

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA**



**Trabajo Final Integrador**

**Año 2025**

**Título:** Propuesta de enseñanza basada en el empleo de un simulador de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), como complemento de las actividades prácticas de la asignatura Química Analítica Instrumental

*Autor: Christian Eduardo Byrne*

Directora: Mg. Verónica Mancini

Codirectora: Esp. Lucrecia Gallo

## INDICE

<b>Resumen</b> .....	<b>4</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>Capítulo 1: Contexto y características de la experiencia</b> .....	<b>6</b>
1.1 Acerca de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP.....	6
1.2 Las actividades de enseñanza en la cátedra de Química Analítica Instrumental.....	11
1.3 Empleo de programas de simulación como estrategia didáctica para la enseñanza de actividades experimentales en química.....	14
1.4 Fundamentos de HPLC.....	16
1.5 Empleo de simuladores de HPLC.....	19
1.6 Las actividades prácticas de HPLC en la asignatura Química Analítica Instrumental.....	22
1.7 Objetivos del Trabajo Final Integrador.....	23
<b>Capítulo 2: Perspectivas conceptuales</b> .....	<b>25</b>
2.1 Las prácticas de enseñanza.....	25
2.2 La simulación como método de enseñanza.....	33
2.3 Innovación curricular, nuevas tecnologías y programas de simulación.....	37
2.3.1 Curriculum e innovación.....	37
2.3.2 Procesos de innovación basados en nuevas tecnologías.....	38
2.3.3 Integración de simuladores en los planes de estudio.....	42
2.4 Bases teóricas del aprendizaje basado en simulación.....	43
2.4.1 La teoría de la experiencia de John Dewey.....	43
2.4.2 Los aportes del constructivismo.....	44
2.4.3 La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb.....	46
2.4.4 Otros aportes teóricos.....	51
<b>Capítulo 3: Diseño de la innovación propuesta</b> .....	<b>53</b>
3.1 Información introductoria.....	53
3.2 Experiencias concretas de simulación en un escenario grupal, guiadas por un docente.....	54
3.3 Evaluación.....	61
3.3.1 El carácter integral de la evaluación.....	61
3.3.2 Evaluación de los conocimientos adquiridos.....	62

3.3.3 Evaluación de las actividades realizadas con el simulador.....	66
<b>Capítulo 4: Conclusiones finales.....</b>	<b>68</b>
4.1 Acerca de las ventajas asociadas al empleo de un simulador de HPLC.....	68
4.2 Acerca del cumplimiento de los objetivos planteados.....	69
4.3 Acerca de los resultados esperados.....	70
4.4 Acerca de la Especialización en docencia universitaria.....	71
<b>Bibliografía.....</b>	<b>72</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>81</b>

## Resumen

La asignatura Química Analítica Instrumental integra el quinto semestre de varias carreras de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata. Uno de los contenidos más relevantes contemplados en su respectivo programa es la cromatografía líquida de alta eficiencia (*high performance liquid chromatography*, HPLC), una técnica analítica muy poderosa para la separación, identificación y cuantificación de los distintos compuestos presentes en una mezcla. Tiene una amplia gama de aplicaciones en los campos de la química analítica, bioquímica, industria farmacéutica, ciencia forense, contaminación ambiental, industria e investigación alimentaria, entre otras múltiples áreas. Existe un conjunto de inconvenientes de orden práctico como el costo del equipamiento e insumos, el tiempo relativamente extenso desde el punto de vista académico que requieren los ensayos, y la complejidad instrumental que involucra un manejo por parte de personal especializado, que dan lugar a que el uso de programas de simulación sea una buena alternativa a la hora de estudiar los conceptos fundamentales de esta técnica y cómo impactan las diversas variables en una determinada separación cromatográfica. En el presente trabajo se propone el empleo del simulador gratuito *Practical HPLC simulator v1.0* como complemento de las actividades prácticas de HPLC realizadas en la cursada regular de la materia. Para definir la secuencia de actividades se recurre a la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb como marco conceptual principal. De este modo, la secuencia incluye una sesión informativa previa en donde se describe el uso y las potencialidades del simulador, una serie de experiencias concretas de simulación en un escenario grupal, guiadas por un docente, y una evaluación de los conocimientos adquiridos que incluye la resolución de una serie de situaciones problemáticas de manera tanto individual como grupal. Se estima que esta implementación posibilitará a nuestros alumnos aplicar en situaciones reales concretas los diversos aspectos teórico-prácticos estudiados durante la cursada, afianzando conceptos y desarrollando estrategias para resolver problemas.

## Introducción

El presente Trabajo Final Integrador (TFI), desarrollado en el marco de la carrera de Especialización en Docencia Universitaria, involucra una propuesta de innovación basada en el empleo de un simulador de cromatografía líquida de alta eficiencia (*high performance liquid chromatography*, HPLC), la cual tiene por finalidad complementar las actividades prácticas de este tópico en la cátedra Química Analítica Instrumental de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

El Trabajo se encuentra organizado en 4 capítulos.

En el Capítulo 1 se describe el contexto que rodea esta innovación, enmarcada dentro del *habitus* de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP en general y en la cátedra de Química Analítica Instrumental en particular. Se describen también cuales son los fundamentos de una separación por HPLC, qué inconvenientes encontramos para realizar actividades prácticas de HPLC con fines pedagógicos y como podemos superar estos obstáculos de orden práctico mediante la utilización de un simulador. Se incluyen, además, tanto el objetivo general como los objetivos específicos del TFI.

En el Capítulo 2 se describen las diversas perspectivas teóricas sobre las que se sustenta el TFI. Se aborda el concepto de prácticas de la enseñanza, y específicamente, se definen cuestiones relacionadas con la simulación como método de enseñanza. Se describen los diversos aspectos del currículum y se hace especial hincapié en los procesos de innovación curricular basados en nuevas tecnologías. Para concluir, se discuten e integran los aportes conceptuales de varios autores con el fin de establecer las bases teóricas del aprendizaje basado en simulación.

En el Capítulo 3 se describe el diseño de la innovación propuesta, la cual contempla una sesión informativa previa, experiencias concretas de simulación en un escenario grupal y actividades de evaluación, tanto de los conocimientos adquiridos como de las actividades llevadas a cabo con el simulador.

Por último, en el Capítulo 4 se abordan las reflexiones finales sobre las tareas propuestas, incluyendo los resultados esperados de acuerdo a experiencias previas de otros investigadores que han empleado simuladores en el marco de la enseñanza universitaria.

## **Capítulo 1: Contexto y características de la experiencia**

### **1.1 Acerca de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP**

El siguiente trabajo se encuentra enmarcado en la cátedra de Química Analítica Instrumental (QAI), asignatura que integra el quinto semestre de las carreras de Licenciatura en Bioquímica, Farmacia, Licenciatura en Biotecnología y Biología Molecular, Licenciatura en Ciencia y Tecnología Ambiental, y Licenciatura en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. La misma se halla dentro del área curricular comprendida por el Departamento de Química de la Facultad, y dentro de él en la división Química Analítica, área Química Analítica Instrumental.

De acuerdo con el reconocido profesor e investigador mexicano Ángel Díaz Barriga (2015)

cada institución de educación se encuentra atravesada por una historia particular, en esta historia se han institucionalizado una serie de valores, formas de relación entre autoridades y académicos y entre cada uno de los integrantes del personal académico y los grupos informales que se han ido conformando en el trabajo cotidiano (p. 37).

Por este motivo, en los siguientes párrafos se exponen los acontecimientos históricos más importantes de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, haciendo especial hincapié en las características de las reformas más recientes. La Universidad Provincial establecida en 1897, que estaba integrada por cuatro Facultades (Derecho, Ciencias Médicas, Química y Farmacia y Ciencias Fisicomatemáticas), constituyó, junto con la Facultad de Agronomía y Veterinaria, el Museo de Ciencias Naturales y el Observatorio Astronómico, la base de la Universidad Nacional de La Plata creada por Joaquín V. González en 1905. La hasta entonces Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Provincial pasa a ser denominada Escuela de Química y Farmacia y su sede fue el Museo de Ciencias Naturales, que había sido creado en 1884 por Francisco P. Moreno. Los títulos que otorgaba eran los de Perito Químico, Farmacéutico y Químico Industrial, a los que tres años más tarde se agrega el de Doctor en

Química y Farmacia. La Escuela contaba con laboratorios de Química Inorgánica, Química Orgánica, Química Analítica y Toxicología, los que funcionaban en la planta baja del Museo (Caffini, 2019). En 1919, la hasta entonces Escuela de Química y Farmacia pasa a denominarse Facultad de Ciencias Químicas, y al año siguiente se le asigna como nueva sede lo que hasta entonces había sido el Internado N°1 del Colegio Nacional, edificio denominado actualmente Enrique Herrero Ducloux en homenaje a quien fue su primer Decano, que también fue el primer Doctor en Química formado en el país (Caffini, 2019; Capparelli, 2024). El nuevo nombre duró poco tiempo, ya que a partir de 1923 la Facultad se convierte en la Facultad de Química y Farmacia, denominación que se mantendrá hasta el año 1968 (Caffini, 2019; Capparelli, 2024).

Durante el Decanato del Dr. Carlos Sagastume (1926-1930) se plantea la necesidad de contar con laboratorios para el funcionamiento de las cátedras, así como de un anfiteatro. Es así que en 1930 se coloca la piedra fundamental del Edificio de Química, que se inaugura seis años más tarde. Previamente, en 1924 se concreta la reforma de los planes de estudio, agregando a las carreras de Farmacia y a los Doctorados en Química y en Química y Farmacia ya existentes, el Doctorado en Bioquímica y Farmacia. En 1943 y también por iniciativa del Dr. Sagastume se crea el Departamento de Investigaciones Aplicadas, argumentando que "la Universidad sostenida por el pueblo debe forzosamente colaborar con él y esa colaboración se traduce en la obra que la Universidad pueda hacer sirviendo al Estado" (Caffini, 2019).

En 1953 se produce la modificación de los planes de estudio y el Doctorado en Ciencias Químicas se organiza en diferentes orientaciones, a saber: Química Biológica, Química Analítica, Química Tecnológica, Química Orgánica y Fisicoquímica y Química Nuclear. Por ese entonces la Facultad ya estaba organizada en Departamentos, que coordinaban la actividad docente y la incipiente investigación que se desarrollaba en sus respectivos ámbitos. Para 1963 vuelven a modificarse los planes de estudio. Las carreras de Farmacia y de Bioquímica se separan y esta última se divide en dos orientaciones: Bioquímica Clínica y Bioquímica Industrial. Por su parte, la carrera de Química se reorganiza en cuatro orientaciones: Fisicoquímica, Química Orgánica Superior, Química Analítica y Tecnología Química (Caffini, 2019).

En 1968 concluye la historia de la Facultad de Química y Farmacia y comienza la de la Facultad de Ciencias Exactas, que surge como consecuencia de la incorporación de los Departamentos de Física y de Matemática separados de la entonces Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, que a su vez cambia su nombre por el de Facultad de Ingeniería (Capparelli, 2024). La nueva Facultad de Ciencias Exactas cuenta entonces con las carreras que existían en la Facultad de Química y Farmacia (Farmacia, Bioquímica y Química, en sus diversas orientaciones) a las que se agregan las que venían de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas: las Licenciaturas en Física y en Matemáticas y una carrera muy joven, la de Calculista Científico, que en 1986 pasaría a ser Licenciatura en Informática, y cuyo crecimiento provoca, a fines del siglo pasado, la independización y subsecuente creación de la actual Facultad de Informática. Con el fin de responder a nuevas necesidades profesionales, entre los años 2000 y 2001 la Facultad de Ciencias Exactas suma nuevas carreras: la Licenciatura en Ciencia y Tecnología de Alimentos, la Licenciatura en Biotecnología y Biología Molecular, la Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental, la Licenciatura en Óptica Ocular y Optometría, y la Licenciatura en Física Médica (Caffini, 2019). Por otro lado, en el año 2001 se llevó a cabo un proceso de modificación de la estructura de los planes de estudio de las diferentes carreras, y a la vez se generó una estructura básica común para la mayoría de ellas, denominada Ciclo Básico de Exactas (CIBEX). Para analizar los cambios y llevar a cabo el nuevo diseño se conformaron comisiones especiales de plan de estudio por cada departamento, siendo los planes vigentes al 2001 el primer insumo de su trabajo. Los documentos elaborados *a posteriori* reflejaron varios años de trabajo con discusiones y consultas a todos los claustros. Finalmente se alcanzó un diagnóstico que permitió consensos y propuestas de modificación que apuntaron en una misma dirección. Los principales problemas asociados a los planes en vigencia se resumieron en los siguientes puntos (Lorenzo, 2011):

- ✓ Lapsos prolongados entre la aprobación de la cursada de una materia y el examen final de la misma.
- ✓ Excesivo número de materias simultáneas, que originaban una dispersión de tiempo y esfuerzo en detrimento de la eficiencia del aprendizaje.
- ✓ Desorganización horaria, que generaba un excesivo tiempo de permanencia diaria en la facultad, dejando escaso tiempo disponible para el estudio.

- ✓ Desorganización horizontal y vertical de contenidos que provocaba que los mismos se repitieran más de una vez.
- ✓ Duración efectiva de la carrera mucho mayor que el lapso esperado para completar la educación universitaria.

De acuerdo con las problemáticas detectadas y buscando superar estas dificultades, se propusieron modificaciones en la estructuración del plan nuevo y también una modificación en la metodología de enseñanza que superara el formato vigente (Lorenzo, 2011). Los principales cambios consensuados introducidos a partir de 2001 fueron:

- ✓ Implementación de un sistema que integra los cursos de trabajos prácticos y clases teóricas, permitiendo tanto a los docentes (profesores y auxiliares) como a los alumnos un intercambio más activo, dirigido a mejorar la enseñanza y el aprendizaje.
- ✓ Duración semestral de las materias.
- ✓ Disminución del número de materias posibles de cursar por semestre y la carga horaria de las mismas, propendiendo a facilitar el estudio de las asignaturas, concentrando la dedicación en un número menor de temas.
- ✓ Establecimiento de un sistema de promoción para aprobar el examen final dejando además la opción de aprobar sólo la cursada y luego rendir final.
- ✓ Organización de las cursadas en bandas horarias (para el CIBEX).

En una reforma posterior, en la década de 2010, se introdujeron a su vez nuevas modificaciones, entre ellas:

- ✓ Se crearon orientaciones. Por ejemplo, en la carrera de Bioquímica se puede optar por una orientación Clínica, de Salud Pública o Investigación. Esto va de la mano de la creación de materias optativas para cada orientación.
- ✓ Se crearon nuevas carreras para satisfacer la demanda de personal entrenado en esos campos.
- ✓ Se crearon tecnicaturas cortas, articuladas con el total de la acreditación.
- ✓ Se estableció un reglamento para alumnos trabajadores o con familiares a cargo.

Todas estas medidas fueron por lo general bien recibidas por la comunidad de Exactas, ya que se trataron de decisiones consensuadas. Sus efectos fueron los esperados: disminuyó el tiempo de graduación, los alumnos pudieron adecuarse

a bandas horarias y se ofrecieron carreras o materias optativas para satisfacer nuevas demandas en el campo profesional (Lorenzo, 2011).

Uno de los puntos más importantes a destacar en el desarrollo histórico de la Facultad de Ciencias Exactas es la marcada relación de la docencia con la investigación, lo que da lugar a que aún hoy el sistema científico ordene la mayor parte de la actividad en la Facultad. El docente de Exactas históricamente ha tenido un papel de docente-investigador, lo que sin duda ha orientado permanentemente los distintos currículos hacia una orientación científica. Esto también se evidencia en un fuerte sesgo en las temáticas tratadas. Si bien se han realizado varias reformas y cambios de planes tendientes a atenuar de alguna manera este excesivo perfil orientado a la investigación, aún hay mucho que reflexionar acerca de cuál sería la mejor manera de vincular los contenidos a la práctica profesional. Por otro lado, es frecuente observar en diversas asignaturas de la Facultad de Ciencias Exactas una dicotomía entre la teoría y la práctica, lo cual propicia un tratamiento compartimentado y descontextualizado de los contenidos, así como una integración deficiente de los mismos. En este sentido, Polanco Zuleta (2011) señala:

Hoy en día la distinción entre “teoría”, “prácticas de laboratorio” y “problemas” es aceptada como algo natural en la enseñanza de las ciencias, hasta el punto de que, en los cursos universitarios, dichas actividades son impartidas, muy a menudo por distintos profesores. Sin embargo, aceptar esta distinción puede resultar fatal para la enseñanza de una ciencia en la cual estos tres aspectos se desarrollan permanentemente juntos, pues los estudiantes aprenderían (...) una ciencia que posee una actividad fragmentada en sus procesos de construcción de conocimiento, en sus prácticas experimentales y sobre todo una ciencia aislada del contexto sociocultural en la que está inmersa, puesto que no se relacionaría los problemas que existen en estos contextos con los objetivos de la actividad científica (p. 124).

Asimismo, muchos colegas aducen que siempre ha existido una preeminencia de la teoría por sobre la práctica, desplazada casi a un papel subalterno o secundario. Esto se refleja en distintos aspectos cotidianos, como por ejemplo el

exceso de horas cátedra de teoría con relación al tiempo destinado a los trabajos prácticos o la valoración desproporcionada de los contenidos teóricos que se da en las instancias de evaluación. Por tanto, incrementar el peso relativo del componente práctico y lograr una buena integración con los contenidos teóricos también es una materia pendiente sobre la cual repensar e innovar.

## **1.2 Las actividades de enseñanza en la cátedra de Química Analítica Instrumental**

El propósito de la asignatura QAI es que los alumnos de las carreras de Licenciatura en Bioquímica, Farmacia, Licenciatura en Biotecnología y Biología Molecular, Licenciatura en Ciencia y Tecnología Ambiental y Licenciatura en Ciencia y Tecnología puedan desarrollar las capacidades que le permitan a su egreso diseñar, aplicar y ajustar métodos eléctricos, ópticos y cromatográficos para efectuar determinaciones analíticas cuali o cuantitativas en muestras simples o complejas, con un manejo correcto y fundamentado del instrumental correspondiente, realizando una interpretación y una evaluación adecuada e integral de los resultados obtenidos. Estos instrumentales se emplean de forma rutinaria en el contexto de un laboratorio de análisis clínicos, de investigación, bromatológico, de control de calidad o pericial. Se vincula con las siguientes competencias formativas específicas de un profesional de las carreras mencionadas: entender y saber explicar las bases de los procesos fisicoquímicos o bioquímicos y de las técnicas utilizadas para investigarlos, conocer los principios y aplicaciones de los métodos e instrumentos utilizados en las determinaciones analíticas, y trabajar de forma adecuada y motivado por la calidad en el laboratorio, incluyendo seguridad, manipulación y eliminación de residuos y un buen registro de las actividades desarrolladas.

La organización de las actividades de enseñanza de la materia se lleva a cabo a través de comisiones integradas por un número de alumnos que suele oscilar entre 30 y 70. Por lo general cada comisión cubre una determinada banda horaria, y cuenta con un profesor, un jefe de trabajos prácticos, 2-3 ayudantes diplomados y 1 ayudante alumno. La estructura de la cátedra establece una división de funciones docentes: los profesores asumen la responsabilidad de las clases teóricas y las tareas administrativas, mientras que los auxiliares tienen a

su cargo los trabajos prácticos y los seminarios de problemas. En cuanto a mi inscripción dentro de la cátedra, ingresé a la misma en el año 2007 como ayudante alumno, cumplí funciones de ayudante diplomado entre 2011 y 2015, y actualmente me desempeño como jefe de trabajos prácticos desde el año 2016.

La materia QAI se imparte de manera cuatrimestral, con un dictado regular en la primera mitad del año educativo y un redictado en la segunda mitad. El análisis del programa de la materia revela que los contenidos se estructuran en tres grandes módulos o unidades didácticas: electroanálisis, métodos ópticos de análisis y separaciones analíticas. Como señala Blanco (1994), el contenido del currículum es

... un producto social y que, por tanto, ha de analizarse como una construcción socio-histórica y tratarse como negociable, legítimamente criticable y discutible; en definitiva, como una de las posibles formas que podría haber adoptado el currículum, sujeta a influencias políticas y donde las diferencias en la posesión del conocimiento y la capacidad de hacer valer sus posiciones de los diferentes grupos socio-culturales ha de incluirse como relevante. (p. 241).

