento de la muestra y preparación del recuperado



#### Curva de calibrado

Trabajando a 589 nm se analizaron 2 estándares acuosos de Na, tomándose 3 lecturas de cada uno. Los valores de la siguiente tabla ya fueron corregidos por blanco.

Concentración de Na (mg/L)	Valor de emisión		
	1º lectura	2º lectura	3º lectura
1,0	2452	2189	2314
3,0	6996	6834	6717

#### Análisis de la muestra y del recuperado

Bajo las mismas condiciones de análisis que los estándares se midieron por triplicado la muestra diluida de cerveza y el recuperado.

	Valor de emisión		
	1º lectura	2º lectura	3º lectura
Muestra diluida	5114	5215	5335
Recuperado	5979	6231	6103

**A.** Calcule la concentración de Na en la cerveza analizada expresando el resultado en mg/L.

**B.** Calcule el porcentaje de recuperación. A partir del mismo, ¿qué comentario puede hacer sobre el análisis?

Respuestas aproximadas:

- Concentración de Na en la muestra de cerveza: 57 mg/L.
- Porcentaje de recuperación: 97,5 %

## Actividad 4

Para analizar la posible contaminación por Pb de un suelo agrícola ubicado cerca de una autopista, se decidió determinar el contenido de este contaminante por espectroscopía de absorción atómica por llama.

### Tratamiento de la muestra

1. Una porción de la muestra de suelo fue tamizada con el objetivo de eliminar piedras, restos de hojas y otros residuos sólidos.
2. Luego, la muestra tamizada fue introducida en una estufa a 60 °C para eliminar el agua y secarla.
3. En un vaso de precipitados se pesó 1 g de la muestra seca, al que después se le agregó 3 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado y 15 mL de agua deionizada.
4. Se tapó el vaso de precipitados con un vidrio de reloj y se sometió la mezcla a 65 °C durante 30 minutos para una digestión ácida de la matriz.
5. Una vez finalizada la digestión, se transfirió el líquido remanente en el vaso a un matraz aforado de 25 mL y se llevó a volumen con agua deionizada. De esta forma quedó lista la muestra para análisis.

A. Realice un esquema orientativo del tratamiento de la muestra. Puede tomar como referencia el mostrado en la actividad anterior.

### Curva de calibrado

Se prepararon y analizaron 2 estándares acuosos de Pb. Cada estándar fue leído 3 veces a 283,3 nm. Los resultados corregidos por blanco se muestran en la siguiente tabla.

Concentración de Pb (mg/L)	Valor de absorbancia		
	1º lectura	2º lectura	3º lectura
15,0	0,138	0,143	0,132
40,0	0,373	0,359	0,364

### Análisis de la muestra

Se midieron por triplicado un blanco de reactivos y la muestra preparada previamente bajo las mismas condiciones de análisis que los estándares.

	Valor de absorbancia		
	1º lectura	2º lectura	3º lectura
Blanco de reactivos	0,008	0,017	0,004
Muestra	0,289	0,296	0,303

B. ¿Por qué piensa que es necesario el análisis de un blanco de reactivos en este análisis?

C. Calcular la concentración de Pb en la muestra de suelo, expresando el resultado en mg/kg.

### Respuesta aproximada:

Concentración de Pb en la muestra de suelo: 783 mg/kg.

## Actividad 5

A. Indique cuál de las siguientes técnicas analíticas se corresponde mejor a cada afirmación. En algunos casos es posible seleccionar más de una técnica.

### Técnicas

- Espectrometría de absorción atómica por llama (FAAS, por sus siglas en inglés).
- Espectrometría de emisión atómica por llama (FAES).
- Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito (GFAAS).
- Espectrometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS).
- Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (HGAAS).

### Afirmaciones

i. Adecuada para análisis en los que se dispone de muy poca cantidad de muestra (por ejemplo, en el orden de los  $\mu\text{L}$ ).  $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

ii. Utilizada en la determinación de analitos (como Hg) que pueden reducirse a su forma metálica volátil al momento del análisis.  $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

iii. Empleada normalmente para la determinación de metales en el orden de los mg/L. (2 técnicas posibles)  $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

iv. Empleada normalmente para la determinación de metales en el orden de los  $\mu\text{g/L}$ . (3 técnicas posibles)  $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

v. Confina al analito en un espacio reducido y aumenta su tiempo de residencia en el camino óptico, por lo que posee límites de detección muy bajos. (3 técnicas posibles)  
 $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

vi. Separa el analito a determinar del resto de la solución formando una especie volátil, por lo que reduce interferencias y mejora la eficiencia de transporte del analito, mejorando así los límites de detección. (2 técnicas posibles)  $\rightarrow$  \_\_\_\_\_

B. Explique cuál es la ventaja principal de la espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) frente a las 5 técnicas anteriores. ¿Qué impactos positivos tiene esto en el trabajo de laboratorio?

## Notas aclaratorias para los docentes.

### Justificación de la secuencia de actividades.

La actividad 1 tiene la intención de analizar en detalle los procesos que ocurren en el quemador de un espectrofotómetro de llama hasta la atomización del analito. Por su parte, la actividad 2, propone estudiar los fenómenos que tienen lugar en la llama luego de esta atomización. Adicionalmente, el ejercicio 2 procura que los estudiantes comparen ciertos aspectos de las espectroscopías atómicas por llama con características de las espectroscopías de absorción molecular UV-vis. Asimismo, la actividad tiene por objetivo que los cursantes contrasten diferencias entre la espectroscopía de absorción atómica y de emisión atómica.

En vínculo con estas dos últimas técnicas analíticas, la actividad 3 presenta una cuantificación por espectroscopía de emisión atómica, mientras que la actividad 4 presenta una cuantificación por espectroscopía de absorción atómica.

La actividad 5, por su parte, propone la comparación de múltiples espectroscopías atómicas, además de las analizadas en la actividad 2.

### Intencionalidades y otros comentarios sobre cada actividad.

#### Actividad 1

- Es una reformulación del problema 3 de la guía original:

Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.). *Guía de problemas: Espectrometrías atómicas.*

Propone también el abordaje de cuestiones que son tratadas de otra manera en el ejercicio 2 de la guía original.

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante pueda recuperar de la teoría y analizar en detalle los procesos que ocurren en el nebulizador y en el quemador de un espectrofotómetro de llama;
  - y que el cursante examine cómo diferentes factores (como la tensión superficial, la temperatura de la llama, entre otros) influyen en los procesos que tienen lugar hasta la atomización del analito.

#### Actividad 2

- Propone analizar la misma cuestión teórica que fundamenta la resolución de la actividad 1 de la guía original. No obstante, la actividad de esta guía presenta diferencias respecto a la de la guía original.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante pueda evidenciar, a partir de diagramas de energía, por qué los espectros de absorción de moléculas y de átomos son distintos, lo que favorece a entender las diferencias entre las espectroscopías moleculares y las atómicas;
  - que el docente pueda explicar por qué en las espectroscopías atómicas el número de longitudes de onda posibles para análisis es limitado, mientras que esto no sucede con las espectroscopías moleculares;
  - que el cursante refuerce los fundamentos que distinguen la espectrometría de absorción atómica de la de emisión atómica.

#### Actividad 3

- Es un ejercicio que plantea la cuantificación de un analito en una muestra, como también la proponen los ejercicios 6 y 7 de la guía original.

- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante se enfrente a una situación que simula, hasta cierto punto, una metodología de análisis por espectroscopía de emisión atómica;
  - y que pueda comentar de forma argumentada sobre la *performance* del análisis considerando los datos experimentales de un recuperado.
- En esta actividad se hace énfasis en el tratamiento de la muestra, parte de suma relevancia del proceso analítico.
- Algunos elementos de este ejercicio, como el procedimiento analítico y datos numéricos, entre otros, fueron tomados o adaptados del siguiente documento:

Magarini, R. (2015). *Elemental analysis of beer by flame atomic absorption spectrometry with the PinAAcle 900 AAS*. PerkinElmer, Inc.