De esta manera, las prácticas educativas suponen recortes particulares que son en gran medida arbitrarios. En este caso, puede comprobarse que el programa de QAI trata de cubrir la mayor cantidad posible de temas, de manera tal que el alumno reciba la mayor cantidad de información posible en el campo del análisis instrumental. También se evidencia lo que algunos autores como Siede (2010) llaman currículum residual, en donde una serie de contenidos, actividades y formas de enseñar pensadas en y para otros tiempos siguen ejerciendo influencia en las prácticas de hoy en día. Algunas de las técnicas estudiadas pueden ser consideradas como interesantes o valiosas desde un punto de vista teórico y/o histórico, pero han quedado obsoletas en el campo actual del análisis instrumental, siendo desplazadas y reemplazadas por técnicas más ventajosas en varios aspectos. Esto también da lugar a una escisión entre la formación que reciben nuestros estudiantes y los contextos de intervención profesional. Es por eso que los contenidos deben actualizarse, priorizarse y seleccionarse en

función de los instrumentos analíticos actualmente disponibles y utilizados en la mayoría de los laboratorios, y de las “competencias” o “saberes prácticos” que se buscan desarrollar, para poder así responder a las demandas del futuro desempeño profesional. Uno de los temas a priorizar, dada su amplia utilización en varios campos laborales, seguramente sea el estudio de la cromatografía líquida de alta eficiencia, técnica analítica cuyos fundamentos serán discutidos en la sección 1.4. La relevancia de esta técnica se respalda por los resultados generales de una encuesta realizada a profesores de química analítica en los Estados Unidos, quienes identificaron a la HPLC como uno de los temas más importantes de los tratados en sus respectivos cursos (Kovarik, 2022). Por otro lado, un acontecimiento transformador inesperado en la educación, como fue la pandemia de COVID-19, ha brindado la oportunidad de repensar enfoques típicos de la educación que podrían hacer más factible el rediseño curricular (Grinias, 2022).

La asignatura QAI se caracteriza por su fuerte componente práctico y de trabajo en laboratorio. En este contexto, el aprendizaje de las ciencias, y especialmente el trabajo de laboratorio, constituye una forma clásica de aprendizaje experiencial. Los modelos de aprendizaje basados en la experiencia involucran una vivencia concreta, como la experimentación activa en laboratorio, donde el estudiante tiene un contacto directo con el objeto de estudio (Bortnik, 2017). En consecuencia, está bien establecido que el manejo de equipos e instrumental analítico involucra necesariamente una presencia física, siendo difícil de reemplazar por experiencias virtuales. Sin embargo, este reemplazo tuvo que llevarse a cabo forzosamente en el marco de pandemia global COVID-19, durante la cual la mayoría de los gobiernos de todo el mundo impusieron severas restricciones a muchas actividades, incluidas las educativas (Díez-Pascual, 2022). En ese contexto, las universidades no pudieron ofrecer actividades presenciales debido a las restricciones de distanciamiento social, y tuvieron que pasar por una transición rápida para poder enseñar todas sus asignaturas de manera remota. Para quienes enseñamos materias de base científica, en un contexto particular caracterizado por la utilización de laboratorios, equipos y reactivos, y por una concepción estandarizada de cómo desarrollarlos, esto supuso un desafío aún más grande: el de ofrecer una experiencia práctica auténtica en un entorno en línea (Angulo-Delgado, 2022; Bassindale, 2021).

Estos cambios plantearon nuevos problemas tanto para los profesores como para los estudiantes: deberían estar familiarizados con el manejo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y poder adaptarse rápidamente a ese novedoso método en línea, ajustando los planes de enseñanza en consecuencia (Díez-Pascual, 2022).

En el caso de los trabajos prácticos de la asignatura QAI, se debió reemplazar de manera abrupta las actividades presenciales en el laboratorio por la enseñanza a través de clases sincrónicas virtuales, utilizando para ello una plataforma de videoconferencias (*Zoom* durante el año 2020 y *BigBlueButton* durante 2021). Un aspecto central de este proceso de virtualización de los trabajos prácticos fue la confección de una serie de presentaciones de diapositivas, las que tuvieron el papel de eje vertebrador de las propuestas de enseñanza utilizadas en esas clases por videoconferencia. En cuanto al contenido propio de esta serie de presentaciones, podemos considerarlo como dividido en dos grandes partes, producidas a través de procesos diferentes: una introducción teórica asociada fundamentalmente a una curaduría de contenidos, y una descripción de las actividades a desarrollar en el trabajo práctico, asociada a la creación de contenido nuevo a partir de material original (Byrne, 2022). Sin embargo, la imposibilidad de utilizar equipamiento de laboratorio introdujo la necesidad de buscar otras herramientas más eficaces para compensar estos inconvenientes. Esto llevó al desarrollo de estrategias de enseñanza que involucran el empleo de simuladores, esto es, programas informáticos que permiten integrar de una forma práctica la actividad remota con la operación de instrumentos (Grinias, 2022).

### **1.3 Empleo de programas de simulación como estrategia didáctica para la enseñanza de actividades experimentales en química**

Durante las últimas décadas, las prácticas educativas se han adaptado al nuevo escenario tecnológico aprovechando los beneficios que brindan las tecnologías emergentes. Una de las herramientas pedagógicas que se han desarrollado en ese sentido es el uso de simulaciones por computadora, que son programas que permiten a los estudiantes explorar sistemáticamente situaciones hipotéticas, interactuar con esa situación y explorar los cambios que ocurren en la situación

como resultado de su interacción (Almasri, 2022). Estos programas informáticos ofrecen una manera eficiente de monitorear las variables experimentales, brindando la oportunidad de explorar y formular hipótesis, explorar el efecto de los datos en una situación y comprobar lo explicitado por la teoría (Almasri, 2022). También permite a los estudiantes recibir retroalimentación inmediata y corregir su comprensión errónea de un concepto (Bortnik, 2017). De esta manera, la simulación por computadora enfatiza al alumno como un agente activo para construir su conocimiento.

Según Lindgren (2016), el aprendizaje basado en simulación no sólo aumenta el compromiso y la motivación de los estudiantes para construir nuevos conocimientos, sino que también mejora la comprensión de los temas bajo estudio a nivel cognitivo, ya que facilita la experimentación personal y ofrece vías para establecer conexiones con el conocimiento existente. Asimismo, Lee *et al.* (2021) sostienen que dichos programas informáticos podrían mejorar el aprendizaje de los estudiantes en los dominios cognitivo y afectivo, y mejorar la satisfacción y el compromiso de los estudiantes con el proceso de aprendizaje. En sintonía con estas afirmaciones, Bortnik (2017) considera que los estudiantes responden positivamente hacia el uso de computadoras para aprender, por lo que la simulación de tareas de laboratorio les resulta motivadora.

Los laboratorios virtuales se consideran también una solución de bajo coste para los experimentos de laboratorio. Experimentos que serían demasiado costosos (ya sea por el costo de la instrumentación o de los reactivos), complicados o incluso peligrosos para llevar a cabo se pueden recrear de forma segura en el entorno virtual, acabando así con las limitaciones encontradas en los laboratorios tradicionales (Bortnik, 2017; Bassindale, 2021). Además, el tiempo de experimentación se reduce significativamente y los procedimientos rutinarios de procesamiento de resultados experimentales se vuelven menos complejos (Bortnik, 2017).

En conclusión, podemos afirmar si bien los modelos informáticos y las simulaciones no pueden reemplazar a los laboratorios tradicionales, pueden considerarse como herramientas cognitivas auxiliares para adquirir habilidades experimentales y para desarrollar la capacidad de interpretar los resultados obtenidos (Bortnik, 2017).

Como se mencionó en el apartado previo, bajo el contexto de la pandemia COVID-19, durante los años 2020 y 2021 se introdujo el uso de simuladores en la asignatura QAI. Con los mismos se realizaron actividades cuyo propósito fue familiarizarse con los tipos de parámetros y conceptos que influyen en la eficiencia de un procedimiento experimental determinado (Bassindale, 2021). Algunos de estos simuladores fueron desarrollados por un colega de la cátedra, el bioquímico Ezequiel Llamazares, y están basados en hojas de cálculo de Excel o Google. A pesar de su simplicidad, estos simuladores son extremadamente intuitivos y didácticos. Fueron cargados en una carpeta especial dentro del aula Moodle de la asignatura, para facilitar su acceso a los estudiantes. Con el fin de ilustrar el funcionamiento general de los mismos, se adjuntó en la misma carpeta un video explicativo en donde se hace una breve demostración de los diversos simuladores creados y también se destacan ciertos detalles que hacen a la funcionalidad de cada uno en particular. Otros simuladores utilizados, de diseño más complejo pero igualmente intuitivos y didácticos, están disponibles de forma gratuita en sitios web de universidades o empresas especializadas en química analítica. Algunos de estos deben descargarse, mientras que otros se pueden utilizar directamente en línea, desde la misma página web. Los enlaces a estos recursos fueron suministrados durante las presentaciones que sirvieron como base para la explicación de los trabajos prácticos. Entre estos programas de acceso abierto disponibles en la web se encuentra el simulador *Practical HPLC simulator v1.0*, que se describirá con detalle en la sección 1.5.

En el siguiente apartado se presentan brevemente los fundamentos de la cromatografía de líquidos de alta eficiencia, así como los obstáculos que dificultan su uso en el ámbito educativo y las posibles soluciones mediante la implementación de un programa de simulación.

#### **1.4 Fundamentos de HPLC**

La HPLC es una técnica analítica basada en la separación de diferentes analitos según su afinidad relativa por una fase fija que se halla en una columna, llamada fase estacionaria, y una fase móvil que fluye a través de la columna impulsada por una bomba. En la denominada HPLC de fase inversa, la fase estacionaria posee características no polares (típicamente consiste en partículas de sílice

funcionalizadas con cadenas hidrocarbonadas tales como C18 o C8), mientras que la fase móvil tiene características polares. De acuerdo a esto, los analitos con mayor carácter no polar serán más retenidos, mientras que los más polares tendrán poca afinidad por la fase estacionaria y eluirán antes. La fase móvil consiste en una mezcla de agua o una solución acuosa amortiguadora (solvente A) con un modificador orgánico (menos polar que el agua) que suele ser metanol o acetonitrilo (solvente B). Mientras mayor sea el porcentaje de ese modificador mayor será la denominada fuerza de la fase móvil, lo que se traduce en una disminución de los tiempos que los analitos pasan dentro de la columna (llamados tiempos de retención). La composición de la fase móvil puede permanecer constante a lo largo del tiempo, lo que se denomina corrida isocrática, o bien puede variar, en cuyo caso se habla de un gradiente de composición de la fase móvil. La optimización implica obtener una separación o resolución requerida entre los componentes de una mezcla en el menor tiempo posible. Generalmente, la separación se lleva a cabo en condiciones isocráticas siempre que sea posible. Sin embargo, para mezclas complejas, a menudo es necesario utilizar una elución en gradiente cuando los componentes presentan diferencias significativas en su polaridad (Kavanagh, 1999).

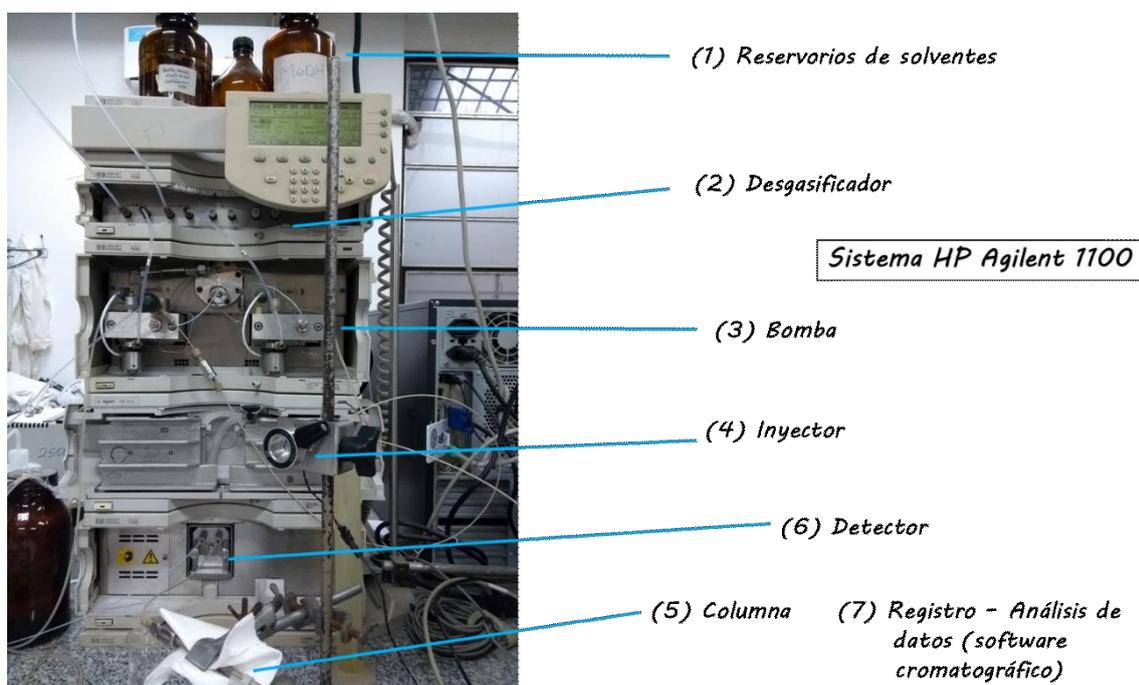
El gráfico o representación visual que resulta de un análisis cromatográfico se denomina cromatograma. En un cromatograma, se representan generalmente en el eje de las abscisas el tiempo o el volumen de eluyente, y en el eje de las ordenadas la respuesta del detector. Si la separación resulta efectiva, cada pico en el cromatograma corresponde a un componente separado de la mezcla. Los tiempos de retención proporcionan información sobre la identidad de los analitos, mientras que la altura y el área de los picos proporcionan información sobre la cantidad de esos componentes.

La principal dificultad relacionada con la aplicación práctica de HPLC en el ámbito académico es su complejidad y alto costo, tal como señala Ortiz Miranda (2017):

Un recurso didáctico fundamental para llevar a cabo estas prácticas es el manejo de equipamiento en el laboratorio, pero su uso es limitado porque los equipos son costosos y de manejo complejo, lo que constituye un

problema para lograr que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas en la parte experimental (p. 2).

Los equipos de HPLC son costosos, con un precio para equipos nuevos en el rango de los 15000 a 150000 dólares, variando según el modelo, las características y el fabricante. En la Fig. 1 se presenta un equipo típico de HPLC, concretamente el sistema HP Agilent 1100 utilizado habitualmente en el correspondiente trabajo práctico de la asignatura QAI. Las columnas también son relativamente costosas, con valores que oscilan entre los 500 y 1000 dólares de acuerdo a la especificidad de su aplicación. Los repuestos y consumibles utilizados también cotizan en dólares. Por otra parte, se necesitan solventes con elevado grado de pureza (calidad HPLC), lo que eleva aún más los costos.



**Figura 1.** Sistema típico de HPLC, mostrando sus distintos compartimentos o módulos.

Por otro lado, el empleo de un sistema de HPLC es llevado a cabo habitualmente por personal ampliamente especializado, capacitado y entrenado para operar este tipo de equipamiento. Su utilización por manos inexpertas puede involucrar en el mejor de los casos un derroche de reactivos, pero existe el riesgo de que se produzca un daño en la columna utilizada o incluso en el equipo mismo.

Una dificultad adicional es la que plantean Boswell *et al.* (2013) y retoman Páez y Carp (2015): para que un estudiante obtenga una idea intuitiva de cómo los parámetros experimentales importantes y su interacción afectan las separaciones por HPLC, se necesitaría llevar a cabo una inmensa cantidad de experimentos. Considerando el tiempo requerido para cada separación individual y las limitaciones de una sesión típica de laboratorio de química analítica, resulta prácticamente imposible que los estudiantes adquieran este tipo de experiencia.

### **1.5 Empleo de simuladores de HPLC**

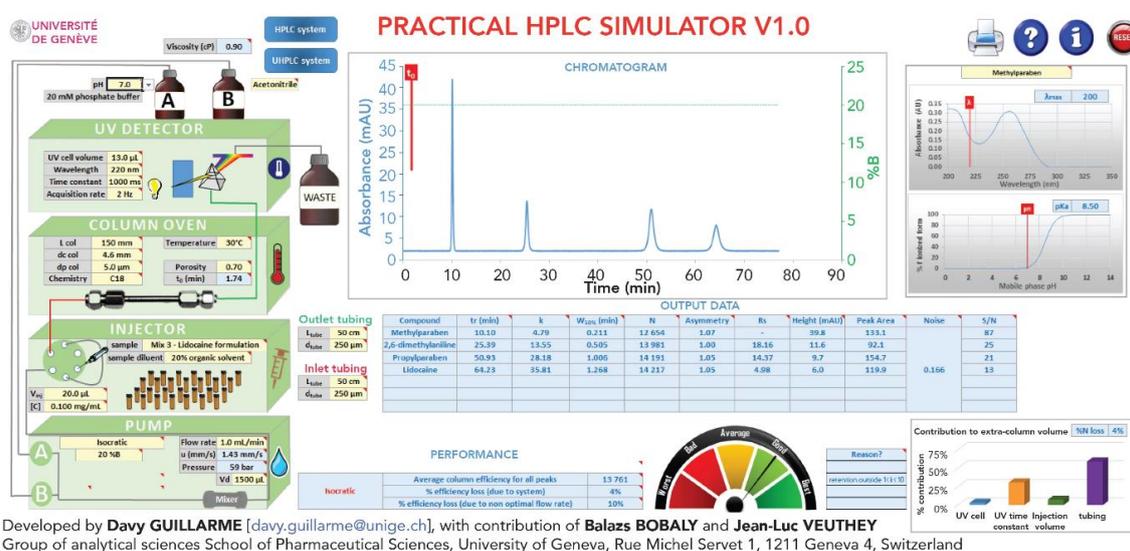
Las dificultades previamente mencionadas asociadas a la utilización de un equipo real de HPLC con fines pedagógicos ocasionan que sea necesario recurrir a programas que permitan simular el empleo de un cromatógrafo líquido. Estos simuladores poseen la ventaja de que muchos de ellos son gratuitos (en contraste con los costosos equipos y consumibles reales), son generalmente fáciles de usar, no consumen reactivos y solventes, no hay riesgo alguno de dañar instrumentación, requieren menos supervisión por parte de un instructor y brindan una retroalimentación instantánea, lo que los convierte en una opción sumamente atractiva para nuestros estudiantes (Boswell *et al.*, 2013). Los simuladores de HPLC posibilitan de esta manera una mejor comprensión del impacto de los distintos parámetros puestos en juego en una separación cromatográfica. Por supuesto, nunca van a ser capaces de reemplazar el uso de instrumentación real de HPLC en el laboratorio, sino que, más bien, deben ser considerados como una herramienta complementaria que enriquece el valor del tiempo invertido en un instrumento real. De hecho, según Zendler y Greiner (2020), los hallazgos empíricos muestran que el aprendizaje con simulación por computadora funciona de manera similar al método experimental, por lo que ambos métodos instruccionales deberían considerarse complementarios.

Múltiples simuladores de HPLC se han desarrollado con fines ya sea comerciales o académicos. Estos simuladores cuentan con controles e indicadores intuitivos para una amplia gama de condiciones experimentales. Asimismo, muestran un gráfico con el correspondiente cromatograma, por lo que proporcionan retroalimentación inmediata cada vez que se cambian los parámetros experimentales (Boswell *et al.*, 2013). Estudios recientes han demostrado que la

implementación del proceso completo de separación cromatográfica en una plataforma de *software* de uso intuitivo y amplia difusión, como Microsoft Excel®, puede resultar particularmente atractiva para fines didácticos (Fasoula, Nikitas y Pappa-Loisi, 2017). Dentro de la amplia gama de simuladores que se basan en una hoja de cálculo de Excel con macros, sobresale el *software* gratuito (*freeware*) *Practical HPLC simulator*, disponible para descarga directa en el sitio web <https://farma-unites.unige.ch/en/rudaz-lab/tools/practical-hplc-simulator>. Esta herramienta, desarrollada en noviembre de 2020 por el grupo de análisis farmacéutico de la Universidad de Ginebra (Suiza), bajo la dirección del Dr. Davy Guillaume, facilita la comprensión del impacto de los parámetros cromatográficos en la separación final (Guillaume, 2021; Dong, 2021).

El sistema cromatográfico simulado se ubica hacia la izquierda de la hoja de cálculo, e incluye los módulos que habitualmente se encuentran en un sistema de HPLC: bomba, inyector, horno de columna, detector, columna cromatográfica y frascos con fases móviles (Fig. 2). En la parte superior se encuentran los reservorios de solventes. El reservorio A contiene una solución acuosa amortiguadora o *buffer*, para la cual es posible seleccionar diferentes valores de pH: 2,7 (ácido fórmico 0,1%), 4,5 (*buffer* acetato 20 mM), 7 (*buffer* fosfato 20 mM) y 9 (*buffer* amonio 20 mM). El modificador orgánico B puede ser acetonitrilo o metanol. En la bomba (*pump*) es posible elegir entre un funcionamiento isocrático (con una fase móvil de composición constante a lo largo del tiempo) o un gradiente de elución (donde el porcentaje de B varía con el tiempo). Si se opta por el modo isocrático, se debe especificar el porcentaje de B utilizado; en cambio, en el modo gradiente, se debe indicar el porcentaje de B inicial, el porcentaje final y el tiempo del gradiente. Otro parámetro que se puede modificar en el módulo de la bomba es el caudal (*flow rate*) de la fase móvil. En la sección dedicada a la columna, se pueden seleccionar diferentes características: la fase estacionaria (C18, C4 o fenil), la longitud de la columna (entre 30 y 300 mm), el diámetro de la columna (entre 0,5 y 20 mm) y el tamaño de partícula (entre 1,5 y 10  $\mu\text{m}$ ). También se pueden ajustar la temperatura y la porosidad de la fase estacionaria. En la parte correspondiente al inyector se puede elegir entre siete tipos de muestras (mezclas o *mix*): parabenos, antiinflamatorios no esteroideos, formulaciones de lidocaína, cannabinoides, salbutamol e impurezas, vitaminas liposolubles, y sustancias de dopaje. Asimismo, se puede seleccionar el

porcentaje de solvente orgánico en el que está disuelta la muestra, la concentración de la muestra y el volumen de inyección.



**Figura 2.** Captura de pantalla que muestra las características del *software* cromatográfico *Practical HPLC simulator v1.0*.

El cromatograma simulado bajo las condiciones seleccionadas se muestra en la parte central del *software* (Fig. 2). Justo debajo, aparece una tabla en azul que lista los compuestos presentes en el cromatograma, incluyendo su tiempo de retención ( $t_r$ ), el factor de retención ( $k$ ), la anchura de los picos a media altura ( $W_{50\%}$ ), la eficiencia ( $N$ ), la asimetría, la resolución ( $R_s$ ), la altura de los picos y su correspondiente área. Además, el *software* evalúa la calidad general de la separación, clasificándola en las categorías de muy mala, mala, promedio, buena y muy buena.

En la parte superior derecha del *software* se encuentran dos gráficos grises (Fig. 2). Desde allí, es posible seleccionar un compuesto de la mezcla para visualizar tanto su espectro ultravioleta (UV) como su perfil de ionización (estado de carga en función del  $pK_a$ ). Por último, el *software* cuenta con un botón rojo denominado "reset" en la esquina superior derecha, que permite restablecer los valores originales del programa.

Es importante subrayar que la elaboración de esta herramienta de simulación requirió la ejecución de más de 3500 experimentos prácticos, con el propósito de

emular con la mayor exactitud posible el comportamiento cromatográfico de los compuestos que pueden analizarse con el simulador (Guillarme, 2021).

Para desarrollar algunos ejercicios de HPLC con este simulador, Guillarme (2021) proporciona una lista no exhaustiva de temas que se pueden explorar según el nivel de los usuarios. Para un principiante, se pueden explorar los siguientes temas: a) el impacto del cambio del porcentaje de modificador orgánico en el rendimiento general; b) el impacto de la naturaleza del modificador orgánico sobre la retención y la selectividad; c) el impacto de la química de la columna en la resolución; d) el ajuste de las condiciones del gradiente para lograr una separación óptima; y e) el impacto de las condiciones analíticas sobre la presión del sistema. Para los usuarios intermedios, se puede explorar: a) la evaluación cuantitativa del desempeño de un método analítico; b) el impacto del pH de la fase móvil en la separación final y relación con el perfil de ionización de los compuestos; c) el impacto de la longitud de onda en la sensibilidad; y e) el impacto del caudal de la fase móvil en la eficiencia (curvas de van Deemter). Finalmente, los usuarios avanzados pueden explorar los siguientes temas: a) el impacto de la instrumentación (ensanchamiento de banda extracolumna) en la separación final; b) la evaluación de la capacidad máxima en modo gradiente en función de las condiciones cromatográficas; c) el impacto de la naturaleza del solvente de la muestra en la ampliación de picos; y d) el impacto del volumen de permanencia (*dwel volume*) cuando se opera en modo gradiente.

## **1.6 Las actividades prácticas de HPLC en la asignatura Química Analítica Instrumental**

La cromatografía líquida de alta eficiencia se aborda en el tercer y último módulo de la materia, denominado "Separaciones analíticas". Habitualmente, se destinan un total de 8 horas al estudio de esta técnica, distribuidas en 3 horas de clases teóricas, 2 horas dedicadas a un seminario de resolución de problemas y 3 horas destinadas a actividades experimentales en un trabajo práctico (TP) de laboratorio. El TP de HPLC es el anteúltimo de los 11 contemplados a lo largo de la cursada. La guía de trabajos prácticos, disponible en Moodle desde el inicio del curso, proporciona a los estudiantes información anticipada sobre las actividades experimentales a realizar en dicho TP. El día del trabajo práctico,

todos los estudiantes de cada comisión o subcomisión (compuesta por 25-35 alumnos aproximadamente) reciben una explicación introductoria exhaustiva en el Laboratorio de Química Analítica Instrumental. Esta explicación previa abarca los fundamentos teóricos esenciales de la técnica de HPLC, una revisión detallada del equipamiento que se utilizará en la práctica, y una descripción de las actividades experimentales que los estudiantes llevarán a cabo durante la sesión de laboratorio. Posteriormente, los estudiantes se organizan en grupos pequeños de 10 a 12 personas, los cuales acceden secuencialmente a un laboratorio del Instituto de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos (LIDMA), especializado en separaciones analíticas y ubicado dentro del predio de la Facultad. En este sitio se halla el equipo de HPLC mostrado en la Fig. 1, con el que se lleva a cabo un estudio cuantitativo que involucra la determinación de aspartamo, cafeína y ácido benzoico en una bebida cola dietética. Sin embargo, la división del alumnado en grupos resulta en un tiempo de permanencia muy limitado frente al equipo, de apenas 25 a 30 minutos. Además, la complejidad del equipo, que requiere un manejo casi exclusivo por parte del personal docente, sumado a que las condiciones para la separación ya están predefinidas, reduce significativamente las oportunidades de los estudiantes para experimentar directamente con el equipo.

Con el fin de subsanar estos inconvenientes particulares y las limitaciones generales expuestas en apartados anteriores, en este TFI se propone desarrollar una innovación pedagógica que involucra el uso del simulador *Practical HPLC simulator*.

## **1.7 Objetivos del Trabajo Final Integrador**

### *1.7.1 Objetivo general*

Diseñar una propuesta de enseñanza basada en el empleo de un simulador de cromatografía líquida de alta eficiencia (*high performance liquid chromatography*, HPLC) de acceso gratuito, como complemento de las actividades prácticas en la cátedra Química Analítica Instrumental de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, a fin de favorecer la adquisición e integración de conocimientos,

habilidades y destrezas en el marco de la resolución de distintas situaciones problemáticas.

### *1.7.2 Objetivos específicos*

Diseñar una secuencia didáctica basada en una serie de situaciones problemáticas que contemplen los distintos aspectos teórico-prácticos a tener en cuenta en la separación cromatográfica de analitos presentes en muestras reales.

Fortalecer el trabajo y la discusión grupal en torno a conceptos teórico-prácticos de cromatografía líquida de alta eficiencia en el contexto presencial del laboratorio.

Promover el autoaprendizaje de conceptos teórico-prácticos de cromatografía líquida de alta eficiencia, mediante el diseño de actividades individuales que involucran experimentación y resolución autónoma en el contexto del hogar.

## Capítulo 2: Perspectivas conceptuales

### 2.1 Las prácticas de enseñanza

Las prácticas de enseñanza son prácticas sociales históricamente determinadas, que se desarrollan en un tiempo y espacio específicos, dentro de un contexto influenciado por factores institucionales, sociales, políticos e históricos. Su objetivo es crear las condiciones propicias para el aprendizaje, de modo que no se tratan de actividades azarosas, sino que presentan una clara intencionalidad, generando una intervención en el alumno. El sociólogo francés Pierre Bourdieu entendía las prácticas de enseñanza como un *modus operandi*, es decir, un “...modo de operación científica que presupone un modo de percepción y un conjunto de principios de visión y división”, y sostenía que “no hay otra manera de adquirirlo que viéndolo funcionar en práctica” (Bourdieu, 1995, p. 164). Estas prácticas manifiestan racionalidades tanto explícitas como implícitas, proporcionando fundamentos metodológicos que guían la toma de decisiones. Además, expresan un entrecruzamiento de cuestiones de distinto orden, evidenciando por tanto una multidimensionalidad. La enseñanza se basa en procesos de interacción múltiples entre docentes y alumnos, así como entre los propios estudiantes. Al tratarse de una práctica social, la enseñanza pone en juego un complejo proceso de mediaciones, y expresa conflictos y contradicciones inherentes al ámbito institucional y a lo público, lo que le otorga una clara dimensión política.

Como parte de las prácticas docentes y de las prácticas educativas, las prácticas de enseñanza están sometidas a tensiones y a contradicciones que, en muchos casos, desvían la atención de su tarea central: el trabajo en torno al conocimiento. Para un análisis más claro, podemos clasificar estos condicionantes en diferentes niveles o escalas.

Los denominados condicionantes de orden macro son aquellos derivados del contexto socio-histórico-cultural. Jaume Martínez Bonafé (1998) hace foco en la estructura del puesto de trabajo de los docentes, y trata de identificar los factores que inciden en la estructuración de la práctica y las relaciones que entre ellos existe. En este sentido, el autor plantea una serie de claves de interpretación de las condiciones que regulan la estructura del puesto de trabajo docente:

- Las políticas. Las decisiones políticas condicionan la práctica docente. En este sentido, resulta importante destacar la situación particular que atraviesa el sistema universitario de nuestro país en estos días, en donde se han tomado desde el gobierno nacional medidas basadas en la promoción de una estabilidad económica mediante ajustes presupuestarios, la descentralización y la desregulación, que han llevado a una gran conflictividad docente y con ello a problemas de funcionamiento del sistema educativo en su conjunto (Sityar, 2024).

- Los discursos. El discurso legitima social y culturalmente un determinado tipo de prácticas, excluyendo otras alternativas. Se puede considerar por un lado el discurso de tipo técnico-administrativo, definido como experto, objetivo, neutral, apolítico y conectado con las exigencias burocráticas. Por otro lado, está el discurso de tipo deliberativo, de carácter heterogéneo, minoritario y crítico con respecto al primero. La preponderancia del discurso técnico-administrativo provoca una fragmentación interna del sector docente y lo burocratiza. Así,

la justificación técnica del establecimiento de una taxonomización jerarquizada de las funciones y roles diferenciados en el trabajo docente enmascara relaciones de privilegio para subconjuntos minoritarios y desvía la crítica a la ausencia de control por el conjunto del profesorado sobre las circunstancias sociales y políticas que regulan el trabajo docente (Martínez Bonafé, 1998, p. 93).

- Las agencias. En estos organismos se toman decisiones políticas que inciden de manera directa sobre el *currículum*. Entre ellas se encuentran: las agencias de administración y control (aparatos administrativos del estado), las agencias de elaboración y comercialización del material curricular (poderosas editoriales que imponen su interpretación curricular), las agencias de producción de conocimiento (ámbito académico universitario y consejos de investigación), las agencias de participación y negociación (organizaciones sindicales) y las agencias de actualización profesional.

- Los escenarios. Esto hace referencia a cómo influye el contexto espacio-temporal en la organización del trabajo docente. El autor destaca que las estructuras administrativo-burocráticas han impuesto una organización del

tiempo del tipo técnico-racional, con un enfoque monocrónico, objetivo e instrumental. Efectivamente, este tipo de enfoque es el que históricamente se ha tenido en cuenta para elaborar el cronograma de actividades de cada comisión de la asignatura QAI.

- Las culturas. Según el mencionado autor,

existen creencias, mentalidades, asunciones y prácticas sobre lo que debe ser la escuela, fuertemente arraigadas en los distintos agentes de la comunidad educativa - y en el conjunto de la sociedad-, y que tienen una influencia directa en las posibilidades y limitaciones del trabajo docente (Martínez Bonafé, 1998, p. 100).

En este sentido, podemos resaltar que en nuestro país la universidad pública cuenta con un gran prestigio social, siendo considerada por una amplia mayoría de la población como un dispositivo para la movilidad social ascendente.

- El mercado. En un mercado diversificado en términos de funciones, tareas y responsabilidades dentro del proceso productivo de la institución educativa, se establecen gradaciones y diferencias que resultan en valores de cambio desiguales para la fuerza de trabajo.

- Las resistencias. Las resistencias que emergen desde el interior del sector docente buscan contrarrestar los efectos de la hegemonía ideológica de los estados capitalistas, enfrentando la reproducción cultural y la desacreditación del profesorado. Estas resistencias introducen prácticas contrahegemónicas y utilizan el conocimiento con fines emancipadores.

Los condicionantes de orden meso están relacionados con el tipo de organización en la que se inscribe la práctica. En este sentido, Elena Achilli (1986) describe cómo los mecanismos burocráticos de las instituciones educativas perturban o interfieren con la práctica pedagógica, alejando al docente de su trabajo en torno al conocimiento:

Es decir, la especificidad del trabajo del maestro queda desdibujada e incorporada fragmentariamente a un conjunto de funciones que, si bien pueden suponerse como secundarias en el desempeño del rol del

docente, no ocurre así en el contexto burocrático de la organización institucional donde está inserto (p. 7).

Pueden agruparse en esta categoría una gran cantidad de tareas docentes que consumen en su conjunto una gran cantidad de tiempo, tales como llevar el control de las asistencias, coordinar aulas y horarios, ingresar y registrar las calificaciones de los estudiantes, proporcionar certificados, gestionar gastos y presentar informes.

Finalmente, los condicionantes de orden micro son aquellos que intervienen en el microespacio del aula. En el texto “De la ilusión al desencanto en el aula universitaria” (Becerra García, Garrido Flores y Romo Beltrán, 1989) las autoras destacan la importancia de realizar registros de observación para analizar e interpretar los eventos y las interacciones que ocurren en este entorno, lo que se conoce como análisis etnográfico del aula. “Supone construir datos sobre lo que se dice, lo que se hace y lo que se piensa y siente dentro de ella” (p. 228). Según estas autoras, la Universidad asigna distintas posiciones a los actores de las prácticas educativas. Los atributos asignados al docente son saber y poder (los cuales determinan el acto educativo utilizando un lenguaje sofisticado propio del campo) y los asignados al alumno son dependencia y sometimiento. Se considera al acto evaluativo como la herramienta que define y sustenta la relación entre ambos. Las autoras también describen las distintas manifestaciones del vínculo entre saber y poder en las instituciones educativas. Entre las principales categorías analíticas identificadas a partir de un exhaustivo trabajo de campo se menciona:

- El manejo de los espacios como forma física del poder en el aula, cumpliendo con una función de clasificar a los actores.
- El uso del tiempo como elemento de lucha en la relación pedagógica.
- El encantamiento mutuo en la relación pedagógica. La relación entre el docente y los alumnos se sostiene en un mutuo reconocimiento. Para ello serán importantes los juicios valorativos del docente respecto al alumno, así como la idealización de la imagen docente.
- El lenguaje corporal, verbal y escrito sirve para objetivar la subjetividad de docentes y alumnos. Los estudiantes deben aprender la complejidad del

lenguaje utilizado por el docente, propio de cada campo disciplinar, para poder acceder a los conocimientos.

- La forma en que se presentan los contenidos. El docente regula y da perspectiva a los contenidos programáticos, buscando la complicidad de los alumnos. Con el objetivo de facilitar la apropiación del conocimiento, el docente modela los contenidos y los ajusta a los intereses de los estudiantes, buscando aplicaciones en la vida cotidiana que los hagan más atractivos y tangibles. Este enfoque es precisamente el que se busca en este TFI, donde se invita a los estudiantes a aplicar sus conocimientos de HPLC para resolver una serie de situaciones problemáticas basadas en escenarios reales.
- La fuerza de las prácticas de evaluación y los significados que las acompañan son cruciales. La evaluación se presenta como un instrumento para organizar la actividad en el aula, estando presente en todo momento de la interacción didáctica, a la que sostiene. Es importante considerar que la evaluación es bidireccional: evaluamos a los alumnos en diversas instancias, y a su vez, ellos también cuestionan nuestro accionar como docentes. Este tema será abordado en detalle en la sección 3.3.

Como prácticas situadas, contextuadas, plurideterminadas y caracterizadas por su complejidad, las prácticas de enseñanza demandan un análisis multirreferencial. Este enfoque propone abordar las prácticas, los hechos y los fenómenos educativos desde una perspectiva plural, bajo diferentes ángulos y en función de sistemas de referencia distintos, sin que esto signifique la reducción de unos en otros (Edelstein, 2022). Este enfoque multirreferencial requiere desnaturalizar los modos en que nos representamos la enseñanza, debiendo ser críticos frente a lo establecido para así poder dar lugar a propuestas alternativas. En este sentido, las nociones de aula y clase se presentan como categorías centrales para el análisis.

Al realizar un análisis del aula, podemos destacar, siguiendo a Inés Dussel y Marcelo Carusso (1999), que las concepciones sobre ella han ido cambiando a lo largo del tiempo, tanto en su estructura material (organización del espacio, mobiliario, etc.) como en su estructura comunicacional (quién habla, dónde se ubica, flujo de las interacciones). Por ello, los autores argumentan que el aula es una construcción histórica, un escenario donde se concreta la enseñanza y que refleja diversos imaginarios sobre la docencia, la enseñanza y el aprendizaje.

Además de su materialidad, el aula también representa una forma singular de comunicación, marcada por jerarquías y relaciones de autoridad en torno al saber y el poder. Reconocer estos aspectos es fundamental, ya que influirán en la propuesta didáctica que se busque implementar.

Según Gloria Edelstein (2022), la clase puede caracterizarse como una estructura global de actividad, en la que se identifica un conjunto de acciones que, en su desarrollo, presentan una estructura episódica, secuencial y articulada, y que están interconectadas con un todo en el que se integran. Es decir, lo que en ella acontece no son fragmentos aislados, sino un accionar en el que se van construyendo secuencialmente relaciones desde cierta intencionalidad y en función de los propósitos de la clase. En una clase es posible reconocer momentos que pueden ser entendidos como segmentos, que constituyen unidades menores de sentido. Estos segmentos pueden diferenciarse por la temática, el formato, los agrupamientos, el tipo de técnicas o procedimientos utilizados y la organización del espacio. Por otro lado, Edelstein sostiene que, por efecto de la naturalización, en nuestros procesos de formación suele estar presente una estructura de pensamiento que nos lleva a pensar que hay una organización correcta y, consecuentemente, presentamos ciertos contenidos siempre de la misma manera, en la misma secuencia y con el mismo tipo de actividades. Al realizar el análisis didáctico de una clase, es importante tener en cuenta que siempre lo que un docente plantea en una clase tiene que ver con decisiones, que pueden ser conscientes o no. En este contexto, la autora distingue entre macro-decisiones, que se pueden anticipar durante el diseño de la clase, y micro-decisiones, que están relacionadas con imponderables, es decir, aquellas situaciones que no son posibles de prever. En lo que respecta a este TFI, se plantea la decisión macro de utilizar un simulador de HPLC mientras los estudiantes esperan para acceder al equipo real, llevando a cabo diversas actividades y estableciendo un tiempo aproximado para cada una. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada grupo de estudiantes transitará las actividades de manera diferente, lo que requiere que el docente mantenga una cierta flexibilidad para tomar micro-decisiones que a su criterio maximicen la experiencia educativa.

En relación con la metodología de una propuesta de enseñanza, Edelstein (1995) introduce el concepto de construcción metodológica, que aborda la articulación

entre el conocimiento como producción objetiva y el conocimiento como problema de aprendizaje. La autora sostiene que, para llevar a cabo esta construcción, es necesario un trabajo con el conocimiento en términos de demarcar la estructura conceptual de la disciplina o área temática y el enfoque elegido. En este sentido, resulta crucial explorar la disciplina, la historia de su desarrollo, los principales referentes teóricos, las principales preguntas formuladas, los debates de mayor resonancia, los temas tratados y aquellos que han sido abandonados, así como las razones detrás de su desplazamiento por nuevos desarrollos. Todo esto remite, como señala Ángel Díaz Barriga (1985), al orden de lo epistemológico objetivo, es decir, a lo que se ha producido en un campo determinado (en tanto objetos de saber). Además, dado que en todas las disciplinas existen contenidos en tensión, es posible configurar enfoques propios. Por lo tanto, es fundamental reflexionar sobre cómo se conectan los saberes que definimos, seleccionamos y estructuramos con las posibilidades y necesidades de los sujetos a quienes vamos a enseñar. Esto constituye la dimensión epistemológica subjetiva en el proceso de construcción metodológica. Así concebida, la construcción metodológica expresa un complejo entramado que abarca aspectos relacionados con el campo del saber, con el acto de enseñar y aprender, y con posicionamientos epistemológicos, sociológicos, psico-sociales, antropológicos, filosóficos y ético-políticos. Estas cuestiones subrayan cómo la intencionalidad también influye en las definiciones y decisiones metodológicas (Edelstein, 2022). Este análisis permite concluir que una clase no se limita a una simple sucesión de contenidos establecidos en un plan de estudios, sino que involucra múltiples factores, especialmente si el docente está comprometido con la construcción metodológica. Al concebir la metodología como un proceso creativo, el docente puede emplear diversos componentes para transmitir conocimientos, lo que permite abordar un mismo contenido desde diferentes perspectivas y, a su vez, fomenta la innovación. Esta búsqueda de nuevas perspectivas para abordar los contenidos es precisamente lo que se propone en este TFI.