#### Actividad 4

- Es un ejercicio que plantea la cuantificación de un analito en una muestra, como también la proponen los ejercicios 6 y 7 de la guía original.
- Intencionalidad de la actividad:
  - que el cursante se enfrente a una situación que simula, hasta cierto punto, una metodología de análisis por espectroscopía de absorción atómica.
- En este ejercicio se hace también hincapié en el tratamiento de la muestra, como se ha hecho en la actividad precedente y en otras actividades de las guías elaboradas, puesto que es una parte vital del proceso analítico.
- Ciertos elementos de este problema, como el procedimiento analítico y datos numéricos, entre otros, fueron tomados o adaptados a partir del siguiente artículo:

Granadillo, V. A., Nava, M. del V., Fernández, D. R., Vásquez, A. del C., Semprún, B., Hernández, M., & Colina, M. (2006). Flame AAS determination of total lead in soil sediments near highways in Maracaibo city, Venezuela. *Atomic Spectroscopy*, 27(2), 56-61.

#### Actividad 5

- Este ejercicio fue elaborado tomando algunos elementos de la actividad 8 de la guía original, tales como los nombres de técnicas analíticas, sus características y sus utilidades. Asimismo, el ejercicio de la presente guía tiene objetivos similares a los de la actividad 8 de la guía original.
- Intencionalidades de la actividad:
  - que el estudiante compare diferentes espectroscopías atómicas según diferentes características de las mismas. Algunas de estas características son importantes a tener en cuenta cuando se debe elegir un método analítico para un análisis determinado;
  - que el cursante pueda utilizar a futuro la resolución de la actividad como un elemento orientador en el estudio para el examen final.

#### Respuesta al inciso A

i. GFAAS.

iv. GFAAS, CVAAS y HGAAS.

ii. CVAAS.

v. GFAAS, CVAAS y HGAAS.

iii. FAAS y FAES.

vi. CVAAS y HGAAS.

#### Respuesta al inciso B

La ventaja principal es el análisis multielemental, lo que mejora los tiempos de análisis y disminuye la cantidad de muestra necesaria.

# Especialización en Docencia Universitaria

## Informe de Trabajo Final

*Relaciones entre teoría, práctica y profesión en la asignatura  
Química Analítica Instrumental de la Licenciatura en Química (UNL).  
Producción de guías de ejercicios numérico-prácticos.*

Especializando: Lic. Guillermo Gamboa

Directora: Dra. María Virginia Luna

Año: 2024

## Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi directora, Dra. María Virginia Luna, por haber sido mi mentora a lo largo de estos últimos meses de planificación y trabajo. Valoro enormemente todo lo que ella me enseñó en torno a las Ciencias de la Educación, así como también su amabilidad y acompañamiento continuo. Sin ninguna duda ella ha hecho que mi camino en esta última etapa de la Especialización en Docencia Universitaria sea una hermosa experiencia para valorar y recordar.

Quisiera también hacer extensivos mis agradecimientos a la Universidad Nacional de Rafaela y a cada uno de los docentes del posgrado. Ha sido un orgullo haber compartido con ellos los diferentes seminarios de la carrera en esta universidad pública, profesores que indudablemente han dejado una huella en mí.

Asimismo, me gustaría agradecer a todos los miembros de mi familia y amigos por su acompañamiento y motivación a lo largo de esta formación. En especial, quisiera agradecer a mis padres por haber sido el apoyo más importante que he tenido en estos últimos años.

Además, hago extensivos mis agradecimientos al equipo docente de la cátedra de Química Analítica Instrumental de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral por haber aceptado participar de este Trabajo Final y por la colaboración prestada durante los meses de trabajo. En particular, me gustaría agradecer a mi amigo, Lic. Jonatan Schlotthauer, docente de la cátedra y principal colaborador en este Trabajo. Agradezco su buena disposición a responder mis preguntas, sus valiosos consejos y las correcciones aportadas para la puesta a punto del material didáctico elaborado en este Trabajo.

Finalmente, doy gracias también a todas aquellas personas que, aunque no estén nombradas aquí, han formado parte de esta hermosa experiencia.

## Índice.

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la situación didáctica: características de la asignatura y del grupo clase.	4
1.1.1. La carrera de Licenciatura en Química de la FIQ-UNL y su campo profesional.	4
1.1.2. La asignatura Química Analítica Instrumental de la carrera de Licenciatura en Química de la FIQ-UNL.	5
1.1.3. Los estudiantes de Química Analítica Instrumental.	6
1.1.4. Objetivos del Trabajo Final en relación a los procesos de aprendizaje de los estudiantes.	6
<b>2. Descripción sistemática de las tareas realizadas para la producción y adecuación del material didáctico a los objetivos planteados.</b>	<b>9</b>
2.1. Marco teórico.	9
2.2. Etapas para la elaboración y adecuación de las guías de ejercicios numérico-prácticos.	10
2.2.1. Trabajo de campo inicial.	10
2.2.1.1. Análisis de las guías de problemas existentes sobre el tema de los métodos de espectroscopías ópticas.	10
2.2.1.2. Entrevistas individuales semidirigidas con los docentes de QAI.	11
2.2.1.3. Grupo focal semidirigido con estudiantes que ya habían cursado QAI.	13
2.2.2. Descripción del tipo de material.	16
2.2.2.1. Definición y fundamentación de los lineamientos generales para la producción del material didáctico.	16
2.2.3. Elaboración de una primera guía de ejercicios a ser validada en clases.	18
2.2.4. Utilización en una clase de problemas de la primera guía elaborada.	18
2.2.5. Validación de la primera guía elaborada.	19
2.2.6. Producción de las tres guías de ejercicios restantes.	20
<b>3. Valoración de la guía testeada en clases y perspectivas.</b>	<b>21</b>
3.1. Valoración de la guía testeada en clases.	21
3.2. Perspectivas.	22
<b>4. Referencias.</b>	<b>23</b>
4.1. Bibliografía.	23
4.2. Fuentes documentales.	23
<b>5. Anexo.</b>	<b>24</b>

## 1. Introducción.

Este Informe Final tiene el propósito de acompañar el material didáctico denominado “Guías de problemas. Métodos de espectroscopías ópticas.” para la asignatura Química Analítica Instrumental (QAI) de la Licenciatura en Química (LQ) de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Su elaboración representa para mí mucho más que un escrito formal para la obtención del título de Especialista en Docencia Universitaria. A mis ojos, tanto el material didáctico producido como este Informe son el resultado de un recorrido de aprendizaje motivado por una pasión que llevo conmigo desde muy joven: la docencia.

Como Técnico Químico y como Licenciado en Química de la FIQ-UNL puedo decir que las ciencias exactas siempre fueron de mi interés. Pero, a la par de ellas, la enseñanza también lo fue. Trabajo desde hace más de diez años como docente particular de ciencias exactas e idiomas extranjeros, y siempre me he hecho preguntas en torno a la docencia: ¿cómo aprenden los estudiantes?, ¿qué ventajas y desventajas presentan las diferentes formas de enseñar?, ¿cómo se podría mejorar la motivación y el acompañamiento de los estudiantes en sus recorridos de aprendizaje?, entre muchas otras.

Dentro de los diferentes niveles educativos el nivel universitario siempre fue el que más me atrajo porque en él se articulan diferentes cuestiones que tienen que ver con el desarrollo de una sociedad, desde la formación de profesionales, pasando por tareas de investigación y producción de nuevos conocimientos, hasta la extensión para vincular las instituciones educativas con su entorno y sus necesidades. Todas estas actividades, así como también los contextos políticos, económicos, sociales y culturales influyen en la docencia universitaria, haciéndola sumamente compleja, lo que me parece también muy interesante.

Afortunadamente, gracias a este posgrado en Docencia Universitaria pude encontrar respuestas a mis interrogantes en torno a la enseñanza y analizar en profundidad la complejidad de la docencia en el nivel superior.