Finalmente, resulta importante remarcar la diferenciación entre modelo y metodología. Mientras que el modelo puede ser concebido como una prefiguración que se puede extrapolar linealmente sin tener en cuenta a los sujetos, la metodología es una construcción donde la mirada está puesta tanto

en los contenidos, los sujetos y el contexto en que éstos se relacionarán. En cuanto a la relación forma-contenido en los procesos de enseñanza, Verónica Edwards (1989) plantea que el contenido está íntimamente ligado a la forma, es decir, el contenido depende de la forma y de este modo puede decirse que, en la enseñanza, la forma y el contenido son indisolubles. Edwards identifica tres formas: tópica, operacional y situacional. La forma tópica es aquella en la que prevalecen datos. Una nominación técnica, un determinado orden y una secuencia de pasos definida para resolver ejercicios, respuestas únicas, precisas, textuales. En esta forma el conocimiento se presenta cerrado, incuestionable, con un lenguaje científico especializado. La forma operacional refiere a la realización de operaciones al interior de un sistema de conocimiento. Definiciones para clasificar, uso de fórmulas, aplicación de conocimientos formalizados a casos más específicos, lógica deductiva como garantía del buen pensar, ejercitaciones reiteradas, memorización, aplicación eficiente y rápida. Las formas tópica y operacional son muy comunes en la enseñanza de asignaturas vinculadas a las ciencias experimentales. En este sentido, las autoras María del Valle Coronel y María Margarita Curotto (2008) señalan que la estructura tradicional de resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias experimentales implica que el docente demuestre un problema modelo, seguido por la repetición mecánica de los procedimientos por parte de los alumnos. Así, los problemas se convierten en situaciones estándar que se resuelven mediante operaciones rutinarias, justificadas por el docente y replicadas por los estudiantes. En sintonía con estas afirmaciones, Digna Couso, Mercè Izquierdo y Cristian Merino Rubilar (2008) sostienen que muchos problemas tradicionales en el aula no representan verdaderos desafíos para los estudiantes, ya que son cerrados, con enunciados simplificados y repetitivos. Esto lleva a los estudiantes a memorizar mecanismos de resolución sin comprenderlos, situación que lamentablemente es muy común en muchas asignaturas de la Facultad de Ciencias Exactas, incluyendo QAI. En la tercera forma que plantea Edwards, la situacional, se enfatiza la importancia en tomar el contenido en su significación. En este marco, Couso, Izquierdo y Merino Rubilar consideran que en la enseñanza de las disciplinas científicas es necesario cambiar el enfoque de “aprender a resolver problemas” a “resolver problemas para aprender”. Este cambio implica concebir los problemas como oportunidades

para generar nuevo conocimiento, desarrollando así la capacidad crítica, la inventiva y el sentido práctico. Para lograr esto, los problemas deben ser auténticos, plantear buenas preguntas, tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes, ser un reto alcanzable, relevantes para la disciplina y relacionarse con el proceso de modelización. De este modo, se busca que los conocimientos del alumno evolucionen a medida que enfrenta y resuelve estos problemas.

## **2.2 La simulación como método de enseñanza**

En la educación superior, los estudiantes deben prepararse para su futura profesión, lo que implica el desarrollo de competencias que abarcan una amplia gama de habilidades complejas. Además de los conocimientos y habilidades específicas de un campo determinado, para poder tomar decisiones profesionales e implementar soluciones efectivas los estudiantes deben adquirir durante su formación una serie de habilidades clave, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la comunicación y la colaboración (Chernikova, 2020). Para alcanzar altos niveles de experiencia en tareas complejas de resolución de problemas, los estudiantes deben contar con un conocimiento previo adecuado y realizar una considerable cantidad de actividades prácticas (Chernikova, 2020). Siguiendo a María Cristina Davini (2008), comprendemos la formación práctica no solo como el desarrollo de habilidades operativas para el “hacer”, sino como la capacidad para intervenir en contextos reales y complejos, tomando decisiones frente a situaciones y problemas genuinos. Idealmente, las oportunidades de práctica incluyen problemas auténticos, estrechamente relacionados con un campo profesional. Sin embargo, la posibilidad de participar en la resolución de problemas de la vida real dentro del ámbito de la educación superior es generalmente limitada. Por otro lado, las situaciones de la vida real no siempre ofrecen suficientes oportunidades de práctica, ya que, por ejemplo, las situaciones críticas aparecen con menor frecuencia o requieren mucho tiempo antes de que las decisiones conduzcan a consecuencias observables. Estas limitaciones hacen que la práctica en situaciones de la vida real sea un espacio de aprendizaje algo inaccesible y a veces subóptimo, especialmente para los estudiantes novatos

(Chernikova, 2020). No obstante, estas dificultades pueden mitigarse mediante el uso de simulaciones, que son aproximaciones de la práctica real que permiten a los estudiantes abordar problemas auténticos en un entorno controlado, facilitando la adquisición de habilidades complejas y brindando una experiencia de aprendizaje valiosa (Chernikova, 2020).

Beaubien y Baker (2004) definen la simulación como una herramienta que reproduce las características de un evento o situación de la vida real. Una definición más específica, propuesta por Cook *et al.* (2013), describe la simulación como una “herramienta o dispositivo educativo con el que el alumno interactúa físicamente para imitar la vida real”, destacando “la necesidad de interactuar con objetos auténticos” (p. 876). Otra definición relevante es la de Davini (2008), quien considera que

la simulación es un método de enseñanza que se propone acercar a los alumnos a situaciones y elementos similares a la realidad, pero en forma artificial, a fin de entrenarlos en habilidades prácticas y operativas cuando las encaran en el mundo real (p. 144).

Según Zulma Cataldi (2013), las simulaciones permiten diseñar un modelo del sistema real y realizar experimentos con este modelo, a fin de comprender el comportamiento del sistema y evaluar las distintas estrategias operativas en el estudio del mismo. Además, esta autora aclara que los modelos de simulación “son incapaces de generar una solución por sí mismos en el sentido de los modelos analíticos” y que “solo pueden servir como herramienta para el análisis del comportamiento de un sistema en condiciones especificadas por el experimentador” (p. 9).

Por otro lado, lo que hace que las simulaciones sean herramientas educativas poderosas es la posibilidad de alterar y ajustar ciertos aspectos de la realidad modelada, de manera que se facilite el aprendizaje y la práctica (Chernikova, 2020). Por ejemplo, permiten abordar eventos menos frecuentes, acortar el tiempo de respuesta, brindar retroalimentación inmediata al alumno, entre otros. De acuerdo con Olga Chernikova (2020), uno de los principales problemas de la educación superior radica en la falta de retroalimentación en el contexto de actividades auténticas y complejas. La retroalimentación se entiende

comúnmente como el proceso mediante el cual se proporciona al estudiante información sobre la discrepancia entre los indicadores observables de su desempeño y el objetivo esperado. En este sentido, las simulaciones permiten manipular variables y observar cómo sus modificaciones afectan los resultados, lo que brinda a los estudiantes oportunidades para practicar habilidades de manera repetida en un entorno seguro y recibir retroalimentación inmediata sobre sus acciones (Lehtinen, 2023; Zenios, 2020). Sin embargo, las simulaciones van más allá de ser una simple retroalimentación, ya que ofrecen oportunidades para aplicar el conocimiento de manera significativa a problemas profesionales (Chernikova, 2020). Asimismo, los problemas simulados pueden adaptarse a las necesidades de los estudiantes, lo que hace que, en muchos casos, sean más eficaces que la práctica real.

Otro aspecto relevante es el uso del andamiaje en los entornos de aprendizaje basados en simulación. El andamiaje educativo o *scaffolding* es un concepto clave dentro de las metodologías educativas contemporáneas. Se trata de un método de enseñanza que, mediante asistencia y acompañamiento, facilita a los estudiantes la resolución de problemas o la realización de tareas para alcanzar los objetivos educativos establecidos. Este soporte o andamio educativo se proporciona a través de diversas estructuras, estrategias o actividades de apoyo que el docente ofrece para que el estudiante pueda construir su propio conocimiento. El propósito no es dar la respuesta directa al alumno, sino proporcionarle una base que le permita avanzar en su aprendizaje. El andamiaje, a través de sugerencias que ayudan a coordinar los pasos en la resolución de problemas, facilita al estudiante la modificación de tareas y la reducción de posibles caminos erróneos, maximizando el aprendizaje y evitando la sobrecarga cognitiva, la distracción o la tendencia a enfocarse en aspectos superficiales de una situación (Chernikova, 2020). Estos tipos de andamiaje pueden organizarse en una escala que va desde niveles altos de orientación instructiva y poca necesidad de autorregulación para el desarrollo de habilidades, hasta niveles elevados de autorregulación con mínima orientación instructiva. Chernikova (2020) sugiere identificar los tipos, combinaciones y secuencias de andamiaje más eficaces según el nivel de conocimiento y experiencia previa de los estudiantes. El marco propuesto indica que los estudiantes con distintos niveles de conocimiento previo se beneficiarán de diferentes enfoques de andamiaje. En

concreto, los estudiantes con un alto nivel de conocimientos previos se beneficiarían más de un andamiaje que fomente y requiera mayor autorregulación (por ejemplo, induciendo fases de reflexión), mientras que aquellos con menos conocimiento previo necesitarían más orientación (por ejemplo, a través de guías y demostraciones).

Otro aspecto a considerar es la evaluación y calificación de los estudiantes que realizan las actividades de simulación. En muchas ocasiones las simulaciones no se califican, sino que se utilizan con fines de evaluación formativa y desarrollo profesional (Verkuyl, 2022). La evaluación formativa es la más comúnmente asociada a las simulaciones virtuales (Verkuyl, 2022). Su propósito es ayudar a educadores y estudiantes a determinar si el aprendizaje está ocurriendo, permitiendo ajustes oportunos en las estrategias de enseñanza para satisfacer mejor las necesidades de los alumnos. Las evaluaciones formativas suelen ser informales y, en muchos casos, no se califican, o si se califican, la calificación no impacta en la nota final. El objetivo en estos casos es alentar a los estudiantes a explorar la simulación de manera libre, promoviendo el aprendizaje sin penalizaciones. Asimismo, esta evaluación ayuda a los educadores a identificar la necesidad de revisar algún concepto o de explicarlo de manera diferente.

Como ocurre con cualquier estrategia de enseñanza, las simulaciones no están destinadas a utilizarse de forma aislada, sino que son más eficaces cuando se integran en el plan de estudios con otras actividades de aprendizaje y como parte de un proceso. Según Margaret Verkuyl (2022), existen cinco patrones comunes respecto a cómo se pueden utilizar las simulaciones:

I - Actividades de estudio independiente: se utilizan para ampliar, complementar o reemplazar las actividades didácticas previstas en el plan de estudios con una experiencia más interactiva, o para ofrecer una experiencia que no podría garantizarse de otro modo. Los estudiantes suelen acceder a ellas de manera autónoma y dependen en gran medida de la retroalimentación proporcionada durante la simulación, aunque una sesión informativa grupal facilitada resulta ser muy beneficiosa.

II - Actividades grupales colaborativas: los estudiantes participan en la simulación en grupos pequeños o grandes, ya sea en línea o de manera presencial.

III - Actividades combinadas: combinan una serie de actividades de simulación virtual con otras actividades de aprendizaje, ya sean presenciales o en línea.

IV - Actividades puente: las simulaciones se utilizan específicamente para preparar a los alumnos para una actividad más desafiante o realista, como una actividad laboral concreta.

V - Actividades de referencia: los estudiantes acceden por sí mismos a la simulación bajo demanda, como una actividad de aprendizaje autorregulado. Este enfoque se observa con mayor frecuencia en el desarrollo profesional continuo.

Las tareas propuestas en este TFI se enmarcan dentro de los tres primeros patrones, ya que incluyen, por un lado, trabajos grupales colaborativos dentro del contexto de las actividades presenciales del trabajo práctico y del seminario, y, por otro, la resolución de situaciones problemáticas de manera individual e independiente.

## **2.3 Innovación curricular, nuevas tecnologías y programas de simulación**

### *2.3.1 Curriculum e innovación*

Al abordar los aspectos teóricos relacionados con las innovaciones curriculares resulta conveniente en primer lugar definir los términos *curriculum* e innovación. Siguiendo a la investigadora mexicana Alicia de Alba (1995), el *curriculum* o currículum puede definirse como una síntesis de elementos culturales (conocimientos, valores, costumbres, creencias, hábitos) que conforman una propuesta político-educativa pensada e impulsada por diferentes grupos y sectores sociales, cuyos intereses son diversos y a menudo contradictorios. Es una síntesis a la cual se llega a través de mecanismos de negociación e imposición social. El *curriculum*, entonces, debe considerarse como una propuesta conformada por aspectos estructurales formales y procesales prácticos, así como por dimensiones generales y particulares que interactúan en el devenir histórico de las instituciones educativas. Asimismo, el *curriculum* debe entenderse como un horizonte formativo de carácter áulico, institucional y social, que necesita ser confrontado y enriquecido con los aportes del currículum en acción (Coscarelli, 2014). Por lo tanto, es esencial reconocer que los programas deben ser analizados y revisados periódicamente, para implementar las modificaciones y mejoras necesarias que los alineen con el desarrollo del

conocimiento, las prácticas sociales y la propia experiencia de enseñar (Davini, 2008).

Por otro lado, la innovación se concibe como un proceso planeado, deliberativo, sistematizado e intencional que introduce cambios destinados a mejorar lo que ya existe (Salinas, 2004; Fernández Lamarra, 2015). Estos cambios están asociados a objetivos y metas previamente establecidos, y a un conjunto de decisiones curriculares que deben ser tomadas como su condición de posibilidad (Barraza Macías, 2013). Esto implica la elaboración de un marco referencial y la explicitación de las elecciones y elaboraciones comprendidas en la innovación (sistematización y formalización), así como su seguimiento a lo largo del tiempo y su evaluación (Salinas, 2004; Zabalza, 2012). Además de los cambios en el *currículum*, la innovación también conlleva transformaciones en la forma de ver, pensar, organizar y coordinar las disciplinas (Salinas, 2009). Según Jesús Salinas (2004), “el éxito o fracaso de las innovaciones educativas depende, en gran parte, de la forma en la que los diferentes actores educativos interpretan, redefinen, filtran y dan forma a los cambios propuestos” (p. 4). Asimismo, este autor afirma que, para que se produzcan auténticas innovaciones, deben producirse cambios en dos ámbitos necesariamente interrelacionados: el de los sujetos (subjetivo) y el del contexto (objetivo). El ámbito subjetivo implica el cambio en las representaciones y teorías implícitas de los actores educativos, a partir de las cuales interpretan y adaptan las innovaciones. Por otro lado, el ámbito objetivo hace referencia a las prácticas que son objeto de transformación, tales como los contenidos de enseñanza, las estrategias metodológicas, los materiales curriculares, y los enfoques y prácticas de evaluación.

### *2.3.2 Procesos de innovación basados en nuevas tecnologías*

Existe un contexto de cambios que ocurren en distintos órdenes y que constituyen una presión externa para introducir procesos de innovación en las instituciones de educación superior. Entre estos cambios destacan, en particular, los cambios en las características de nuestros estudiantes, los cambios en la generación, gestión y distribución del conocimiento, y los cambios propiciados por las TIC (Salinas, 2004). En este contexto, tal como afirma Marcela Rivarola (2023), todos los docentes podemos percibir que nuestros estudiantes

ya no conciben un entorno de vida en el que no estén interactuando y desarrollando sus actividades a través de las pantallas, ya sea en las redes sociales o en sitios web, o sin recurrir al Internet para que los asista en diversas situaciones (p. 5).

Es por ello que, entre los distintos procesos de innovación curricular que tienen lugar en las instituciones universitarias, resulta particularmente interesante enfocarse en experiencias relacionadas con la explotación de las posibilidades comunicativas de las TIC. Según el *UNESCO Institute for Statistics* (2009), las TIC se definen como un conjunto diverso de herramientas y recursos tecnológicos utilizados para transmitir, almacenar, crear, compartir o intercambiar información. Estas herramientas y recursos tecnológicos incluyen computadoras, Internet (sitios web, blogs y correos electrónicos), tecnologías de transmisión en vivo (radio, televisión y *webcasting*), tecnologías de transmisión grabada (*podcasting*, reproductores de audio y video, dispositivos de almacenamiento) y telefonía (fija o móvil, satélite, videoconferencia).

De acuerdo con Marcela Rivarola (2023), “es tarea de los docentes indagar, diseñar, implementar y posteriormente evaluar materiales educativos que irruman en lo tradicional y produzcan un impacto positivo en los procesos de enseñar y aprender” (p. 3). En este sentido, las TIC pueden convertirse en un valioso instrumento a incorporar constantemente a las actividades académicas, ya que, a través de su potencial y alcance, ofrecen nuevos apoyos a los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Entre las posibilidades que brindan las TIC en el ámbito educativo podemos destacar (Cabero, 2007):

- ✓ Ampliación de la oferta informativa, con una rápida actualización.
- ✓ Creación de entornos más flexibles para el aprendizaje.
- ✓ Incremento de las modalidades comunicativas.
- ✓ Potenciación de los escenarios y entornos interactivos.
- ✓ Fomento tanto del aprendizaje autónomo y autoaprendizaje como del colaborativo y en grupo.
- ✓ Ruptura de los tradicionales escenarios formativos, limitados a las instituciones escolares.

- ✓ Ofrecimiento de nuevas posibilidades para la orientación y tutorización de los estudiantes.
- ✓ Facilitación de la formación continua.

El campo de la enseñanza basada en simulación también experimentó una gran revolución con la aparición de las TIC (Hallinger, 2020). A partir de la década de 1980, las simulaciones por computadora permitieron a los educadores explotar las capacidades interactivas que ofrecen las computadoras de escritorio. Estas capacidades ampliaron el potencial de las simulaciones, ya que ofrecieron a los estudiantes la oportunidad de modelar diferentes secuencias de decisiones y observar los patrones en las consecuencias resultantes. Con el aumento del ancho de banda de la red mundial en la década de 2000, las simulaciones por computadora de escritorio evolucionaron hacia simulaciones en línea basadas en la web. Estas simulaciones web proporcionan a los estudiantes un acceso más amplio y flexible, permitiéndoles vincular las simulaciones a contenido externo de la web global, al tiempo que mejoran las capacidades de recopilación de datos para los investigadores (Hallinger, 2020).

Los procesos de innovación que contemplan la incorporación de las TIC en la docencia universitaria presentan múltiples facetas, en las que intervienen factores políticos, económicos, ideológicos, culturales y psicológicos, y afectan a diferentes planos contextuales, desde el nivel del aula hasta el del grupo de universidades (Salinas, 2004). Según Bjørn Stensaker (2007), la cuestión central en la actualidad no es si las universidades deberían integrar las TIC en sus programas de estudio ni las diversas consecuencias que esta integración podría acarrear para la educación superior, sino más bien qué tan rápido pueden implementar las oportunidades que ofrece la nueva tecnología. Este sentido de urgencia relacionado con la necesidad de utilizar y actualizar constantemente las TIC en la educación superior ha llevado a muchas universidades a adoptar un enfoque de adaptación más orientado a la acción, donde la atención se centra más en los resultados inmediatos que en los procesos y fundamentos necesarios para una integración efectiva de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje. En este sentido, tanto Salinas (2004) como Zenios (2020) destacan que no debemos perder de vista que el foco de interés de las innovaciones basadas en

tecnologías debe ser siempre el proceso de aprendizaje, y nunca las tecnologías en sí mismas.

Para que las experiencias de innovación que implican el uso de las TIC en la docencia sean exitosas es crucial, por un lado, contar con el compromiso y el apoyo institucional, y por el otro, con la motivación y el convencimiento del profesorado (Salinas, 2004). De hecho, la incorporación de estas tecnologías trae consigo transformaciones en el rol docente. Diversos autores coinciden en que, en los entornos de aprendizaje que aprovechan las posibilidades de la comunicación mediada por ordenador, el docente pasa de ser un transmisor de conocimiento a un mediador en la construcción del conocimiento por parte de los estudiantes:

El profesor debe pasar a actuar como guía de los alumnos, facilitándoles el uso de los recursos y las herramientas que necesitan para explorar y elaborar nuevos conocimientos y destrezas; pasa a actuar como gestor de la pléyade de recursos de aprendizaje y a acentuar su papel de orientador (Salinas, 2004, p. 7).

En el ámbito de la enseñanza de la química y las ciencias en general, las TIC son herramientas de gran utilidad para la transmisión de los contenidos teóricos científicos. Facilitan el acceso a la información, la presentación de esta en diferentes soportes y sistemas simbólicos, la modelización de fenómenos, la construcción e interpretación de representaciones gráficas, el trabajo con sistemas expertos, y brindan la posibilidad de realizar simulaciones de procesos y prácticas de laboratorio (Cabero, 2007). En este último punto se encuadra el empleo de simulaciones por computadora o por ordenador, que son programas informáticos basados en modelos de sistemas representados mediante un conjunto de variables o parámetros. Estos parámetros se modifican para obtener resultados observables que permiten inferir cómo influyen dichos parámetros en el comportamiento del sistema representado (Cabero, 2007). Por tanto, la simulación por computadora describe de manera intuitiva el comportamiento del sistema real, proporcionando al alumno la oportunidad de interactuar, reflexionar y aprender, participando de forma activa en el proceso educativo (Cabero, 2007).

### 2.3.3 Integración de simuladores en los planes de estudio

La integración de simuladores en la educación superior permite abordar de manera más eficiente el proceso de formación académica, fomentando un conocimiento tanto analítico como práctico, y ayudando asimismo a la adquisición de destrezas y habilidades en la incorporación del conocimiento tecnológico (Vergel Ortega, 2021).

Según Maria Zenios (2020), el uso de simulaciones es un campo prometedor, pero su integración en los planes de estudio existentes supone todo un desafío. Margaret Verkuyl (2022), por su parte, plantea que existe un proceso estructurado para integrar eficazmente las actividades de simulación en el *curriculum*, independientemente de la tecnología utilizada, el área temática o la arquitectura de la simulación. Para esta autora, los pasos que conforman este proceso de integración son:

1. *Sesión informativa previa (prebriefing)*. Consiste en una sesión de información u orientación que se lleva a cabo antes de iniciar la actividad de simulación, en la cual se proporcionan a los estudiantes instrucciones sobre las actividades, expectativas y consideraciones de seguridad.
2. *Escenario o evento de simulación*. En esta fase los estudiantes participan directamente en la simulación, ya sea de manera individual o grupal, de forma presencial o en línea, y en este último caso, de manera sincrónica o asincrónica.
3. *Informe (debriefing)*. Se trata de un proceso sistemático en el que los alumnos identifican y expresan sus reacciones a la simulación, brindando una oportunidad para la reflexión y el aprendizaje profundo. El informe puede implicar retroalimentación del *software* de simulación, autoinforme y/o informe facilitado.
4. *Evaluación*. Implica un examen sistemático y detallado de las actividades de aprendizaje, las experiencias de los estudiantes y el proceso de facilitación, con el objetivo de garantizar la calidad y la seguridad.

Más adelante, para definir la secuencia de actividades a realizar con el simulador de HPLC, se toma como referencia esta serie de pasos propuesta por Verkuyl. Por otro lado, esta autora sostiene que las simulaciones virtuales deben utilizarse de manera periódica, y no como una experiencia aislada. Resulta crucial comenzar con situaciones simples y, gradualmente, avanzar hacia simulaciones más complejas. La entrega de una secuencia de pasos detallada y claramente

delineada, previa a la realización de simulaciones complejas, consolida el conocimiento de los estudiantes sobre la experiencia de simulación virtual, lo que a su vez optimiza el aprendizaje y prolonga el tiempo dedicado a la tarea. Estas consideraciones también serán tenidas en cuenta a la hora de diseñar las actividades con el mencionado simulador.

## **2.4 Bases teóricas del aprendizaje basado en simulación**

La simulación es una poderosa herramienta de aprendizaje, pero su adecuado diseño e implementación requiere la comprensión e incorporación de una teoría educativa y prácticas pedagógicas sólidas (Ross, 2021). Las teorías del aprendizaje se enfocan en cómo los estudiantes adquieren, procesan y retienen nuevos conocimientos (Ross, 2021). Las bases teóricas que respaldan el aprendizaje basado en simulación abarcan diversos enfoques, que destacan diferentes características de este proceso de aprendizaje.

### *2.4.1 La teoría de la experiencia de John Dewey: aprender haciendo*

El marco teórico más tradicional en este ámbito lo compone la teoría de la experiencia formulada por el pedagogo, psicólogo y filósofo estadounidense John Dewey, la cual está basada en el concepto de aprender haciendo (*“learning by doing”*). Según esta teoría,

el ser humano aprende en interacción con su ambiente a partir de su capacidad de adaptación funcional, a través del ensayo y error. Ello le permite progresar en la lucha por adaptarse y dominar el ambiente en el que vive. Se aprende por experiencia, mediante la educación por acción. La educación escolar debe por tanto favorecer el diseño de experiencias reales para los estudiantes, que supongan a su vez la resolución de problemas prácticos (Ruiz, 2013, p. 108).

Existen dos principios fundamentales para interpretar la función y el poder educativo de una experiencia. El primero es la *continuidad*, que refiere a cómo la experiencia vivida influye o prepara para experiencias futuras. El segundo es

el de la *interacción*: para que exista experiencia, debe haber una situación en la que un individuo interactúe con el entorno (Baraldi, 2021). El enfoque de Dewey sostiene que el aprendiz debe tener una experiencia directa basada en un problema auténtico, que despierte su interés, lo involucre personalmente y, además, le permita construir los conocimientos necesarios para resolverlo (Cataldi, 2013). El interés adquiere así una centralidad dentro del sistema filosófico de Dewey, quien considera que la enseñanza sólo puede despertar el interés de los estudiantes si se apoya en el despliegue de sus intereses reales (Ruiz, 2013).

#### 2.4.2 *Los aportes del constructivismo*

El constructivismo considera el aprendizaje como un proceso activo de construcción de significado (Verkuyl, 2022). Sostiene que los individuos construyen su propio aprendizaje a partir de su procesamiento personal de la información. Los diferentes enfoques sobre cómo ocurre este procesamiento de la información dan origen a las dos corrientes más significativas del constructivismo: el constructivismo cognitivo y el constructivismo socio-cultural (Ross, 2021).

El *constructivismo cognitivo*, que hunde sus raíces en las ideas de Jean Piaget, sostiene que el proceso de construcción del conocimiento es eminentemente individual, esto es, el significado es construido únicamente por el individuo. El aprendizaje, por tanto, es un proceso que depende en gran medida del procesamiento cognitivo interno del individuo (Ross, 2021). Los individuos crean significado a partir de sus experiencias. Los alumnos no absorben pasivamente conocimientos del mundo exterior, sino que establecen su propia comprensión basándose en experiencias personales. Según los constructivistas, todos los alumnos presentan conocimientos o esquemas preexistentes. La nueva información y las nuevas experiencias se vinculan con los conocimientos previos de los estudiantes, que luego son reactivados, revisados y reforzados (Verkuyl, 2022). Cuando se presenta una nueva experiencia o información que entra en conflicto con su conocimiento preexistente, se genera un dilema cognitivo, el cual motiva al estudiante a resolverlo. El alumno puede recurrir a la asimilación o a la acomodación para resolver el conflicto (Ross, 2021). A través de la asimilación,

el alumno integra la nueva información en su conocimiento preexistente. Mediante la acomodación, el alumno utiliza la nueva información para revisar o modificar el conocimiento existente, haciéndolo consistente con la realidad externa.

El *constructivismo socio-cultural* tiene su origen en los trabajos de Lev S. Vygotsky, y enfatiza la influencia de la sociedad y la cultura en la construcción del conocimiento. Si bien también sostiene que los estudiantes construyen su propio conocimiento, considera que el desarrollo cognitivo es profundamente contextual, ya que está mediado por otros individuos que interactúan con el estudiante (Ross, 2021). De esta manera, el constructivismo socio-cultural propone que una persona “construye significados actuando en un entorno estructurado e interactuando con otras personas de forma intencional” (Serrano González-Tejero, 2011, p. 8). Un concepto clave en este enfoque es la *zona de desarrollo próximo*, entendida como la brecha entre lo que los alumnos pueden hacer de forma independiente y lo que pueden hacer con orientación o colaboración (Ross, 2021). La incorporación de andamiaje educativo o *scaffolding* permite a los estudiantes dominar conceptos que, de otro modo, les resultarían inaccesibles, favoreciendo de este modo su confianza y competencia (Ross, 2021). En este enfoque centrado en el estudiante, el papel del educador es el de facilitador, más que el de dispensador de información (Verkuyl, 2022). El educador no les indica a los estudiantes qué hacer, sino que, en cambio, se limita a brindar cierta información de apoyo que les permita construir por sí mismos nuevos significados a partir de experiencias cuidadosamente planificadas.

De acuerdo con Sarah Ross (2021), las actividades de aprendizaje basadas en simulación brindan una excelente oportunidad para incorporar los principios del constructivismo en el proceso educativo de los estudiantes. El diseño típico de un escenario de simulación, que incluye una sesión informativa previa, un evento de simulación y una sesión informativa posterior, proporciona un marco que respalda un enfoque constructivista. Un evento de simulación bien diseñado e implementado permite a los estudiantes formular hipótesis de forma independiente, generalmente basadas en los detalles proporcionados durante la sesión informativa previa. Siguiendo con los aportes de Ross, la autora considera que el escenario debe estar cuidadosamente estructurado, teniendo en cuenta

el plan de estudios y los conocimientos previos de los estudiantes, de modo que la actividad ofrezca desafíos que estimulen sus habilidades y pensamiento crítico. Cuando un componente de la simulación desafía el conocimiento preexistente de los estudiantes se genera una oportunidad para el conflicto cognitivo. Un tutor facilitador atento puede ayudar a los estudiantes a reconfigurar su conocimiento existente en función de cómo piensa y actúa dentro de la simulación. También es fundamental que los facilitadores guíen a los estudiantes para que encuadren su propio aprendizaje dentro de los objetivos de aprendizaje del evento. Por otro lado, la autora afirma que las actividades de simulación en equipo permiten la retroalimentación y el andamiaje entre pares, lo que facilita y enriquece el proceso de construcción del conocimiento del estudiante.

Relacionado con la teoría constructivista se halla el modelo pedagógico del alineamiento constructivo (*constructive alignment*), conceptualizado por el profesor australiano John Biggs. Este modelo persigue que los objetivos de aprendizaje, los métodos de enseñanza y los criterios de evaluación se definan de manera coherente (es decir, que se alineen entre sí) para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Las actividades que estos realizan no deben surgir de manera aleatoria, sino que deben ser diseñadas de forma intencionada para estar en consonancia con los resultados de aprendizaje esperados y los procedimientos de evaluación del curso (Zenios, 2020). El concepto de alineamiento constructivo promueve actividades que involucran activamente a los estudiantes y les permiten construir significados a partir de sus propias acciones.

#### *2.4.3 Una perspectiva integradora: la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb*

La teoría del aprendizaje experiencial, concebida por David Kolb en la década de 1980, se erige como el modelo más referenciado en la literatura relativa a simuladores, ya que respalda experiencias interactivas como las que se generan en el aprendizaje basado en simulación.

La teoría de Kolb se fundamenta en las ideas de Dewey, Lewin y Piaget, quienes dedicaron gran parte de su trabajo al componente experiencial del aprendizaje (Poore, 2013). Dewey, mencionado previamente, subrayó la importancia del

aprendizaje a través de la experiencia, por encima de los libros de texto y la enseñanza tradicional. Por su parte, gran parte de la obra de Lewin se centró en la integración de la teoría con la práctica. El trabajo de Piaget, como se explicó anteriormente, se enfocó en cómo la experiencia influye en el desarrollo cognitivo. El objetivo de Kolb no fue presentar la teoría del aprendizaje experiencial como una alternativa o sustituto de las teorías cognitivas y conductuales, sino más bien como "una perspectiva integradora del aprendizaje que combina experiencia, percepción, cognición y comportamiento" (Kolb, 1984, p. 21).

Kolb caracteriza el aprendizaje como un ciclo de cuatro fases o etapas esenciales para el aprendiz (Verkuyl, 2022; Ross, 2021; Poore, 2013; Stocker, 2014):

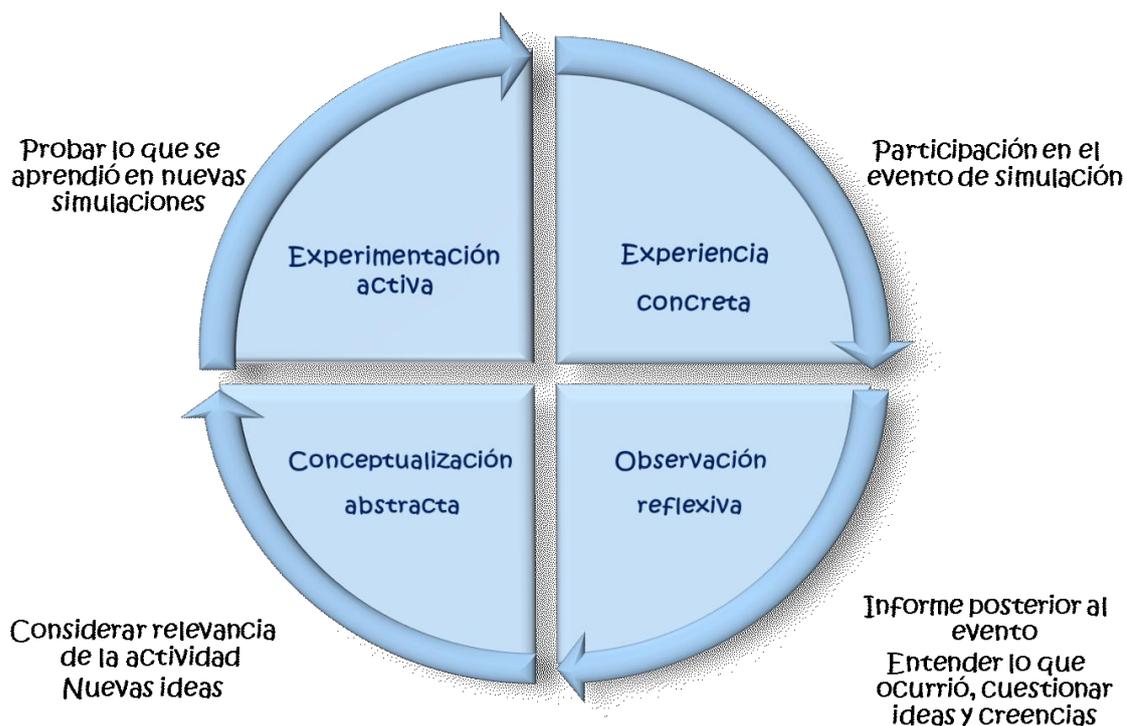
- *Experiencia concreta.* Es la experiencia de la que el alumno forma parte.
- *Observación reflexiva.* El alumno reflexiona sobre la experiencia desde diversas perspectivas, considerando los detalles del evento y su propia respuesta a este.
- *Conceptualización abstracta.* A través de la reflexión, el alumno integra sus observaciones en modelos más abstractos, elabora generalizaciones y principios, y extrae conclusiones, lo que da lugar a nuevos enfoques o pensamientos para abordar situaciones similares en el futuro.
- *Experimentación activa.* Esta fase permite probar estas nuevas ideas, principios y conclusiones para guiar decisiones y acciones en una nueva experiencia. Implica utilizar lo aprendido para orientar la práctica futura.

Cada una de estas fases se apoya mutuamente y alimenta a las demás. El aprendizaje no ocurre en una fase específica de este ciclo, sino que requiere la totalidad del ciclo para ser efectivo (Ross, 2021). Sin embargo, los estudiantes no siempre utilizan todas las fases por igual, y a menudo muestran preferencia por una o dos fases, dependiendo de sus estilos de aprendizaje individuales (Poore, 2013).

El aprendizaje experiencial implica, por lo tanto, la transformación de la experiencia en conocimientos, habilidades, valores y emociones a través de un proceso cíclico que incluye la reflexión (Zenios, 2020). La esencia del modelo radica en que las experiencias transformadoras conducen a la adquisición de conocimiento (Verkuyl, 2022).

Existen seis proposiciones centrales en la teoría del aprendizaje experiencial (Ross, 2021; Poore, 2013). En primer lugar, el aprendizaje no es un resultado, sino un proceso. Las ideas y los pensamientos se forman y reforman en base a las experiencias. En segundo lugar, todo aprendizaje implica reaprendizaje. Una experiencia concreta revela creencias y teorías preexistentes, las cuales son cuestionadas y puestas a prueba, lo que permite integrar nuevas ideas y refinar los sistemas de creencias y teorías anteriores. El aprendizaje a lo largo del tiempo no ocurre en ciclos aislados, sino en una especie de espiral, donde cada experiencia y ciclo concretos se construyen sobre los anteriores. De este modo, el aprendizaje es un ciclo que se repite continuamente: la finalización de un ciclo de aprendizaje de Kolb da paso a nuevas experiencias y, por ende, a otro ciclo de aprendizaje. En tercer lugar, para poder aprender con éxito los estudiantes deben equilibrar las demandas de los modos opuestos de adaptación al mundo: el conflicto entre reflexión y acción, y el conflicto entre pensamiento y sentimiento. Cuarto, el aprendizaje es un proceso holístico e integrador. Considera a la persona en su totalidad, incluyendo cómo piensa, siente, percibe y se comporta al resolver problemas y tomar decisiones. En quinto lugar, el proceso de aprendizaje transforma tanto al alumno como al entorno, existiendo una influencia recíproca entre ambos. Finalmente, en sexto lugar, el aprendizaje es un proceso de creación de conocimiento. El nuevo conocimiento surge cuando el conocimiento previo entra en contacto o entra en conflicto con una nueva experiencia.

La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb es el marco conceptual más utilizado en el contexto del aprendizaje basado en simulación, ya que este se alinea perfectamente con el ciclo de cuatro etapas y las seis proposiciones centrales mencionadas (Stocker, 2014; Ross, 2021). Las simulaciones brindan una excelente oportunidad para que los estudiantes se enfrenten a una experiencia concreta y experimenten libremente con ella en un entorno relativamente seguro. Además, proporcionan múltiples oportunidades para la reflexión crítica sobre la experiencia y los conceptos relacionados, un proceso esencial para el aprendizaje (Verkuyl, 2022). En base a esta excelente compatibilidad con el aprendizaje basado en simulación, la teoría de Kolb se adopta como marco conceptual principal en el diseño de la innovación propuesta con el simulador de HPLC.



**Figura 3.** Ciclo de aprendizaje de Kolb aplicado al contexto del aprendizaje basado en simulación.

Para que una actividad de aprendizaje basado en simulación se adhiera a la teoría y al ciclo del aprendizaje experiencial, debe diseñarse para cumplir con todas las fases del ciclo, como se observa en la Fig. 3 (Ross, 2021). El evento de simulación en sí constituye la experiencia concreta, que actúa como catalizador del aprendizaje. Esta experiencia permite al alumno identificar brechas en su conocimiento (Ross, 2021; Poore, 2013). La simulación debe ser lo suficientemente desafiante como para generar un nivel de tensión en el alumno, pero sin llegar a ser tan difícil como para bloquear el proceso de aprendizaje.

La sesión informativa posterior abarca la fase de observación reflexiva, en la que los alumnos trabajan para comprender lo ocurrido durante el evento (Ross, 2021; Poore, 2013). Los participantes comparten narraciones y expresan reflexiones sobre los problemas y situaciones relevantes que experimentaron durante el evento simulado (Stocker, 2014). Por otro lado, los tutores facilitadores de la sesión pueden proporcionar una visión objetiva de lo ocurrido, lo que permite a los estudiantes comparar su propia percepción del evento. Además, los

facilitadores pueden fomentar el pensamiento reflexivo de los estudiantes mediante preguntas abiertas y de sondeo (Ross, 2021). Se formulan preguntas y los alumnos discuten diversos puntos de vista y aspectos del problema (Stocker, 2014). La expectativa es que los alumnos reconfiguren su modelo mental preexistente. En otras palabras, para que ocurra el aprendizaje, los alumnos deben reflexionar sobre sus comportamientos, ideas y creencias (Ross, 2021; Poore, 2013). Stocker (2014) considera que esta etapa de reflexión crítica debe desarrollarse preferentemente en un marco de trabajo grupal. Según este autor, las conceptualizaciones e interpretaciones previas influyen en las observaciones individuales, lo que dificulta la capacidad del alumno para observar experiencias de manera imparcial, pensar críticamente desafiando los marcos habituales y conceptualizar nuevos principios. Por ello, sostiene que es necesario el impacto de todos los miembros del grupo para incentivar y motivar a cada participante individual a desafiar sus propias creencias.