Debo admitir que en los primeros seminarios de la carrera no fue sencillo adaptarme al lenguaje propio de textos de Pedagogía, Didáctica, Sociología, Psicología, Política Educativa y otras disciplinas que aportan al campo de las Ciencias de la Educación. Empero, muchos textos fueron totalmente cautivantes para mí. Cada seminario recorrido, con sus enseñanzas, actividades y discusiones en el aula, me daba nuevos fundamentos y herramientas para formarme en mi pasión por la docencia universitaria y para (re)pensar la educación en este nivel educativo.

Luego de la presentación del Proyecto de Trabajo Final que daría lugar a este Informe, tuve la oportunidad de realizar en 2022-2023 una estancia de investigación en

Ciencias de la Educación en la Universidad de Quebec en Trois-Rivières (UQTR), Canadá, donde armé y llevé a cabo un proyecto de investigación sobre la adaptación a la carrera de Ingeniería Mecánica de la UQTR de un modelo pedagógico basado en la formación alternante universidad-ámbito laboral.

A la luz de todas mis motivaciones y experiencias en torno a la docencia, el material didáctico elaborado y este Informe Final constituyen, como dije antes, mucho más que un escrito formal. Son una cristalización de lo aprendido durante toda la Especialización y la experiencia en Canadá. Pero, también, tienen otro valor importante para mí: forman parte de la finalización de mi primer posgrado e, incluso, en una ciencia social.

---

En los siguientes párrafos se describen aspectos que considero inherentes a la elaboración de las guías de problemas sobre métodos de espectroscopías ópticas, las cuales fueron pensadas en el marco del espacio curricular Química Analítica Instrumental de la Licenciatura en Química de la FIQ-UNL. La finalidad de estas descripciones es dar un contexto que permita argumentar acerca de los objetivos de este Trabajo Final y las actividades y decisiones tomadas durante la confección del material didáctico, cuestiones que entiendo como fundamentales en este trayecto de formación docente universitaria.

## **1.1. Descripción de la situación didáctica: características de la asignatura y del grupo clase.**

### **1.1.1. La carrera de Licenciatura en Química de la FIQ-UNL y su campo profesional.**

La Licenciatura en Química de esta Facultad es una formación presencial de grado de 5 años de duración (según programa 2000R de la carrera; Facultad de Ingeniería Química, s. f.-a).

Un egresado de la carrera de LQ es un profesional que cuenta con las competencias necesarias para llevar a cabo una variedad de análisis químicos de diversas muestras, por ejemplo, alimenticias, ambientales, materias primas o productos (semi)elaborados. A partir de los resultados de análisis, un Licenciado en Química es capaz de emitir juicios de valor sobre lo analizado, tal como el cumplimiento de normativas y/o tipificaciones aplicables según el contexto de cada análisis.

El título de LQ también habilita otros dos campos profesionales de relevancia: investigación y desarrollo (I+D) en Química y docencia en los niveles educativos secundario y superior.

Todas estas vías profesionales exigen que los estudiantes de LQ aprendan contenidos tanto teóricos (conceptos, fundamentos y fórmulas) como prácticos. Lo “práctico” en esta carrera está formado por un conjunto de competencias cognitivas, que involucran la recuperación de la teoría y su activación para la resolución de ejercicios y situaciones problema, y motrices, tal como el dominio de sustancias, instrumentos y equipos de laboratorio. Por supuesto, todo este aprendizaje debe ser acompañado del desarrollo de un pensamiento crítico y una ética profesional.

### **1.1.2. La asignatura Química Analítica Instrumental de la carrera de Licenciatura en Química de la FIQ-UNL.**

La materia Química Analítica Instrumental es un espacio curricular obligatorio del primer cuatrimestre del 4º año de la carrera de LQ y posee una carga horaria total de 150 horas distribuidas a lo largo de las quince semanas de un cuatrimestre (FIQ, 2022b, s. f.-c)<sup>1</sup>. Como la mayoría de otras asignaturas de la FIQ, QAI es dictada en ambos cuatrimestres de un ciclo lectivo.

La materia está conformada por tres formatos de clases, todas de dictado semanal:

- clases de teoría, de 4 horas por encuentro, que tienen un carácter fuertemente expositivo y procuran el desarrollo teórico del programa analítico;
- clases de problemas, de 2 horas por encuentro, que proponen la resolución y discusión de ejercicios teóricos y numérico-prácticos presentes en guías de problemas;
- y clases de trabajos prácticos (TP) de laboratorio, de 5 horas por encuentro, donde se hace hincapié en el desarrollo de habilidades cognitivas y motrices fundamentales para desempeñarse en estos espacios.

Dentro de los objetivos generales de QAI está el aprendizaje de fundamentos, formas de empleo y aplicaciones de diferentes técnicas analíticas que implican el manejo de equipos complejos de laboratorio. Adicionalmente, otro objetivo es que los cursantes aprendan a analizar de forma crítica datos experimentales provenientes de las técnicas analíticas incluidas en el programa y extraer conclusiones.

Para cumplir estos propósitos de enseñanza, los tres tipos de clases (teoría, problemas y TP) se articulan entre sí. En efecto, en las clases de teoría, dictadas por el responsable de cátedra, se desarrollan los contenidos curriculares. Algunos de ellos son posteriormente retomados en las clases de problemas y de TP para su resignificación y

---

<sup>1</sup> La planificación académica de QAI y el programa de la carrera de LQ (según plan 2000R) se encuentran en el Anexo al final de este Informe (ver documentos I y II, respectivamente).

aplicación en cuestiones vinculadas a lo práctico, tal como la resolución de ejercicios de una guía de problemas o un análisis de cuantificación en laboratorio.

A diferencia de las teorías, las clases de problemas y de TP son dictadas por dos docentes, quienes se alternan a lo largo del cuatrimestre entre ambos espacios de manera tal que en cada encuentro hay sólo un docente presente. Estos tipos de clases, además de articularse con las teorías, son complementarios entre sí, pues las nociones y habilidades trabajadas en los encuentros de problemas pueden recuperarse en los TP y viceversa.

Las clases de teoría sobre un determinado tema del programa tienen lugar una semana antes que las clases de TP y de problemas que abordan la misma temática. Por su parte, las clases de TP preceden a las de problemas. Esto da lugar a que los estudiantes puedan poner en juego durante las clases de TP y de problemas los conocimientos teóricos vistos la semana precedente en las teorías. De manera similar, los cursantes pueden recuperar y aplicar en los encuentros de problemas lo trabajado en las clases de TP preliminares.

### **1.1.3. Los estudiantes de Química Analítica Instrumental.**

A nivel curricular del programa de la carrera de LQ, la asignatura QAI se ubica en el primer cuatrimestre del 4º año, perteneciendo así al conjunto de materias del ciclo superior (FIQ, 2022b). Estos espacios curriculares tienen por objetivo la enseñanza de contenidos y competencias específicas del campo profesional propio de la carrera.

Por su posición en el orden del programa, es esperado que los cursantes de QAI hayan aprendido las nociones y habilidades enseñadas en las asignaturas previas del ciclo básico e intermedio de la carrera de LQ, principalmente en aquellas donde la Química, la Física y la Fisicoquímica juegan un rol central.

Resulta interesante mencionar aquí que se registra un promedio de 5 cursantes por cuatrimestre. Estos cursan las clases de teoría, de problemas y de TP como un solo grupo, no existiendo comisiones.

### **1.1.4. Objetivos del Trabajo Final en relación a los procesos de aprendizaje de los estudiantes.**

Basándome en conversaciones con estudiantes y docentes de QAI antes de armar el Proyecto que dio lugar a este Trabajo Final, y también tomando en cuenta mis experiencias como estudiante y egresado de la carrera de LQ, en el Proyecto se tomó como hipótesis de partida que los estudiantes de QAI ven lo enseñado en cada una de las clases (teoría, problemas y TP) como contenidos atomizados, existiendo dificultades en la

resignificación de nociones teóricas (como conceptos y fundamentos) con el propósito de resolver ejercicios numérico-prácticos presentes en guías de problemas.

Además de esto, otra observación que se consideró al inicio del Proyecto fueron los inconvenientes de los cursantes para establecer puentes entre contenidos y habilidades prácticas de QAI y el ámbito profesional de laboratorio.