Una vez que los alumnos hayan comprendido el evento, el facilitador de la sesión informativa debe aprovechar la oportunidad para guiar la discusión hacia la fase de conceptualización abstracta, en la que las reflexiones se asimilan y destilan en conceptos abstractos, a partir de los cuales se pueden extraer nuevas implicaciones para la acción (Ross, 2021; Stocker, 2014). Esta fase permite a los alumnos evaluar la relevancia de la experiencia, estimula nuevas ideas y les ofrece la oportunidad de reflexionar sobre si algo debería haberse hecho de manera diferente durante la simulación (Poore, 2013). A través de la discusión y la facilitación del tutor, los alumnos desarrollan un nuevo modelo de pensamientos e ideas, incorporando recursos externos y nuevas perspectivas si es necesario (Ross, 2021).

La última fase es la experimentación activa, en la que los alumnos tienen la oportunidad de poner en práctica estos nuevos pensamientos e ideas en situaciones nuevas, como por ejemplo nuevas simulaciones o experiencias laborales (Ross, 2021; Poore, 2013; Stocker, 2014). Esta fase del ciclo generalmente no se lleva a cabo durante la misma sesión de simulación, sino que se completa más tarde, experimentando en un segundo escenario, usualmente de forma individual (Stocker, 2014). Según Ross (2021), los planificadores de la simulación deberían considerar un modelo que incluya la repetición de los eventos de simulación, de manera tal que permita a los alumnos

volver a la simulación para ayudar a cimentar el nuevo aprendizaje adquirido durante la sesión informativa. Como los alumnos pueden reproducir las simulaciones virtuales tantas veces como deseen, pueden explorar diferentes opciones y rutas de decisión, lo que amplía la reflexión y fomenta el aprendizaje (Verkuyl, 2022).

De este modo, podemos concluir que el empleo de herramientas de simulación favorece formas experienciales de aprendizaje in situ, organizadas en torno a problemas auténticos de la vida real, permitiendo que los estudiantes tengan más oportunidades de relacionar la teoría con la práctica y estén mejor preparados para ingresar a sus entornos laborales una vez graduados (Zenios, 2020).

#### *2.4.4 Otros aportes teóricos*

Malcolm Knowles fue otro teórico destacado en el ámbito del aprendizaje experiencial. Introdujo los principios de la andragogía y resumió las claves del aprendizaje en adultos de la siguiente manera: el aprendizaje es más eficaz cuando se relaciona con experiencias previas, cuando está motivado internamente y cuando se centra en problemas relevantes para los aprendices (Stocker, 2014). En consecuencia, para diseñar escenarios realistas y bien organizados, con relevancia profesional y autenticidad óptima, los escenarios de simulación deben derivarse de acontecimientos reales (Stocker, 2014).

Otra teoría relevante para la simulación virtual y coherente con el constructivismo es la teoría cognitivo-social del aprendizaje de Albert Bandura. Su premisa fundamental sostiene que el aprendizaje es un proceso cognitivo que no puede desvincularse del contexto. Al igual que Vygotski, Bandura se centró en la relación del aprendiz con su entorno social, destacando que todo proceso de aprendizaje involucra dos factores clave: el cognitivo y el social (Rodríguez-Rey, 2020). En este sentido, la teoría de Bandura otorga un papel crucial a los "otros", es decir, a la influencia de la conducta de otras personas en el aprendizaje, en la personalidad y en la propia conducta. Bandura identificó cuatro condiciones necesarias para que el aprendizaje se produzca mediante modelado y observación: atención (es decir, prestar atención), retención (almacenar la información o el comportamiento aprendido), reproducción (ejecutar acciones) y motivación (modelar el comportamiento observado) (Verkuyl, 2022). Según

Bandura, gran parte de la vida humana está influenciada por experiencias sociales, y al observar y modelar los comportamientos de los demás en dichas experiencias, los alumnos adquieren conocimientos y habilidades (Verkuyl, 2022). Además, la observación de las consecuencias de las experiencias ajenas puede ofrecer valiosas lecciones que mejoren la capacidad del alumno para afrontar diversas situaciones (Stocker, 2014).

Una teoría adicional que contribuye al campo de la simulación es la del aprendizaje situado de Brown, que se basa en la idea de que el conocimiento es contextual y situado, y está influido por la actividad, el contexto y la cultura en que se aplica (Paz Penagos, 2007). Brown plantea que las actividades educativas deben tener lugar en los propios ambientes en los cuales se desarrolla y se aplica el conocimiento, ya que la construcción del conocimiento es un proceso dinámico, fruto de la interacción con la situación (Brown, 1989). Esta teoría tiene un enfoque inherentemente social y parte de la premisa de que la participación en las prácticas de una comunidad promueve el aprendizaje. De acuerdo con esta perspectiva, el aprendizaje depende de la experiencia vivida a través de la participación en los diversos eventos y actividades que ocurren dentro del contexto de la comunidad (Zenios, 2020). Así, la construcción del conocimiento es concebida como una práctica en la experiencia, por lo que aprender implica el compromiso y la participación activa dentro de una comunidad de práctica (Zenios, 2020).

Finalmente, resulta relevante considerar la teoría de la carga cognitiva, desarrollada por John Sweller en 1988. Esta teoría se basa en la premisa de que los alumnos tienen una memoria de trabajo limitada, por lo que, cuando hay una sobrecarga de estímulos, se vuelven incapaces de absorber o retener nuevos conocimientos, lo que reduce su capacidad para resolver problemas (Verkuyl, 2022). Por ende, es imperioso que los educadores eviten actividades que generen una sobrecarga innecesaria y que no contribuyan de manera directa al aprendizaje que se pretende lograr. En este sentido, al diseñar experiencias de simulación para los estudiantes, es fundamental considerar las expectativas, la cantidad de nueva información y la forma en que esta se presenta (Verkuyl, 2022).

## Capítulo 3: Diseño de la innovación propuesta

Este capítulo describe una serie de actividades prácticas diseñadas para integrar el simulador *Practical HPLC Simulator* en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Con el fin de que los estudiantes se enfrenten a desafíos realistas y desarrollen habilidades de resolución de problemas, tanto individual como colaborativamente, se han planificado actividades que fomentan la exploración de las variables del sistema, replicando la experiencia de un laboratorio real, y permitiendo que los estudiantes apliquen los conocimientos teóricos en un entorno práctico y seguro. Para estructurar la secuencia de actividades, se siguen los lineamientos propuestos por Verkuyl (2022) para la integración efectiva de simulaciones en el plan de estudios, adoptando la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb como marco conceptual principal.

El capítulo se estructura en tres fases. Inicialmente, se lleva a cabo una sesión informativa donde se presentan las características del simulador y se definen las actividades prácticas a realizar. Posteriormente, se llevan a cabo experiencias concretas de simulación en un escenario grupal, en donde el docente actúa como facilitador y guía a los estudiantes en su tránsito por las etapas de observación reflexiva y conceptualización abstracta. Para concluir, la adquisición de los conceptos y las capacidades pretendidas se evalúa mediante nuevas experimentaciones activas con el simulador.

### 3.1 Información introductoria

Tal como señala James Grinias (2022), las mejores prácticas para la implementación de simuladores en entornos educativos requieren que los estudiantes reciban instrucciones claras y detalladas sobre el uso de la herramienta. En este contexto, la primera tarea del cuerpo docente consistirá en elaborar y distribuir un tutorial exhaustivo (Anexo 1) que sirva de guía para el manejo del simulador de HPLC por parte de los alumnos. Este tutorial detalla el procedimiento para la descarga e instalación del *software*, así como las indicaciones necesarias para su utilización autónoma.

Para asegurar que los estudiantes dispongan de toda la información necesaria, se enviará una notificación a través del foro “Avisos” del aula virtual Moodle, al que están suscritos de forma obligatoria (es decir, la suscripción es automática y no es posible darse de baja). Esta notificación, enviada con dos semanas de antelación al Trabajo Práctico, detallará las actividades con el simulador e informará sobre el tutorial disponible. Además del tutorial, los estudiantes tendrán acceso a una guía que incluye una serie de situaciones problemáticas que se abordarán de manera grupal en clase. Ambos recursos estarán disponibles en formato PDF en Moodle y como documento de Google en la web. La notificación también resaltaré la necesidad de descargar el simulador en dispositivos móviles (*smartphones, notebooks* o *tablets*), y la instalación de Microsoft Excel, dado que el simulador es un archivo de este formato.

### **3.2 Experiencias concretas de simulación en un escenario grupal, guiadas por un docente**

Esta secuencia didáctica contempla el uso del simulador en el Laboratorio de Química Analítica Instrumental, donde grupos de alrededor de 20 estudiantes realizarán las actividades mientras aguardan su turno para operar el equipo real de HPLC. El tiempo asignado para estas actividades es de 40-45 minutos.



**Figura 4.** Puesta en común, utilizando un proyector para visualizar el trabajo con el simulador.

El objetivo es que los alumnos participen de manera grupal en diversos eventos de simulación, experimentando y debatiendo en torno a la resolución de una cuestión problemática específica. Para lograrlo, se requiere que el docente, por un lado, fomente el pensamiento reflexivo de los alumnos a través de preguntas abiertas y de sondeo, y por otro, conduzca puestas en común de forma secuencial, destacando los conceptos teórico-prácticos implicados. Resulta esencial para esta puesta en común que el docente pueda ir mostrando al conjunto su propio trabajo con el simulador, para lo cual deberá utilizar su propia computadora portátil y un proyector (Fig.4).

### **Actividad 1**

*Tiempo estimado:* 15 min

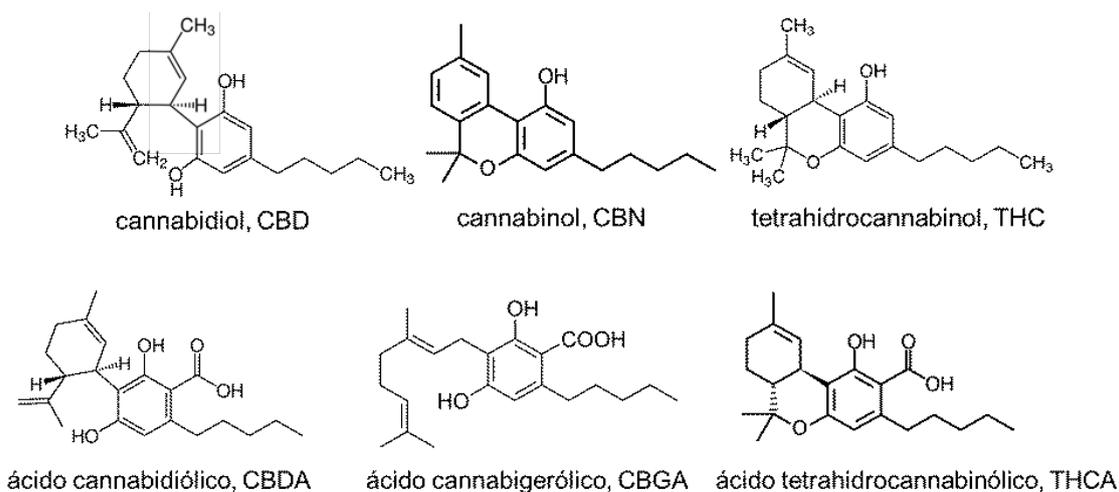
*Conceptos puestos en juego:*

Relación estructura - retención en cromatografía de fase inversa, efecto del pH sobre la retención en analitos disociables, mecanismos primarios de interacción de los modificadores orgánicos, corrida isocrática y en gradiente, efecto de la longitud de la columna y del caudal de fase móvil sobre la retención, efecto del tamaño de partícula sobre la presión.

*Situación problemática:*

Los principios activos de la marihuana (*Cannabis sativa*) son compuestos terpeno-fenólicos de 21 átomos de carbono denominados cannabinoides. Dentro de este grupo, los principales son tetrahidrocannabinol (THC), cannabidiol (CBD), cannabinol (CBN), ácido cannabidiólico (CBDA), ácido cannabigerólico (CBGA) y ácido tetrahidrocannabinólico (THCA), cuyas estructuras se presentan en la Fig. 5. El THC y el CBD son los cannabinoides más conocidos y estudiados. El THC es psicoactivo, y se utiliza para tratar el glaucoma, para aumentar el apetito, y para aliviar dolores y malestares de la quimioterapia. El CBD, que no tiene efectos psicoactivos, es muy útil en los casos de epilepsia (León Cam, 2017).

El aceite cannabis es un producto resinoso utilizado con fines medicinales que se obtiene al eliminar el solvente de los extractos que contienen los cannabinoides de las flores (cogollos) de la planta (León Cam, 2017). Su contenido de THC y CBD puede variar según la variedad del vegetal y las condiciones de elaboración. En este sentido, la HPLC conforma una valiosa herramienta para conocer la composición del aceite de cannabis medicinal y con esto, lograr un mejor ajuste para alcanzar el efecto terapéutico deseado.



**Figura 5.** Estructura de los principales cannabinoides.

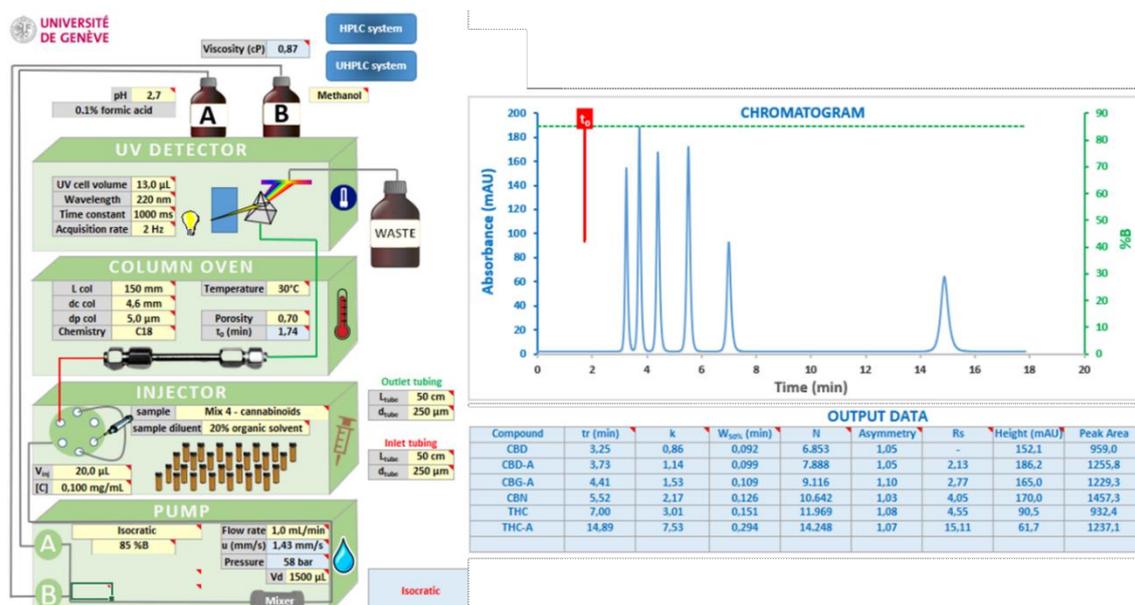
Se recibe en el laboratorio un aceite de cannabis que declara ser alto en CBD y bajo en THC, para ser utilizado con fines antiepilépticos. Para la separación y cuantificación de estos analitos se propone realizar un análisis por HPLC fase inversa, utilizando una columna C18 y una detección UV a 220 nm.

*Descripción de la actividad con el simulador:*

Se selecciona en el simulador la mezcla 4, cannabinoides, la columna C18 y la longitud de onda de detección.

En base a las estructuras químicas de los seis analitos de la mezcla, los alumnos deben seleccionar de manera justificada el pH del *buffer* acuoso y el tipo de modificador orgánico, teniendo en cuenta los mecanismos primarios de interacción de los mismos. En este sentido, lo que resulta más coherente es emplear el *buffer* de pH 2,7 para que los analitos estén en su forma neutra no disociada, y metanol que puede interaccionar con los analitos vía puentes de H.

Luego se busca una corrida isocrática cuya composición permita una buena resolución de los analitos en un tiempo razonable, tal como se observa en la Fig. 6. Se analiza también como, al cambiar el modificador orgánico por acetonitrilo, no es posible encontrar una condición isocrática que permita resolver el sistema.



**Figura 6.** Separación de los seis analitos de la mezcla 4, cannabinoides.

Para finalizar esta actividad, se examina la influencia de la longitud de la columna y el caudal de la fase móvil sobre la retención, así como el efecto del tamaño de partícula sobre la presión.

## Actividad 2

*Tiempo estimado:* 15 min

*Conceptos puestos en juego:*

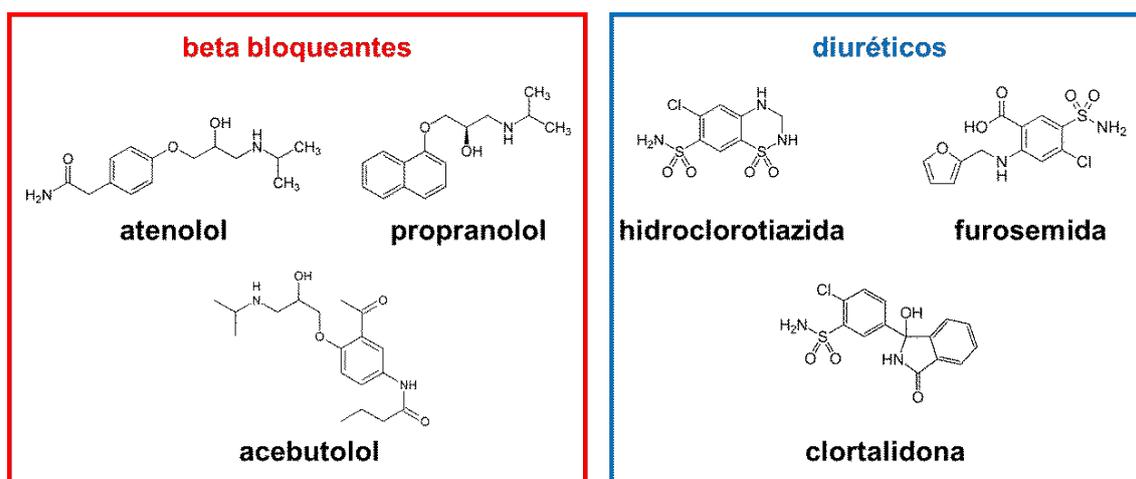
Relación estructura - retención en cromatografía de fase inversa, corrida isocrática y en gradiente, problema general de la elución.

*Situación problemática:*

La identificación de sustancias prohibidas en muestras de orina de un atleta se considera un delito de dopaje. Entre estas sustancias prohibidas se encuentran

los denominados beta bloqueantes y los diuréticos, algunos de los cuales se presentan en la Fig. 7.

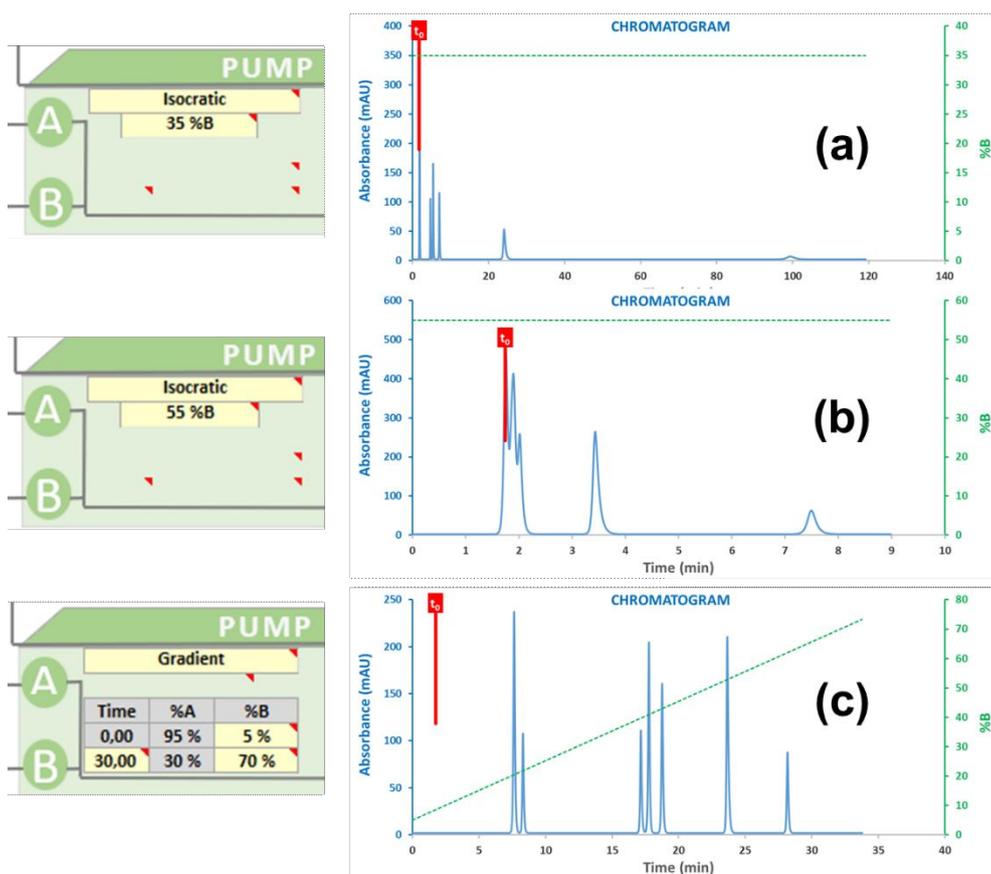
Se recibe en el laboratorio una muestra de orina de un atleta del que se sospecha consumo del beta bloqueante atenolol. Para la separación y cuantificación de este analito se propone realizar, luego de un pretratamiento adecuado, un análisis por HPLC fase inversa, utilizando una columna C18 y una detección UV a 220 nm.