Estas dos problemáticas de partida estuvieron acompañadas de una tercera: el reducido tiempo del que disponen los docentes-investigadores de la cátedra de QAI, quienes, por sus obligaciones de investigación y docencia en ambos cuatrimestres de un ciclo lectivo cuentan con poco tiempo para la reflexión sobre sus prácticas de enseñanza y la adecuación consecuente del material didáctico para atender a las problemáticas descritas.

Dado que QAI procura el aprendizaje de destrezas y contenidos fundamentales para el futuro ejercicio profesional en laboratorio, se deberían atender los inconvenientes mencionados con el fin que los cursantes logren articulaciones significativas tanto entre los diferentes tipos de clases, como así también entre la materia y el ámbito de trabajo habilitado por el título.

Frente a estas problemáticas el propósito general de este Trabajo fue la creación de guías de ejercicios numérico-prácticos para la clase de problemas que mejorasen el vínculo teoría-práctica-profesión, tomando a esta triada como eje pedagógico.

El recorte curricular para la confección de este material didáctico abarcó el tema de los métodos de espectroscopía óptica, puesto que, en comparación con los otros contenidos del programa de QAI, estos métodos revisten de mayor relevancia por su versatilidad y aplicación en laboratorios de análisis o de investigación. La ventaja de centrarse en una parte del currículo permitiría destinar más tiempo a la elaboración de las guías de ejercicios, contribuyendo a su potencial idoneidad para las clases de problemas y las finalidades de este Trabajo.

Contemplando todo lo descrito hasta este punto, y con fines de claridad, se resumen a continuación los objetivos de este Trabajo:

**Objetivo general.**

- Contribuir a mejorar las articulaciones entre teoría-práctica-campo profesional de laboratorio en el tema de los métodos de espectroscopías ópticas más relevantes para el ejercicio laboral a partir de la confección de guías de ejercicios numérico-prácticos para las clases de problemas.

**Objetivos específicos.**

- Promover una recuperación y una resignificación para la práctica de los contenidos teóricos de la materia.
- Procurar un vínculo entre el ámbito profesional de laboratorio y ciertos conocimientos y habilidades prácticas de la asignatura.

En el siguiente apartado del Informe se comenzará describiendo de forma sistemática cada una de las tareas realizadas para crear el material didáctico y adecuarlo a los objetivos planteados. Luego, se presentarán ciertas valoraciones del material, y se finalizará con perspectivas para la producción de nuevo material didáctico y sugerencias dirigidas al equipo docente de QAI.

## **2. Descripción sistemática de las tareas realizadas para la producción y adecuación del material didáctico a los objetivos planteados.**

En este apartado se describen en orden cronológico las diferentes actividades llevadas a cabo para la elaboración y adecuación de las guías de ejercicios numérico-prácticos, a saber:

1°. Trabajo de campo inicial:

1°. Análisis de las guías de problemas existentes sobre el tema de los métodos de espectroscopías ópticas.

2°. Entrevistas individuales semidirigidas con los docentes de QAI.

3°. Grupo focal semidirigido con estudiantes que ya habían cursado QAI.

2°. Definición y fundamentación de los lineamientos generales para la producción del material didáctico.

3°. Elaboración de una primera guía de ejercicios a ser validada en clases.

4°. Utilización en una clase de problemas de la primera guía elaborada.

5°. Validación de la primera guía elaborada.

6°. Producción de las tres guías de ejercicios restantes.

Para cada actividad anterior se explicitarán y fundamentarán las decisiones tomadas y se detallarán los actores involucrados y los instrumentos metodológicos utilizados, entre otros aspectos relevantes.

Cabe destacar que la metodología mencionada más arriba cumple las exigencias de una Especialización en Docencia Universitaria. La misma fue pensada para la producción de un material educativo que esté correctamente situado en un contexto específico de enseñanza universitaria y que aborde su problemática, mencionada anteriormente. Por lo tanto, la metodología elegida no se corresponde a la de un trabajo de investigación convencional.

### **2.1. Marco teórico.**

Antes de detallar cada una de las etapas metodológicas de este Trabajo es conveniente realizar una aclaración sobre el marco teórico. El seleccionado para este Trabajo, acorde a las exigencias de una Especialización en Docencia Universitaria, se encuentra formado por diferentes campos:

- **Campo de la investigación cualitativa:** los aportes de esta área sirvieron para fundamentar la elección de las herramientas metodológicas de recolección de datos (por ejemplo, entrevista individual o grupo focal) y también para apoyar aspectos

vinculados al análisis de datos (como la técnica de triangulación). Los autores seleccionados fueron Gaudet y Robert (2018) y Hayashi et al. (2019).

- **Campo pedagógico-didáctico:** los aportes de autores como Edelstein (1996), Ausubel (2000) y Chevallard (1997) se utilizaron para respaldar la producción del material didáctico situado al contexto de enseñanza y sus particularidades. Además, estos aportes se emplearon también para sustentar ciertos lineamientos de la elaboración de las guías de ejercicios.
- **Campo disciplinar de la Química Analítica:** la terminología que se usó en las guías de ejercicios producidas es propia del campo disciplinar de esta Química. Asimismo, resulta importante destacar que la terminología empleada se adaptó al vocabulario que figura en los materiales didácticos de la cátedra y en la bibliografía propuesta por la misma.

## **2.2. Etapas para la elaboración y adecuación de las guías de ejercicios numérico-prácticos.**

### **2.2.1. Trabajo de campo inicial.**

#### **2.2.1.1. Análisis de las guías de problemas existentes sobre el tema de los métodos de espectroscopías ópticas.**

La primera etapa del estudio de campo fue un análisis de documentos. Se examinaron las guías de problemas de los métodos de espectroscopías ópticas utilizadas en las clases de problemas, respetando el recorte curricular elegido. Las guías seleccionadas por su relevancia para el trabajo profesional en laboratorio fueron 4: “Introducción a la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano”, “Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano”, “Fluorescencia molecular” y “Espectrometrías atómicas” (Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL., s. f.-a, s. f.-b, s. f.-c, s. f.-d)<sup>2</sup>. El orden de mención de estas cuatro guías coincide con el cronograma de la asignatura.

La aproximación para el análisis de estos documentos escritos se centró en su contenido y estructura (Gaudet y Robert, 2018). En primer lugar, cada guía fue leída rápidamente con el fin de identificar las temáticas generales de cada una de sus actividades. En segundo lugar, se examinó en profundidad cada ejercicio con el propósito

---

<sup>2</sup> Estas guías de problemas se incluyen en el Anexo al final de este Informe (ver documentos III.a., III.b., III.c. y III.d.).

de determinar los conceptos, competencias y fórmulas necesarias para la resolución. Por último, se analizaron las interrelaciones entre los diferentes problemas dentro de una misma guía. Por ejemplo, se intentó evidenciar si algunos ejercicios recuperaban nociones, habilidades o ecuaciones ya trabajadas en actividades precedentes. En este último análisis también se prestó atención al orden de presentación de los ejercicios, identificando la existencia o ausencia de un orden creciente de complejidad desde el inicio hasta el fin de la guía.

En términos generales pude detectar que las guías no siempre presentan las actividades secuenciadas según un orden lógico de complejidad creciente. Asimismo, ciertos enunciados son difíciles de comprender, por ejemplo, porque están escritos de forma compleja. También, algunos ejercicios están directamente extraídos de bibliografía, sin ninguna contextualización que considere las necesidades y particularidades de la situación didáctica de enseñanza y aprendizaje.

Este estudio del material didáctico de partida me permitió conocerlo en detalle y comenzar a pensar y reflexionar sobre la elaboración de los instrumentos metodológicos para las etapas siguientes del análisis de campo (entrevistas con docentes y estudiantes), como así también sobre la producción de las nuevas guías de ejercicios.

#### **2.2.1.2. Entrevistas individuales semidirigidas con los docentes de QAI.**

La segunda etapa del trabajo de campo consistió en entrevistas con diferentes actores del espacio curricular: sus docentes y estudiantes. En esta sección se hablará de las entrevistas con los profesores, mientras que en la sección siguiente se discutirá lo relacionado a los estudiantes. Todas estas entrevistas sirvieron como instrumentos de recolección de datos, basándose en una coconstrucción, entre el entrevistador y el/los entrevistado/s (Gaudet y Robert, 2018), de aspectos centrales para este Trabajo, tal como la forma de enseñanza en las clases de problemas.

Tomando como guía los objetivos planteados en este Informe, se armó un cuestionario<sup>3</sup> de entrevista semidirigida para charlar individualmente con los docentes encargados de las clases de TP y de problemas. La lista de preguntas se armó considerando también la información de la cual yo ya disponía sobre el funcionamiento de la cátedra, sus prácticas de enseñanza y mis experiencias vividas a lo largo del cursado de QAI.

Por un lado, la decisión de realizar entrevistas individuales se basó en la necesidad de ganar la mayor información posible sobre la relevancia de QAI para la carrera de LQ, las

---

<sup>3</sup> El cuestionario se adjunta en el Anexo al final de este Informe (ver página 1 del documento IV).

formas de dictado de sus clases, las representaciones de los docentes sobre sus estudiantes, las dificultades que los profesores encuentran durante las clases, entre otros puntos. Una entrevista individual habilita una profundización del relato del entrevistado, profundización que tal vez no se conseguiría en un grupo focal.

Por otro lado, se eligió el tipo de entrevista semidirigida ya que permite cierta flexibilidad de la lista de preguntas. En efecto, si bien la entrevista se ordena a partir de un instrumento (cuestionario) previamente confeccionado, en una entrevista semidirigida se pueden hacer preguntas adicionales para analizar en profundidad temas que surgen de forma imprevista durante la conversación (Gaudet y Robert, 2018).

Además de esta ventaja de flexibilidad, como cada entrevista semidirigida está parcialmente ajustada a un mismo cuestionario de base, la relativa homogeneidad de la información recolectada (Gaudet y Robert, 2018) ayuda a la formulación de conclusiones.

Una vez armada la guía de preguntas, los dos docentes de las clases de TP y problemas fueron debidamente invitados a las entrevistas e informados sobre los propósitos de las mismas. Asimismo, se les pidió su consentimiento para que las entrevistas virtuales a llevar a cabo a través de la plataforma Zoom puedan ser grabadas para volver a ser escuchadas en un análisis posterior.

Los encuentros a distancia tuvieron una duración aproximada de 60 minutos cada uno. Durante las conversaciones yo actué no sólo como guía de la entrevista, sino también como facilitador, de manera tal de invitar a cada entrevistado a dar más detalles sobre cuestiones que me parecían relevantes, por ejemplo, para la confección futura de las guías de ejercicios.

Con parte de la información obtenida durante estos dos encuentros, se confeccionó un segundo cuestionario<sup>4</sup> de entrevista individual semidirigida a ser empelado con el docente responsable de la asignatura, quien a su vez dicta las clases de teoría. Este nuevo cuestionario contenía algunas preguntas extraídas de la lista utilizada con los otros docentes, pero, también, contaba con otros incisos que sólo podían ser respondidos a partir de experiencia del profesor de teoría, como las interrelaciones entre las clases de teórica y las clases de problemas y TP.

El procedimiento para llevar a cabo la entrevista con el responsable de la asignatura fue similar al de las entrevistas con los otros docentes<sup>5,6</sup>.

---

<sup>4</sup> Este cuestionario se presenta en el Anexo al final de este Informe (ver página 2 del documento IV).

<sup>5</sup> Por cuestiones de organización, la entrevista con el docente responsable de QAI se realizó de forma presencial.

<sup>6</sup> Las grabaciones de las entrevistas y parte de lo recolectado de cada relato personal de los docentes se reservan como información privada porque se acordó una confidencialidad con cada uno de los entrevistados.

El análisis de las tres entrevistas consistió, primero, en responder las preguntas de los cuestionarios utilizados a partir de las voces y experiencias de cada docente. Seguidamente, se compararon las respuestas de las preguntas que se repetían en los cuestionarios. Esta triangulación de la información recolectada a partir de diferentes personas permitió dar validez a las observaciones extraídas (Hayashi et al., 2019).

A continuación, destaco algunas de ellas que consideré relevantes para mi Trabajo:

- Los cursantes no resuelven las guías de ejercicios durante las clases de problemas, sino que deben resolverlas previamente y de forma autónoma por fuera de la clase para llevarlas resueltas al encuentro con el docente. En clase se explican y aclaran las situaciones que hayan generado dificultad a los estudiantes para resolver las actividades. También durante el encuentro se discuten otras cuestiones que el profesor considere pertinentes sobre la guía y su temática central.
- Ciertos enunciados de las guías son difíciles de entender para los estudiantes, posiblemente porque los enunciados están escritos de una forma poco clara y/o muy compleja. Esto no facilita la resolución autónoma esperada por el equipo docente.
- Los ejercicios de las guías de problemas son recursos fundamentales para alcanzar ciertos objetivos de enseñanza de QAI, pues procuran el desarrollo de competencias similares a las necesarias para el trabajo profesional en un laboratorio, vinculando así la asignatura y el campo laboral.
- A esta importancia de las actividades se le suma también que algunas de ellas plantean el desarrollo de habilidades y aprendizaje de nociones requeridas para la aprobación del examen de acreditación de la asignatura, el cual es un examen final globalizador.
- Las clases de teoría presentan, de forma general, un elevado grado de profundidad en el desarrollo de temas. Esto podría ser desorientador para los cursantes en el sentido que los mismos tendrían dificultades para encontrar en sus apuntes de teoría los conceptos y fórmulas necesarias para resolver de forma autónoma las guías de problemas.

### **2.2.1.3. Grupo focal semidirigido con estudiantes que ya habían cursado QAI.**

Para tener una visión global de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el contexto de la asignatura fue necesario complementar los relatos de los docentes con los de los estudiantes que ya habían transitado la materia.

A diferencia de las entrevistas individuales con los profesores, para los estudiantes se eligió realizar un grupo focal. Se consideró que esta forma de entrevista sería más útil

que encuentros individuales porque en un grupo focal existe una sinergia (es decir, una dinámica de grupo) entre los entrevistados (Gaudet y Robert, 2018), lo que conduciría a relatos más nutritivos para este Trabajo. Además, una entrevista grupal animaría a los cursantes a hablar de forma más desinhibida en comparación con una entrevista individual dado que se encuentran acompañados por sus pares. Si bien se optó por un grupo focal, se decidió seguir trabajando con una modalidad semidirigida por los beneficios ya mencionados de flexibilidad en torno a la guía de preguntas (Gaudet y Robert, 2018).

Por recomendación de uno de los docentes de QAI, se eligió como posibles participantes del grupo focal a estudiantes que cursaron la asignatura recientemente, más específicamente, en el primer y segundo cuatrimestre del año lectivo 2022 y en el primer cuatrimestre del año 2023. Cabe mencionar que no se puso como condición de participación en el grupo focal la aprobación de la asignatura, sólo su regularización.

Se excluyó a los estudiantes que habían transitado QAI en 2021 o años anteriores porque el docente consultado advirtió que a partir del inicio del ciclo 2022 hubo una estabilidad en las condiciones de enseñanza de la asignatura, situación que lamentablemente no se pudo lograr a causa de las restricciones impuestas por la pandemia, restricciones vigentes hasta aproximadamente 2021.

El hecho de excluir a estos estudiantes y elegir centrarse en aquellos que transitaron el espacio en los últimos dos años sería beneficioso para este Trabajo, pues sus recuerdos y experiencias de cursado recientes estarían aún nítidas y serían de fácil recuperación durante el grupo focal. Otro punto positivo de la elección de estos estudiantes es que se espera que en los próximos cuatrimestres los nuevos cursantes se asemejen más a aquellos que atravesaron QAI en los últimos años.