**Figura 7.** Algunos beta bloqueantes y diuréticos prohibidos.

*Descripción de la actividad con el simulador:*

Se selecciona en el simulador la mezcla 7, agentes de dopaje, la columna C18 y la longitud de onda de detección. Se propone encontrar una condición isocrática que permita la correcta separación de estos analitos en un tiempo razonable. Se comprueba que al tratarse de compuestos con estructuras, polaridades y propiedades ácido-base tan diferentes, lo anterior no es posible. Con bajos %B los compuestos con mayor carácter no polar son muy retenidos, resultando picos anchos y tiempos de análisis largos (Fig. 8, a). Al aumentar el %B los tiempos de análisis se acortan significativamente, pero la fuerza de la fase móvil es tan grande que los compuestos más polares son poco retenidos y no son resueltos (Fig. 8, b). Se plantea entonces que, para resolver este problema, denominado problema general de la elución, es necesario trabajar en modo gradiente (Fig. 8, c). Se les solicita entonces a los alumnos encontrar las condiciones del gradiente que permitan una adecuada separación. Finalmente, se compara la forma de los picos obtenidos con un gradiente con la resultante de una elución isocrática.



**Figura 8.** Separación de los siete analitos de la mezcla 7, agentes de dopaje, utilizando metanol y *buffer* acetato de pH 4,5 como solventes. Se observa la necesidad de utilizar un gradiente para resolver correctamente el sistema.

### Actividad 3

*Tiempo estimado:* 10 min

*Conceptos puestos en juego:*

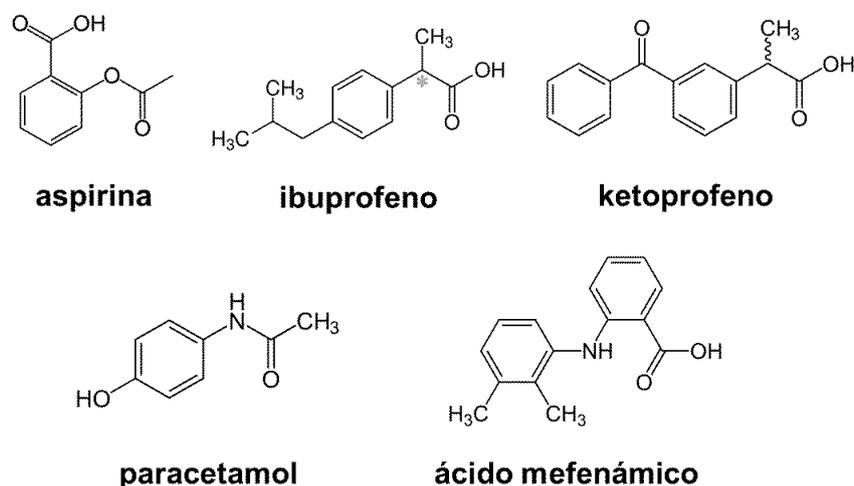
Relación estructura - retención en cromatografía de fase inversa, corrida isocrática y en gradiente, efecto del pH sobre la retención en analitos disociables, detector UV-visible de longitud de onda variable: selección de la longitud de onda de detección.

*Situación problemática:*

Los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) son un grupo de fármacos que tienen propiedades analgésicas, antipiréticas y antiinflamatorias. Las estructuras

de algunos de los AINEs más comunes se detallan en la Fig. 9. Debido a su amplio uso farmacológico, se consideran contaminantes emergentes, y es común encontrarlos en aguas superficiales. Su presencia tiene un impacto negativo tanto en la vida acuática como en la calidad del agua. La determinación rápida, precisa y selectiva de estos compuestos a bajas concentraciones en muestras ambientales se puede realizar mediante HPLC.

Se recibe en el laboratorio una muestra de agua de río, en la que desea determinar la presencia de paracetamol, ibuprofeno y ketoprofeno. Para la separación y cuantificación de estos analitos se propone realizar, luego de un pretratamiento adecuado, un análisis por HPLC fase inversa, utilizando una columna C18 y una detección UV a 220 nm.



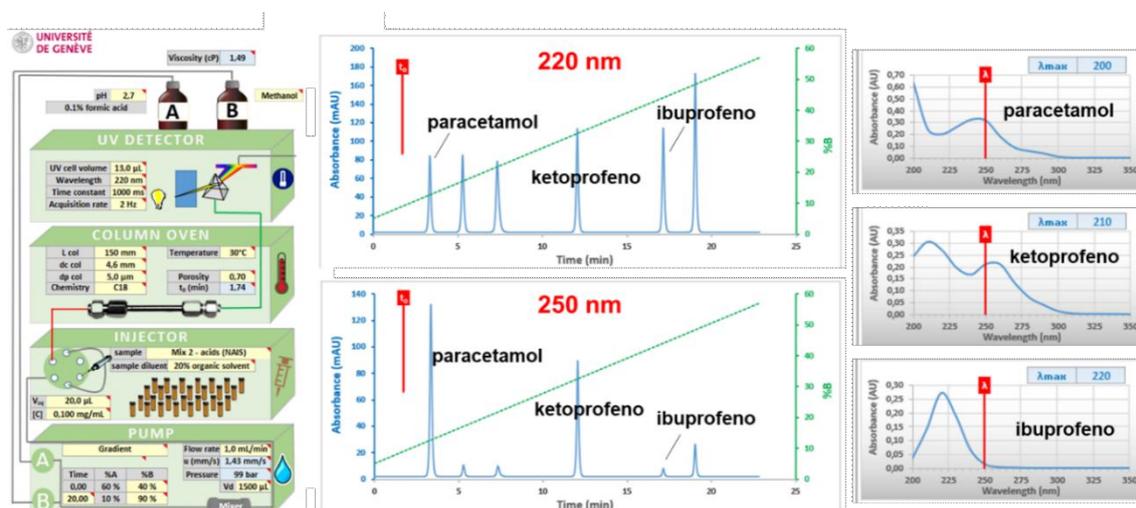
**Figura 9.** Algunos de los AINEs más comunes.

*Descripción de la actividad con el simulador:*

Se selecciona en el simulador la mezcla 2, antiinflamatorios no esteroideos, la columna C18 y la longitud de onda de detección.

Al visualizar el perfil de ionización de los distintos analitos en el simulador, se verifica nuevamente el requisito de trabajar a un pH de 2,7 para asegurar que todos los analitos se encuentren en su forma neutra. Además, se reitera la necesidad de utilizar un gradiente. También se examina el impacto de la longitud de onda de detección seleccionada sobre el área de los picos en el cromatograma. Por ejemplo, al cambiar la longitud de onda de 220 a 250 nm, se observa que el pico del ketoprofeno permanece casi inalterado, el pico

correspondiente al paracetamol experimenta una intensificación considerable, y el pico del ibuprofeno presenta una atenuación pronunciada (Fig. 10). Finalmente, estas observaciones se relacionan con los espectros de absorbancia de los distintos analitos de la mezcla (Fig. 10).



**Figura 10.** Separación de los seis analitos de la mezcla 2, antiinflamatorios no esteroideos, utilizando metanol y *buffer* de pH 2,7 como solventes. Se observa el efecto del cambio de la longitud de onda de detección de 220 a 250 nm sobre el área de los distintos picos.

### 3.3 Evaluación

#### 3.3.1 El carácter integral de la evaluación

En esta propuesta se comparte el concepto de evaluación planteado por la autora María Cristina Davini (2015), quien la concibe como un proceso integral que trasciende la mera medición de los aprendizajes estudiantiles. En su visión, la evaluación abarca también el análisis del valor, la pertinencia y la calidad de los procesos, estrategias y recursos implementados en la práctica educativa. Por consiguiente, la finalidad primordial de la evaluación radica en el análisis crítico y la mejora continua de las prácticas de enseñanza.

En lo concerniente a la evaluación de los conocimientos adquiridos, se propone implementar una evaluación continua, que permita un seguimiento constante del aprendizaje de los estudiantes. Esta evaluación implica un diálogo reflexivo

sobre lo aprendido, proporcionando retroalimentación oportuna y continua a lo largo de las actividades, tanto a nivel individual como grupal. Adicionalmente, se considera fundamental que los estudiantes tengan la oportunidad de evaluar las estrategias, los recursos, las actividades y la labor docente. Esta retroalimentación resulta crucial para que los docentes puedan reflexionar sobre sus prácticas y reorientarlas de manera efectiva.

### *3.3.2 Evaluación de los conocimientos adquiridos*

De acuerdo con Martin Stocker (2014), un entrenamiento simulado resulta eficaz cuando se ajusta a las cuatro etapas del ciclo de Kolb. Por lo tanto, y retomando lo detallado en el capítulo anterior, debe incluir un escenario para una experiencia concreta, un informe que promueva la observación reflexiva, una fase de conceptualización abstracta, y, finalmente, un segundo escenario para la experimentación activa. La omisión del segundo escenario de experimentación impide la aplicación de nuevos marcos en un entorno seguro, elimina la retroalimentación necesaria sobre las nuevas acciones y, a largo plazo, incrementa el riesgo de que los comportamientos conceptualizados no sean validados a través de la práctica.

En este contexto, para evaluar la adquisición de las capacidades relacionadas con el manejo de los conceptos de HPLC a través del simulador, se proponen dos nuevos escenarios de simulación que permitirán la experimentación activa, tanto individual como grupal. Con este fin, se propone incorporar dos actividades que impliquen el uso del simulador en el seminario de problemas correspondiente. Ambas actividades abordan una situación problemática que requiere una experimentación activa y criteriosa con el simulador.

#### *3.3.2.1 Actividad grupal en el seminario de problemas*

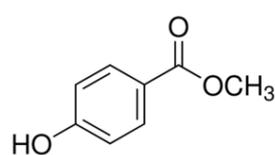
##### *Descripción:*

Esta primera actividad está diseñada para realizarse en grupo durante el seminario presencial, e incluye una autoevaluación asistida por una tabla de autocorrección.

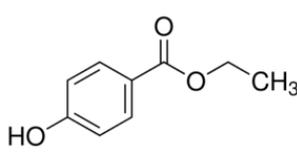
*Situación problemática:*

Los parabenos son ésteres del ácido p-hidroxibenzoico que se emplean comúnmente como conservantes en cosméticos y medicamentos, debido a sus propiedades bactericidas y fungicidas. Se pueden encontrar en champús, humectantes comerciales, espumas de afeitar, lubricantes, formulaciones farmacéuticas parenterales, maquillaje y pastas de dientes. También se utilizan como aditivos alimentarios. Además, los parabenos son frecuentemente utilizados como compuestos de prueba en HPLC para medir la eficiencia de la columna y la selectividad hidrofóbica.

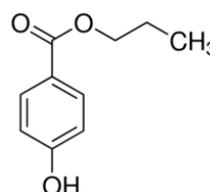
Se recibe en el laboratorio una espuma de afeitar que contiene una mezcla de metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno y butilparabeno, analitos cuyas estructuras se detallan a continuación:



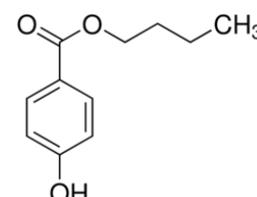
Metilparabeno



Etilparabeno



Propilparabeno



Butilparabeno

Luego de un pretratamiento adecuado, se pretende resolver la mezcla de parabenos mediante HPLC.

- En base a las estructuras de los analitos y teniendo en cuenta que la fase estacionaria consiste en sílice funcionalizada con grupos C18, ¿qué orden de elución esperan para los cuatro parabenos? Justifiquen su respuesta.
- Comprobar la predicción realizada en el apartado anterior mediante el *software Practical HPLC Simulator*. Para ello, en la sección correspondiente al inyector, se debe seleccionar la mezcla 1, parabenos. Esta mezcla contiene los cuatro parabenos mencionados y uracilo, analito que se utiliza en HPLC como marcador de tiempo muerto (compuesto no retenido) y, por lo tanto, siempre eluirá primero. Es importante considerar que el uracilo no absorbe a 220 nm, por lo que no será visible en el cromatograma al utilizar los valores predeterminados del *software*. Teniendo en cuenta la estructura de los parabenos, seleccionen el modificador orgánico y el *buffer* acuoso que consideren más apropiados. A continuación, encuentren unas condiciones de corrida isocrática que aseguren

una separación efectiva de todos los compuestos ( $R_s \geq 1,5$ ) y una separación rápida (tiempo de análisis inferior a 10 minutos).

*Tabla de autocorrección*

<b>Elemento a evaluar</b>	<b>Respuesta</b>	<b>En caso de respuesta no correcta</b>
Orden de elución	metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno y butilparabeno	Tener en cuenta que en HPLC fase inversa los compuestos con mayor carácter no polar son más retenidos. A medida que aumenta la longitud de cadena del grupo esterificado, aumenta el carácter no polar
Longitud de onda del detector	Cualquiera excepto 220 nm	En el <i>software</i> , ver el espectro del uracilo en el gráfico adjunto
Modificador orgánico	Metanol o acetonitrilo	Ambos modificadores pueden ser utilizados
<i>Buffer</i> acuoso	pH 2,7	Tener en cuenta que para que los parabenos permanezcan como compuestos neutros (sin carga neta) es necesario que los grupos OH fenólicos no se disocien, lo cual requiere un pH netamente ácido
Condiciones de corrida	60% de metanol o 45% de acetonitrilo	En el <i>software</i> , ver cromatogramas y tabla adjunta

### 3.3.2.2 Actividad individual en el seminario de problemas

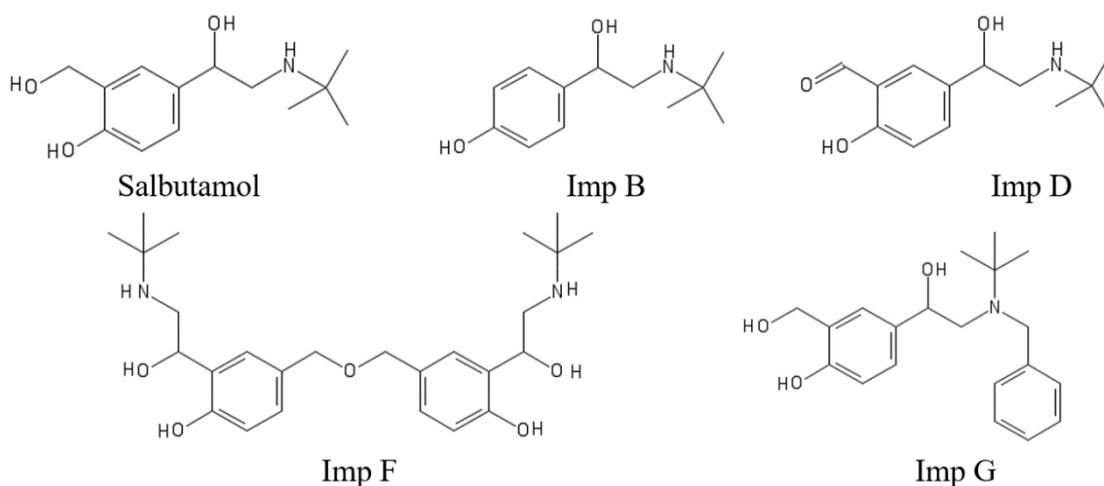
#### *Descripción:*

Se contempla que esta segunda actividad sea individual y de resolución en el hogar. El informe correspondiente deberá cargarse en un foro específico dentro del aula virtual Moodle, preferentemente como un archivo en formato Microsoft Word® (.docx), dentro de las dos semanas siguientes a la realización del seminario. En ese mismo foro (con suscripción obligatoria) cada una de las

entregas recibirá la correspondiente retroalimentación por parte del plantel docente.

**Situación problemática:**

El salbutamol es un fármaco agonista del receptor  $\beta_2$ -adrenérgico (broncodilatador de acción corta) utilizado para el alivio del broncoespasmo. Con el fin de determinar la pureza del fármaco sintetizado, resulta necesario separar el salbutamol de sus diversas impurezas, lo cual puede lograrse mediante HPLC. A continuación, se detallan las estructuras del salbutamol y de las principales impurezas descritas por la Farmacopea Europea (B, D, F, G):



Utilizando el *software Practical HPLC Simulator*, optimizar libremente la separación para lograr una separación rápida (menos de 10 minutos) y asegurar una buena resolución de todos los analitos ( $R_s \geq 1,5$ ). Para ello, en la sección correspondiente al inyector, seleccionar la mezcla 5, denominada salbutamol e impurezas. Los parámetros que se pueden ajustar son: el modo de elución (isocrático o en gradiente), la composición de la fase móvil y/o los parámetros del gradiente, el caudal, la longitud de la columna (entre 50 y 250 mm) y el tamaño de partícula de la columna (entre 1,7 y 10  $\mu\text{m}$ ). Los parámetros fijos son: columna C18, temperatura 30 °C y diámetro de columna 4,6 mm. Además, se debe tener especial cuidado de no superar la presión máxima del sistema, que es de 600 bar.

Una vez optimizada la separación, crear un archivo Microsoft Word® (.docx) en donde se incluya una copia del cromatograma obtenido y se indique las

condiciones de análisis utilizadas. Asimismo, sugerir cual es el motivo por el que la impureza G se retiene sistemáticamente más que las otras. Adjuntar el documento en el foro “Seminario HPLC” del aula Moodle.

### 3.3.3 Evaluación de las actividades realizadas con el simulador

Para el examen cualitativo sistemático de las actividades de aprendizaje basadas en el empleo del simulador, se contempla que los alumnos valoren las experiencias y las actividades realizadas a través de una encuesta. Esta encuesta se implementará en el aula virtual Moodle y abarcará un cuestionario con preguntas tanto cerradas (con respuesta tipo Likert de cinco opciones) como abiertas:

#### ***Encuesta para valorar las experiencias y las actividades realizadas mediante el simulador***

a) Indica marcando con una X tu nivel de acuerdo o desacuerdo con las siguientes afirmaciones, utilizando la siguiente escala:

- (1) Totalmente en desacuerdo
- (2) En desacuerdo
- (3) Indiferente
- (4) De acuerdo
- (5) Totalmente de acuerdo

	1	2	3	4	5
El plantel docente explicó claramente el propósito del simulador y cómo se usaría					
El simulador utilizado es muy intuitivo, y su aplicación es relativamente sencilla.					
El empleo del simulador de HPLC me permitió afianzar los conocimientos teóricos de esta técnica analítica.					

El empleo del simulador me ha permitido tener un mejor conocimiento del funcionamiento y manejo de un equipo real de HPLC					
La actividad grupal con el simulador llevada a cabo en el laboratorio me pareció una buena estrategia para aprovechar el tiempo de espera antes de utilizar el equipo de HPLC real.					
Considero una buena estrategia introducir problemas que contemplen el uso del simulador de HPLC en el respectivo Seminario					
La actividad individual con el simulador tuvo una dificultad acorde a los problemas tratados previamente en clase.					
El informe de la actividad individual tuvo una correcta retroalimentación por parte del plantel docente.					
El plantel docente me animó a experimentar y explorar las diferentes funciones del simulador					
Me sentí motivado y apoyado por el plantel docente al trabajar con el simulador					
Considero que en lo posible deberían utilizarse a la largo de la cursada simuladores de otros equipos o técnicas analíticas estudiadas en la materia.					

- b) Expresa, si lo deseas, tu opinión general y sugerencias respecto del empleo del simulador de HPLC en la cátedra.