La guía de preguntas<sup>7</sup> para el grupo focal fue confeccionada teniendo presentes las finalidades de este Trabajo, los intereses que surgieron luego de las entrevistas con los docentes y las representaciones que yo tenía hasta el momento sobre los estudiantes a ser entrevistados.

Un total de doce estudiantes<sup>8</sup> que ya habían transitado QAI fueron invitados por correo electrónico a participar de forma voluntaria en el grupo focal. En el correo se incluyó un descriptivo de los objetivos de este Trabajo, la forma de desarrollo de la entrevista y los

---

<sup>7</sup> La guía de preguntas se adjunta en el Anexo al final de este Informe (ver documento V).

<sup>8</sup> Estos estudiantes podían pertenecer a la carrera de LQ, a la de Químico Analista (QA) o a ambas. La carrera de QA es una formación de pregrado que puede ser continuada con ciertas materias de LQ para la obtención del título de grado de Licenciado en Química. En lo que respecta a la Química Analítica, el perfil profesional de ambas carreras es muy similar. La asignatura QAI es dictada por igual para ambas carreras, estando presentes en todas las clases estudiantes de las dos formaciones, es decir, no existen comisiones separadas para LQ y QA. A través de los datos del sistema de gestión estudiantil, los profesores no tienen forma exacta de saber si los cursantes están inscriptos en una o en ambas formaciones.

ejes que serían abordados a través de las preguntas (guías de problemas y clases de problemas; relaciones entre los tipos de clases de QAI; egreso de la carrera y futuro ejercicio profesional). Se incluyó también un consentimiento informado para poder grabar el audio de la entrevista, que sería vuelto a escuchar en el futuro con el fin de un análisis más detallado de lo conversado.

De los doce estudiantes contactados, sólo 3 accedieron a participar del grupo focal<sup>9,10</sup>. Los encuentros fueron realizados a través de la plataforma Google Meet y tuvieron una duración aproximada de 60 minutos. Mis roles fueron similares a los asumidos en los encuentros con los docentes: moderador y facilitador, invitando a todos los participantes a expresarse y discutir.

En la etapa de análisis de los relatos cada entrevista fue escuchada nuevamente con el objeto de responder cada uno de los incisos del cuestionario utilizado. Posteriormente, se trianguló pregunta por pregunta la información dada por los diferentes participantes con el fin de encontrar similitudes y extraer observaciones válidas (Hayashi et al., 2019).

Presento aquí algunas emergentes del análisis que me parecen interesantes remarcar:

- Un estudiante expresó que ciertos problemas de las guías de ejercicios estaban escritos de forma poco clara, lo que indica la necesidad de una reformulación para facilitar su comprensión. También en torno a las actividades algunos estudiantes consideraron que sería conveniente que los ejercicios que involucran conceptos y habilidades similares estén ordenados en las guías. Esto es, si un problema requiere un cálculo, fórmula o noción teórica determinada para su resolución, sería bueno que ésta sea introducida en una actividad precedente.
- Los estudiantes reconocieron, al igual que los docentes entrevistados, que el nivel profundo de detalle de las clases de teoría y de sus apuntes dificulta la resolución autónoma de las guías. Al consultar los apuntes teóricos, los estudiantes suponían que lo correcto era considerar un conjunto de conceptos teóricos o fórmulas complejas para poder resolver una actividad en particular, cuando en realidad sólo se necesitaba un concepto aislado o una ecuación sencilla. Esto pone de manifiesto obstáculos entre la articulación clases de teoría-clases de problemas.

---

<sup>9</sup> Por motivos de disponibilidad de tiempo de los estudiantes, se tuvieron que realizar dos entrevistas separadas: la primera fue un grupo focal con dos estudiantes y la segunda, una entrevista individual con el estudiante restante. Para ambos encuentros se usó el mismo cuestionario.

<sup>10</sup> Las grabaciones de las entrevistas y parte de lo dicho por cada estudiante se reservan como información privada dado que se acordó una confidencialidad con cada uno de los entrevistados.

- A los estudiantes les gustaría que las actividades de las guías de ejercicios se vincularan aún más con las clases de TP y con el futuro campo profesional, por ejemplo, a partir de problemas que presenten situaciones en las cuales se simulan procedimientos de análisis en laboratorio.

## **2.2.2. Descripción del tipo de material.**

### **2.2.2.1. Definición y fundamentación de los lineamientos generales para la producción del material didáctico.**

Gracias a las tareas explicadas previamente se pudo indagar sobre las particularidades de la forma de enseñanza en las clases de problemas, la articulación entre los tipos de clases de QAI, las realidades, experiencias y obstáculos de docentes y estudiantes, y el material didáctico empleado, entre otros puntos.

Estos múltiples aspectos al entrecruzarse en el contexto de la asignatura crean un entramado complejo al cual el material didáctico debe adecuarse para responder a las problemáticas constatadas en torno a los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

En este sentido, la elaboración de las guías de ejercicios numérico-prácticos fue una construcción metodológica. La autora Gloria Edelstein (1996) sostiene que toda construcción de este tipo debe atender a varios factores, como la naturaleza de la disciplina y de los contenidos a enseñar, las especificidades de las situaciones y contextos de enseñanza, y también de los actores que intervienen en la educación, tanto estudiantes como docentes.

Edelstein (1996) señala además que la metodología de enseñanza de un docente está influenciada no sólo por las representaciones de éste sobre el campo disciplinar, sino también por sus experiencias y trayectorias. En tal sentido, para la elaboración de las nuevas guías, en tanto que producción propia, tuve en consideración mis posturas acerca de la Química Analítica, su enseñanza y su fin, posturas debajo de las cuales subyacen mis vivencias como estudiante de QAI, como profesional de la Química y como especializando en Docencia Universitaria.

Considerando todo lo descrito hasta este punto – la información proveniente de los análisis de documentos y entrevistas, las problemáticas a abordar y los objetivos de este Trabajo – elaboré las guías de ejercicios de acuerdo con los siguientes lineamientos generales:

- **Redacción clara de enunciados:** para facilitar su comprensión por parte de los estudiantes y, en consecuencia, favorecer el trabajo autónomo de ellos con las guías antes de las clases de problemas. Decidí que esta claridad debería estar presente

tanto en la elaboración de nuevos ejercicios, como también en la adaptación y contextualización de enunciados provenientes de las guías de problemas originales o de la bibliografía propuesta por la asignatura.

- **Incorporación de introducciones que den contexto:** pensé los enunciados de manera tal que cada uno cuente con una introducción que aporte contexto. Esto permitiría a los cursantes poder comprender mejor la situación a abordar en la actividad, lo que a su vez aportaría también una mayor claridad.
- **Explicación de cuestiones teóricas:** en determinadas actividades consideré pertinente presentar explicaciones precisas de nociones teóricas vinculadas a la actividad con la intención que los estudiantes pudieran situar el ejercicio dentro de los múltiples contenidos vistos en clases de teoría. En particular, este lineamiento lo pensé para mejorar la vinculación entre las clases de teoría y las de problemas, pero también es un lineamiento que visa a aportar más claridad.
- **Ordenamiento de actividades según contenidos y habilidades a trabajar:** dentro de cada guía procuré presentar los ejercicios bajo un orden determinado: si una actividad B necesitara para su resolución una noción o competencia determinada ya introducida y trabajada en una actividad A, entonces la actividad A precedería a la B. Este ordenamiento se fundamenta en que el uso de una noción o competencia en la primera actividad permitiría que la misma pase a formar parte, o sea reforzada, en la estructura cognitiva previa de los estudiantes (Ausubel, 2000), facilitando su recuperación y activación posterior para el abordaje de la segunda actividad. En este punto es interesante resaltar también otra cuestión: la constitución del contrato didáctico, institucionalizándose los roles del docente y de estudiantes. En la dialéctica de la enseñanza, como sostiene Chevallard (1997), el carácter de “nuevo” de una habilidad o concepto a trabajar, introducido en una primera actividad, permite que se establezca el contrato didáctico con el cursante. Luego, como se describió antes, una vez abordado el concepto o habilidad, éste pasaría a formar parte de algo “antiguo”, pudiendo ser identificado por los estudiantes dentro de sus conocimientos previos, lo que beneficiaría su recuperación y facilitaría su utilización posterior.
- **Elección de contenidos y habilidades a trabajar según exigencias del examen de acreditación:** al igual que en las guías originales, las nociones y competencias a trabajar en las nuevas guías las seleccioné con el propósito que los cursantes alcancen el nivel necesario para la aprobación del examen final. En este sentido no sólo incorporé ejercicios numérico-prácticos, sino también actividades que procuran el abordaje y análisis de cuestiones teóricas.

- **Vínculo de las actividades con las clases de TP o situaciones del campo profesional de laboratorio:** para favorecer estas relaciones incorporé, por mencionar sólo algunos elementos, esquemas que simulen tratamientos de muestras para análisis en laboratorios, espectros y gráficas vinculadas al trabajo experimental con las técnicas analíticas de interés, y situaciones que necesitan un tratamiento crítico de datos numéricos normalmente encontradas en laboratorios. Algunos de estos elementos fueron tomados o adaptados de la bibliografía propuesta por la cátedra y de artículos científicos sobre Química Analítica. Esto me permitió responder a una vigilancia epistemológica que todo docente debería realizar sobre la disciplina a enseñar.
- **Incorporación de resultados de ejercicios:** esto lo hice sobre todo con los ejercicios numéricos con el propósito que los estudiantes puedan autocorregirse luego de cada resolución y buscar errores en el caso de no llegar al resultado esperado.
- **Incorporación de comentarios dirigidos a los docentes de las clases de problemas:** al final de cada guía adjunté un pequeño anexo con comentarios sobre diferentes cuestiones, pero haciendo hincapié en las intencionalidades de aprendizaje de cada ejercicio y en el orden e interrelaciones de las actividades dentro de una misma guía. Además, incluí las respuestas a algunos incisos para orientar a los docentes en lo que sería esperado que respondan los estudiantes. Toda la información contenida al final de las guías la escribí con la finalidad de guiar y dar recomendaciones a los profesores para el uso del nuevo material didáctico.

### **2.2.3. Elaboración de una primera guía de ejercicios a ser validada en clases.**

La primera guía que decidí elaborar para una validación en clases fue la de “Espectrometrías atómicas” porque es la guía del recorte curricular que se aborda por último en las clases de problemas. Esto me permitió aprovechar el tiempo disponible para un armado minucioso siguiendo los lineamientos anteriores. Además, esto habilitó que la guía fuera corregida por un docente de QAI para su puesta a punto antes de su uso.

### **2.2.4. Utilización en una clase de problemas de la primera guía elaborada.**

La nueva guía de ejercicios sobre el tema “Espectrometrías atómicas” fue probada en una clase de problemas para una primera validación.

Desde la cátedra de QAI se les informó a los cursantes del segundo cuatrimestre del año lectivo 2023 sobre el motivo del uso de esta nueva guía. Este aviso se transmitió con anterioridad a la clase de problemas. Además, antes del encuentro, yo mantuve una charla con el docente que iba a dictar la clase para comentarle sobre la forma en que la guía podría ser empleada y sobre aspectos a los cuales me gustaría que prestara atención durante la clase. Las observaciones sobre estos aspectos serían una valiosa retroalimentación acerca de la utilidad del material.

Es importante mencionar aquí que en la clase donde la guía se probó hubo una asistencia perfecta, estando presentes los ocho estudiantes inscriptos<sup>11</sup>.

### **2.2.5. Validación de la primera guía elaborada.**

La validación de la nueva guía de “Espectrometrías atómicas” testeada en clases fue realizada a través de dos instrumentos diferentes: uno que abarcara las observaciones del docente que usó la guía en clases y otro que recuperara las valoraciones de los estudiantes que emplearon dicha guía. Cabe destacar que esta validación no perseguía fines cuantitativos. Sus propósitos eran, por un lado, evidenciar si era necesario modificar los lineamientos descritos antes de elaborar las tres guías restantes y, por otro lado, reflejar si me había aproximado al cumplimiento de los objetivos del Trabajo.

El primer instrumento de validación utilizado fue una guía de preguntas<sup>12</sup> confeccionada para una entrevista individual semidirigida con el docente correspondiente. Las preguntas preparadas apuntaban a recuperar en profundidad aspectos positivos y negativos en torno al uso de la nueva guía y sugerencias para la elaboración de las guías restantes, entre otros. La flexibilidad de una entrevista semidirigida me permitiría abordar cuestiones no cubiertas en la lista de preguntas preparada (Gaudet y Robert, 2018).

El instrumento de recolección de datos fue utilizado en una reunión virtual con el docente sobre la plataforma Zoom, de unos cuarenta minutos de duración. Esta entrevista no fue grabada porque el cuestionario a responder, al ser reducido, facilitaba la toma de notas en profundidad en el momento<sup>13</sup>.

El segundo instrumento de validación se empleó frente a los ocho estudiantes que hicieron uso de la nueva guía en el segundo cuatrimestre del año lectivo 2023. Este instrumento consistió en un formulario en línea de Google<sup>14</sup>. Si bien podría haberse

---

<sup>11</sup> Al igual que sucedió con los estudiantes entrevistados anteriormente, los inscriptos en este cuatrimestre podían pertenecer a las de carreras de LQ, QA o ambas.

<sup>12</sup> Esta guía se incluye en el Anexo al final de este Informe (ver documento VI).

<sup>13</sup> Parte de lo dicho por el docente se reserva como información privada dado que se acordó una confidencialidad entre ambas partes.

<sup>14</sup> El formulario se adjunta en el Anexo al final de este Informe (ver documento VII).

realizado un grupo focal, a causa de limitaciones de tiempo se consideró más conveniente un formulario que podía responderse de manera asincrónica. Los ejes de las consignas del instrumento fueron tres: el trabajo con la guía antes de la clase de problemas, el trabajo con la guía durante la clase y las opiniones personales de los cursantes sobre el material didáctico.

Luego de finalizar el cursado del segundo cuatrimestre, se contactó a los estudiantes por correo electrónico para invitarlos a responder el formulario en cuestión de manera voluntaria y anónima. Se decidió enviar esta invitación luego del fin del cuatrimestre ya que en ese momento los estudiantes tendrían menos obligaciones académicas y, por lo tanto, más tiempo libre para aportar sus valoraciones.

Lamentablemente sólo dos de los ocho cursantes completaron el formulario, incluso luego de haberlos recontactado a todos ellos para enviarles nuevamente la invitación. En el análisis posterior de las valoraciones obtenidas, las respuestas de los dos cursantes fueron comparadas.

Las retroalimentaciones del docente y de los estudiantes constituyeron un insumo muy útil para la confección de las guías de ejercicios restantes. Los resultados principales de estas valoraciones se presentan en el siguiente apartado (“3. Valoración de la guía testeada en clases y perspectivas.”) de este Informe.

#### **2.2.6. Producción de las tres guías de ejercicios restantes.**

Las valoraciones surgidas en la etapa precedente permitieron nutrir la construcción metodológica de las tres guías que quedaban por elaborar sobre el tema de las espectroscopías ópticas: “Introducción a la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano”, “Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano” y “Fluorescencia molecular”.

Con base en las retroalimentaciones, decidí seguir haciendo énfasis en la claridad de los enunciados, la inclusión de explicaciones teóricas, el ordenamiento de los ejercicios según nociones y competencias abordadas, el vínculo de las actividades con situaciones del campo profesional de laboratorio y la inclusión de resultados de ejercicios numéricos. Todos estos aspectos fueron positivos para el trabajo del docente y de estudiantes con la primera guía validada.

Por último, se debe destacar que un docente de la cátedra de QAI estuvo encargado de corregir y aportar sugerencias a cada una de las tres guías confeccionadas. Luego de esta corrección se pudo contar con la versión final de cada guía, las cuales están adjuntadas a este Informe junto con la primera.

### **3. Valoración de la guía testeada en clases y perspectivas.**

#### **3.1. Valoración de la guía testeada en clases.**

La validación de la guía de problemas de “Espectrometrías atómicas” arrojó resultados positivos.

De la entrevista con el docente surge un primer punto interesante a destacar: la claridad de los enunciados y la incorporación de resultados de algunos ejercicios permitió a los estudiantes resolver ciertas actividades de forma autónoma por fuera de la clase de problemas, principalmente las actividades que involucraban cálculos de cuantificación de sustancias. A su vez, esto dio lugar a una mejora de la gestión del tiempo de la clase. En efecto, como los cursantes no necesitaron explicaciones del docente para resolver los problemas que trabajaron por su cuenta, el tiempo de la clase pudo destinarse para discutir y analizar en profundidad otros asuntos, tal como cuestiones teóricas abordadas en algunos ejercicios.

En vínculo con esto último, el docente valoró también como positivo la inclusión de explicaciones teóricas en los enunciados. Esto le sirvió para reforzar contenidos vistos en las clases de teoría y que se espera que los estudiantes manejen para la clase de problemas, como por ejemplo la diferencia conceptual entre la espectroscopía de absorción atómica y la de emisión atómica.

Las valoraciones de los dos párrafos anteriores ponen de manifiesto cómo el material didáctico producido pudo contribuir a mejorar la vinculación entre las clases de teoría y las de problemas.

En lo que concierne a los estudiantes que utilizaron la guía elaborada, la valoración también fue positiva. Ellos dieron una buena calificación no sólo a la claridad de los enunciados, sino también a las introducciones que daban contexto para situarse frente al problema a resolver y al ordenamiento de las actividades según contenidos y habilidades a trabajar. Adicionalmente, destacaron que la guía les permitió entender mejor la teoría de las espectrometrías atómicas.

Otra observación interesante para resaltar es que, según los estudiantes, los contenidos y métodos de cálculo abordados en la guía se asemejaron a los necesarios para los TP de las espectrometrías atómicas. En torno a lo práctico, uno de los estudiantes también encontró positivo que haya dos problemas que aborden procedimientos de análisis en laboratorio (ejercicios 3 y 4 de la guía).

Las apreciaciones en el párrafo precedente permiten ver cómo la guía ayudó a mejorar la interrelación entre la asignatura y el campo profesional de laboratorio.

Todas estas valoraciones provenientes de actores del espacio curricular de QAI me habilitan a decir que el material didáctico, surgido de la construcción metodológica situada en el contexto particular de la cátedra, responde a las problemáticas constatadas y, por lo tanto, permite aproximarse al cumplimiento de los objetivos de este Trabajo.

### **3.2. Perspectivas.**

La implementación durante los próximos cuatrimestres de las cuatro guías elaboradas dará lugar a nuevas observaciones sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje que se sitúan en las clases de problemas. Estas constataciones podrán ser tenidas en cuenta junto con los análisis presentados en este Informe para la elaboración de nuevo material didáctico que se centre en otros ejes temáticos de QAI. En particular, se recomienda dar prioridad a la confección de nuevas guías de ejercicios sobre los métodos electroquímicos, pues, de acuerdo a lo hablado con los estudiantes que ya transitaron el espacio, constituyen los métodos de análisis más difíciles de comprender.

También en relación con las guías me gustaría mencionar para el equipo docente de QAI un punto vinculado a cómo los cursantes trabajaron con las mismas. Los estudiantes que respondieron el formulario en línea indicaron que hicieron una resolución no tan detallada de cada uno de los problemas. Posiblemente esto se deba a cuestiones de administración de tiempo o bien, a que los cursantes prefieren hacer una resolución inicial que luego pueda ser profundizada y complementada con comentarios aportados por el docente en clase, comentarios que muchas veces evidencian las formas de resolución consideradas válidas y que los profesores esperan en el examen final de acreditación.

Todo el proceso de elaboración del material didáctico, que involucró tanto a docentes como a estudiantes de QAI, me permitió comprender la necesidad de repensar los modos de trabajo al interior de la cátedra y así aportar la sugerencia de rever el material utilizado en las clases de teoría. Esto podría ayudar a los estudiantes en identificar los tópicos más relevantes del programa, no sólo para facilitar su recuperación y resignificación en las clases de problemas y de TP, sino también para la orientación en el estudio hacia el examen final de acreditación.

Adicionalmente, me gustaría destacar que el proceso de elaboración de nuevas guías de ejercicios me permitió poder trazar ciertas relaciones entre la asignatura QAI y otros espacios curriculares de la carrera de LQ, abordando al mismo tiempo la problemática de las interrelaciones entre los diferentes espacios de QAI (teoría, problemas y TP) y su relevancia para el futuro ejercicio profesional.

Como perspectiva de cierre, este Trabajo podrá ser insumo de partida o nutrir trabajos de investigación en torno a la enseñanza de la Química en contexto universitario.

## 4. Referencias.

### 4.1. Bibliografía.

- Ausubel, D. P. (2000). Resumen de la teoría de la asimilación sobre el aprendizaje y la retención de carácter significativo. En *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*. (pp. 25–50). Ediciones Paidós.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. (2.<sup>a</sup> ed.). Aique.
- Edelstein, G. (1996). Un capítulo pendiente: El método en el debate didáctico contemporáneo. En A. W. De Camilloni, M. C. Davini, G. Edelstein, E. Litwin, M. Souto, & S. Barco (Eds.), *Corrientes didácticas contemporáneas* (pp. 75-90). Paidós.
- Gaudet, S., & Robert, D. (2018). Chapitre 4: Choisir des outils pour réaliser un terrain de recherche. En *L'aventure de la recherche qualitative: Du questionnement à la rédaction scientifique* (pp. 81-121). Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Hayashi, P., Abib, G., & Hoppen, N. (2019). Validity in Qualitative Research: A processual approach. *The Qualitative Report*, 24(1), 98-112.

### 4.2. Fuentes documentales.

- Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.-a). *Guía de problemas: Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano*.
- Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.-b). *Guía de problemas: Espectrometrías atómicas*.
- Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.-c). *Guía de problemas: Fluorescencia molecular*.
- Cátedra de Química Analítica Instrumental. FIQ. UNL. (s. f.-d). *Guía de problemas: Introducción a la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano*.
- Facultad de Ingeniería Química. (s. f.-a). *FIQ / Carreras / Licenciatura en Química*. <https://fiq.unl.edu.ar/vivilafiq/licenciatura-en-quimica/>.
- Facultad de Ingeniería Química. (2022b). *Licenciatura en Química – Plan 2000R*.
- Facultad de Ingeniería Química. (s. f.-c). *Planificación académica - Química Analítica Instrumental*.

## 5. Anexo.

Los documentos que constituyen este Anexo están almacenados en una carpeta de Google Drive a la cual se puede acceder a partir del siguiente vínculo:

[https://drive.google.com/drive/folders/1EMSofIsVtTBz0xTjRnthEQqWpSk5jTG?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1EMSofIsVtTBz0xTjRnthEQqWpSk5jTG?usp=drive_link)

Dado que se trata de una carpeta de acceso privado, se deberá solicitar el ingreso luego de hacer clic en el *link*.

Dentro de la carpeta se incluyen los siguientes documentos:

- I. Planificación académica – Química Analítica Instrumental.
- II. Licenciatura en Química – Plan 2000R (programa de la carrera).
- III. Guía de problemas analizadas para el estudio de campo.
  - a. Introducción a la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano.
  - b. Aplicaciones de la espectroscopía molecular UV-vis e IR-cercano.
  - c. Fluorescencia molecular.
  - d. Espectrometrías atómicas.
- IV. Cuestionarios empleados en las entrevistas individuales semidirigidas con los docentes.
- V. Cuestionario empleado en el grupo focal semidirigido con los estudiantes que ya habían cursado QAI.
- VI. Cuestionario empleado en la entrevista individual semidirigida con el docente que validó la primera guía de ejercicios elaborada.
- VII. Formulario enviado a estudiantes que utilizaron la primera guía de ejercicios elaborada.