## Capítulo 4: Conclusiones finales

### 4.1 Acerca de las ventajas asociadas al empleo de un simulador de HPLC

La tecnología ha desempeñado un papel fundamental en la educación superior durante las últimas décadas, lo que ha generado la necesidad de adaptar las prácticas educativas a los nuevos formatos y herramientas emergentes. Dentro de estas herramientas, los simuladores juegan un rol crucial en la enseñanza de las ciencias experimentales, especialmente en química. Las simulaciones ofrecen una excelente oportunidad para que los estudiantes vivencien una experiencia concreta y experimenten libremente con ella en un entorno relativamente seguro. Además, facilitan múltiples instancias de reflexión crítica sobre la experiencia y los conceptos involucrados, un proceso fundamental para el aprendizaje profundo y significativo. En el contexto específico de la formación en química analítica, el uso de simulaciones por computadora presenta diversas ventajas. Esencialmente, permiten realizar experimentos de manera segura, económica y extremadamente rápida, garantizando un alto grado de reproducibilidad y flexibilidad. De este modo, los futuros usuarios de la técnica pueden practicar el ajuste de parámetros clave para optimizar la sensibilidad, la selectividad y la eficiencia, al mismo tiempo que se familiarizan con los rangos prácticos de estos parámetros.

La cromatografía es uno de los pilares fundamentales de la química analítica moderna, por lo que desarrollar una comprensión intuitiva de su funcionamiento es invaluable para los futuros profesionales. Si bien la separación por HPLC es un tema fundamental en la enseñanza de la química analítica instrumental, su dominio e interpretación pueden resultar complejos. La principal dificultad radica en la gran cantidad de variables experimentales que afectan los resultados de cada análisis cromatográfico. Para que un estudiante logre comprender los parámetros experimentales y las interacciones involucradas en una separación por HPLC, sería necesario realizar una cantidad considerable de experimentos prácticos. En consecuencia, alcanzar este nivel de comprensión en una clase de laboratorio de duración limitada resulta prácticamente imposible. En este contexto, el uso de simuladores de HPLC representa una solución eficaz, ya que permite a los estudiantes explorar y familiarizarse con los principios

fundamentales de las técnicas cromatográficas. Las ventajas de estos simuladores son múltiples: son fáciles de utilizar, económicos, eliminan los riesgos asociados con la instrumentación, no requieren el uso de reactivos ni solventes, requieren menor supervisión y proporcionan retroalimentación inmediata, lo que optimiza el proceso de aprendizaje.

#### 4.2 Acerca del cumplimiento de los objetivos planteados

En el presente TFI se propone el uso del simulador gratuito *Practical HPLC Simulator v1.0* como complemento a las actividades prácticas de HPLC realizadas durante la cursada regular de la materia Química Analítica Instrumental. Para ello, se define una secuencia de actividades que sigue los lineamientos de Margaret Verkuyl (2022) para la integración efectiva de simulaciones en el currículo, adoptando la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb como marco conceptual principal. Se considera que esta propuesta de enseñanza cumple eficazmente con los objetivos planteados en el apartado 1.7, como se evidencia en los siguientes aspectos clave:

- *Diseño de una propuesta didáctica innovadora*

La implementación de una secuencia didáctica basada en situaciones problemáticas permite a los estudiantes integrar y aplicar conocimientos teóricos y prácticos sobre la cromatografía líquida de alta eficiencia. Las actividades propuestas abordan de manera integral los diferentes aspectos involucrados en la separación cromatográfica, permitiendo a los estudiantes enfrentar problemas reales de laboratorio y realizar simulaciones que refuerzan y profundizan su comprensión.

- *Fortalecimiento del trabajo grupal y la discusión*

La propuesta fomenta la colaboración grupal en el entorno del laboratorio, promoviendo la discusión activa de los conceptos teóricos y prácticos relacionados con la cromatografía líquida. Este enfoque permite que los estudiantes reflexionen sobre sus procesos de aprendizaje y desarrollen habilidades de comunicación científica, lo cual es esencial para la formación de futuros profesionales.

- *Fomento del autoaprendizaje*

La incorporación de actividades individuales estimula el desarrollo del aprendizaje autónomo. El uso del simulador HPLC en el hogar ofrece una oportunidad única para la experimentación a distancia, lo que favorece la resolución autónoma de situaciones problemáticas. Este enfoque permite a los estudiantes consolidar sus conocimientos de manera independiente y a su propio ritmo, reforzando el aprendizaje adquirido en el entorno presencial.

En conclusión, la propuesta no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también proporciona una herramienta valiosa para la formación integral de los estudiantes, al combinar la teoría, la práctica y la resolución de problemas en un formato accesible y flexible. Así, esta propuesta representa una oportunidad valiosa para optimizar la formación de los estudiantes en el campo de la cromatografía líquida, preparándolos de manera más efectiva para enfrentar los futuros desafíos académicos y profesionales.

#### 4.3 Acerca de los resultados esperados

En cuanto a los resultados esperados, los hallazgos de diversas investigaciones son alentadores, ya que indican que los estudiantes que participan en actividades de aprendizaje basado en simulación obtienen puntuaciones más altas en los exámenes y perciben haber aprendido más que aquellos que participan en clases tradicionales (Hallinger, 2020). Además, concluyen que la simulación ofrece numerosas ventajas desde el punto de vista cognitivo, brindando una preparación más atractiva y relevante para el entorno laboral. Por su parte, Mawency Vergel Ortega (2021) sostiene que el uso de simuladores enriquece las clases, fomentando una mayor participación de los estudiantes. Además, la autora argumenta que los simuladores clarifican las explicaciones, mejoran la retención de contenidos al presentarlos de forma práctica, e incrementan la motivación y el interés por aprender y aplicar los conocimientos. Finalmente, varios autores destacan que la enseñanza basada en simulaciones permite que el estudiante reciba retroalimentación en tiempo real, tanto de los profesores como de sus compañeros. Esto facilita la reflexión sobre su práctica,

lo que contribuye a una evaluación formativa más enriquecedora y de mayor calidad.

#### 4.4 Acerca de la Especialización en docencia universitaria

Haber transitado la Especialización en Docencia Universitaria ha sido una experiencia profundamente enriquecedora en múltiples dimensiones. En primer lugar, al haber centrado mi formación de grado y mi experiencia docente en las ciencias exactas, estos estudios me ofrecieron una valiosa oportunidad para incorporar nuevas perspectivas y herramientas provenientes de las ciencias sociales. Esta integración no solo amplió mis conocimientos, sino que también enriqueció significativamente mi enfoque pedagógico, permitiéndome comprender de manera más integral los complejos procesos de enseñanza y de aprendizaje. En segundo lugar, los intercambios con colegas de diferentes facultades y disciplinas me brindaron la posibilidad de conocer realidades y perspectivas educativas muy diversas, lo que profundizó mi comprensión del panorama educativo actual y me permitió reflexionar sobre las mejores prácticas para la enseñanza universitaria. Finalmente, esta experiencia me impulsó a realizar una reflexión crítica y constructiva sobre mi rol como docente, favoreciendo un enfoque más reflexivo y orientado a potenciar el aprendizaje significativo de los estudiantes.

## Bibliografía

- Achilli, L. (1990). *Antropología e investigación educacional. Aproximación a un enfoque constructivista indiciario*. CRICSO, Facultad de Humanidades y Artes.
- Almasri, F. (2022). Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Education and information technologies*, 27(5), 7161-7181. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w>
- Angulo-Delgado, F., Calle-Restrepo, A., Soto-Lombana, C., Zorrilla, E. y Mazzitelli, C. A. (2022). El trabajo práctico de laboratorio en clase de Ciencias Naturales durante la pandemia: Experiencias en Argentina y Colombia. *Didacticae*, (11), 99-115. <https://doi.org/10.1344/did.2022.11.99-115>
- Baraldi, V. (2021). John Dewey: la educación como proceso de reconstrucción de experiencias. *Revista De La Escuela De Ciencias De La Educación*, 1(16), 68-76. <https://doi.org/10.35305/rece.v1i16.587>
- Barraza Macías I. (2013). *¿Cómo elaborar proyectos de innovación educativa?* Universidad Pedagógica de Durango.
- Bassindale, T., Lesuer, R. y Smith, D. (2021). Perceptions of a program approach to virtual laboratory provision for analytical and bioanalytical sciences. *The Journal of Forensic Science Education*, 3(1). <https://jfse-ojs-tamu.tdl.org/jfse/index.php/jfse/article/view/46>
- Beaubien, J. M., y Baker, D. P. (2004). The use of simulation for training teamwork skills in health care: How low can you go? *BMJ Quality & Safety*, 13(Suppl. 1), 51-56. <https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009845>

- Becerra García, M. G., Garrido Flores, M. R., Romo Beltrán, R. (1989). De la ilusión al desencanto en el aula universitaria. Una panorámica áulica del currículum. En Furlan, A. y Pasillas, M. *Desarrollo de la investigación en el campo del currículum*. Escuela Nacional de estudios profesionales Iztacala, UNAM.
- Blanco, N. (1994) Los contenidos del currículum. En: Angulo; Blanco (coords). *Teoría y desarrollo del currículum*. Morata.
- Bortnik, B., Stozhko, N., Pervukhina, I., Tchernysheva, A. y Belysheva, G. (2017). Effect of virtual analytical chemistry laboratory on enhancing student research skills and practices. *Research in Learning Technology*, 25. <https://doi.org/10.25304/rlt.v25.1968>
- Boswell, P., Stoll, D., Carr, P., Nagel M., Vitha M., y Mabbott, G. (2013). An Advanced, Interactive, High-Performance Liquid Chromatography Simulator and Instructor Resources. *Journal of Chemical Education*, 90(2), 198-202. <https://doi.org/10.1021/ed300117b>
- Bourdieu P., y Wacquant, L. (1995). *Respuestas: Por Una Antropología Reflexiva*. Grijalbo.
- Brown, J., Collins, A. y Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 33-42.
- Byrne, C. (2022). Virtualización de los trabajos prácticos en Química Analítica Instrumental: diseño de materiales educativos obtenidos mediante un proceso combinado de curaduría y creación de contenidos. *IV Jornadas de Educación a Distancia en el Nivel Superior (Facultad de Ciencias de la Educación-UNER, 2022)*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140499>
- Cabero, J. (2007) Las TICs en la enseñanza de la química: aportaciones desde la Tecnología Educativa. En Bodalo, A. y otros (eds) (2007): *Química: vida y progreso*. Asociación de químicos de Murcia.

Caffini, N. (2019). Una historia centenaria. Artículo disponible en [http://www.exactas.unlp.edu.ar/articulo/2019/11/5/una\\_historia\\_centenaria](http://www.exactas.unlp.edu.ar/articulo/2019/11/5/una_historia_centenaria)

Capparelli, A. L. (2024). *Breve historia del desarrollo de las ciencias químicas en la ex Facultad de Química y Farmacia de la UNLP*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/170330>

Cataldi, Z., Lage, F., y Dominighini, C. (2013). Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 10(17), 8-16. <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/101017/A2mar2013.pdf>

Chernikova, O., Heitzmann, N., y Stadler, M. (2020) Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 90(4), 499-541. <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>

Cook, D. A., Brydges, R., Zendejas, B., Hamstra, S. J., y Hatala, R. (2013). Technology enhanced simulation to assess health professionals: A systematic review of validity evidence, research methods, and reporting quality. *Academic Medicine*, 88(6), 872-883. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e31828ffdcf>

Coronel, M. D., y Curotto, M. (2008). La resolución de problemas como estrategia de enseñanza y aprendizaje. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 463-479. [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART11\\_Vol7\\_N2.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART11_Vol7_N2.pdf)

Coscarelli, M. R. (2014). Currículo universitario y formación docente. En: Morandi, Glenda y Ungaro, Ana (comps), *La experiencia interpelada: prácticas y perspectivas en la formación docente universitaria*. EDULP.

- Couso, D., Izquierdo, M., y Rubilar, C. (2008). Cap. 3. La resolución de problemas. En Merino Rubilar, C. Gomez Galindo, A. y Adúriz Bravo, A. (coord.) *Áreas y estrategias de investigación en la Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 37-49). Universidad Autónoma de Barcelona.
- Davini, M. C. (2008). *Métodos de enseñanza: didáctica general para maestros y profesores*. Santillana.
- de Alba, A. (1995). *Curriculum: crisis, mito y perspectivas*. Miño y Dávila editores.
- Díaz Barriga, A. (1985). *Didáctica y Curriculum*. Ediciones Nuevomar.
- Díaz Barriga, A. (2015). *Curriculum: entre utopía y realidad*. Amorrortu.
- Díez-Pascual, A. M., y Jurado-Sánchez, B. (2022). Remote Teaching of Chemistry Laboratory Courses during COVID-19. *J. Chem. Educ.*, 99(5), 1913-1922. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00022>
- Dong, M. W. (2021). "Practical HPLC Simulator": A Useful Freeware for Learning HPLC. *LC-GC North America*, 39(10), 488-493. <https://link.gale.com/apps/doc/A681135252/AONE?u=anon~9d817b6f&sid=googleScholar&xid=41280bd2>
- Dussel, I., y Caruso, M. (1999). *La invención del aula. Una genealogía de las formas de enseñar*. Santillana.
- Edelstein, G., y Coria, A. (1995). *Imágenes e imaginación. Iniciación a la docencia*. Kapelusz.
- Edelstein, G. (2022). El análisis en clave didáctica. Una alternativa para abordar en posición de reflexividad crítica las prácticas de enseñar. *Análisis de las prácticas*, (1), 45-69.

- Edwards, V. (1989). *El conocimiento escolar como lógica particular de apropiación y alineación*. Mimeo.
- Fasoula, S., Nikitas, P., y Pappa-Loisi, A. (2017). Teaching Simulation and Computer-Aided Separation Optimization in Liquid Chromatography by Means of Illustrative Microsoft Excel Spreadsheets. *Journal of Chemical Education*, 94(8), 1167-1173. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00108>
- Fernández Lamarra, N. (Comp.). (2015). *La innovación en las Universidades Nacionales. Aspectos endógenos que inciden en su surgimiento y desarrollo*. Universidad Nacional de Tres de Febrero.
- Grinias, J.P. (2022). Navigating the Future of Separation Science Education: A Perspective. *Chromatographia*, 85, 681-688. <https://doi.org/10.1007/s10337-022-04182-8>
- Guillarme, D., Bobaly, B., y Veuthey, J. (2021). Free Excel Software for Performing Virtual Liquid Chromatography. *LC-GC North America*, 39(3), 144-145. <https://www.chromatographyonline.com/view/free-excel-software-liquid-chromatography>
- Hallinger, P., y Wang, R. (2020). The Evolution of Simulation-Based Learning Across the Disciplines: A Science Map of the Literature. *Simulation & Gaming*, 51(1), 9-32. <https://doi.org/10.1177/1046878119888246>
- Kavanagh, P.E. (1999). Optimising reversed phase separations with the aid of a spreadsheet. *Chromatographia*, 50, 65-69. <https://doi.org/10.1007/BF02493619>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.

- Kovarik, M., Galarreta, B., Mahon P., *et al.* (2022). Survey of the undergraduate analytical chemistry curriculum. *J. Chem. Educ.*, 99(6), 2317-2326. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00090>
- Lee, W. C., Neo, W. L., Chen, D. T., y Lin, T. B. (2021). Fostering changes in teacher attitudes toward the use of computer simulations: Flexibility, pedagogy, usability and needs. *Education and Information Technologies*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10506-2>
- Lehtinen, E. (2023). Can simulations help higher education in training professional skills? *Learning and Instruction*, 86, 101772. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2023.101772>
- León Cam, J. J. (2017). El aceite de Cannabis. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 261-263. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300001&lng=es&tlng=es).
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., y Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, 95, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>
- Lorenzo, G., Moreno, R., y Rossi, A. (2011). Análisis comparado del cambio de planes de estudio a través del rendimiento de los estudiantes. *IV Congreso Nacional y III Encuentro Internacional de Estudios Comparados en Educación (Buenos Aires, 2017)*.
- Martínez Bonafé, J. (1998). Capítulo 4. "El análisis de la estructura del puesto de trabajo docente", en *Trabajar en la escuela. Profesorado y reformas en el umbral del siglo XXI*. Miño y Dávila.

- Ortiz Miranda, G. S. (2017). Prácticas de enseñanza de cromatografía líquida de alta performance (HPLC): complementación con un programa simulador. *IV Jornadas de TIC e Innovación en el Aula (La Plata, 2017)*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66330>
- Páez, P. A., y Carp, D. J. (2015). HPLC Abordado desde el aprendizaje basado en problemas. *X Jornadas Nacionales y VII Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica (Buenos Aires, 2015)*. <https://www.aqa.org.ar/images/anales/pdf102/cd/04-QAn-QAm/04-004.PDF>
- Paz Penagos, H. (2007). El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería. *Revista Educación En Ingeniería*, 2(4), 1-13. <https://doi.org/10.26507/rei.v2n4.55>
- Polanco Zuleta, M. (2011). Resolución de situaciones problemas en la enseñanza de las ciencias: un estudio de análisis. *Revista Electrónica EDUCyT*, 4(4), 123-138. <https://hdl.handle.net/10893/8638>
- Poore, J. A., Cullen, D. L., y Schaar, G. L. (2014). Simulation-based interprofessional education guided by Kolb's experiential learning theory. *Clinical Simulation in Nursing*, 10(5), e241-e247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecns.2014.01.004>
- Rivarola, M., Aguirre Céliz, C., y Domínguez, M. B. (2023). Tecnologías disruptivas y prácticas tecno-pedagógicas: redefiniendo la educación superior en la era digital. *Trayectorias Universitarias*, 9(17), 145. <https://doi.org/10.24215/24690090e145>
- Rodríguez-Rey, R., y Cantero-García, M. (2020). Albert Bandura: Impacto en la educación de la teoría cognitiva social del aprendizaje. *Padres Y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, (384), 72-76. <https://doi.org/10.14422/pym.i384.y2020.011>

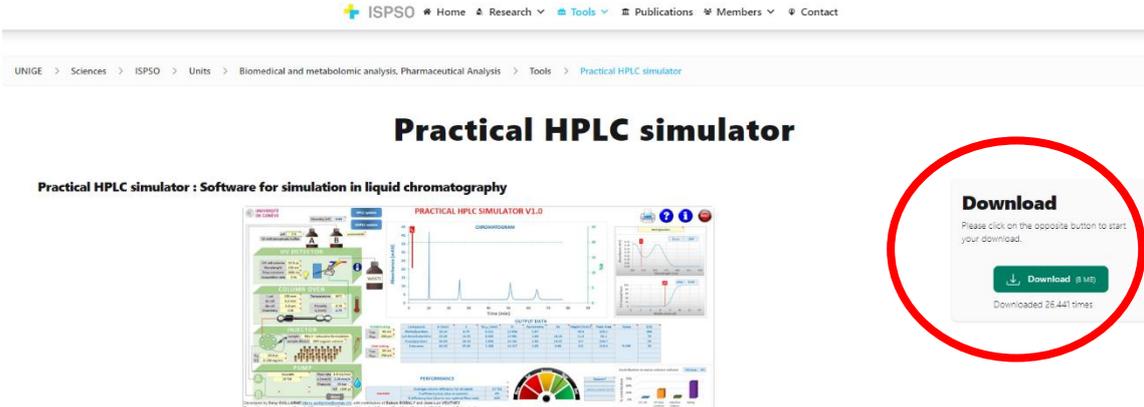
- Ross S. (2021). Simulation-Based Learning: From Learning Theory to Pedagogical Application. *The Internet Journal of Allied Health Sciences and Practice*, 19(4), Article 15. <https://doi.org/10.46743/1540-580X/2021.2056>
- Ruiz, G. (2013). La teoría de la experiencia de John Dewey: significación histórica y vigencia en el debate teórico contemporáneo. *Foro de Educación*, 11(15), 103-124. <https://www.redalyc.org/pdf/4475/447544540006.pdf>
- Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 1(1). <https://doi.org/10.7238/RUSC.V1I1.228>
- Salinas, J. (2009). Innovación educativa y TIC en el ámbito universitario: entornos institucionales, sociales y personales de aprendizaje. En *Anais de II Congreso Internacional de Educación a Distancia y TIC* (pp. 21-22). Lima, Perú.
- Serrano González-Tejero, J. M., y Pons Parra, R. M. (2011). El Constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *REDIE. Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13(1), 1-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15519374001>
- Siede, I. (2010). *Ciencias sociales en la escuela. Criterios y propuestas para la enseñanza*. Aique.
- Sityar, P., Hobaica, B., Marchetti, B. (2024). Educación pública en disputa: Reflexiones en torno a las definiciones educativas de La Libertad Avanza entre la campaña electoral y sus primeros meses de gobierno. *Revista de Educación*, 32, 181-199. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/235777>

- Stensaker, B., Maassen, P., Borgan, M., *et al.* (2007). Use, updating and integration of ICT in higher education: Linking purpose, people and pedagogy. *Higher Education*, 54, 417-433.  
<https://doi.org/10.1007/s10734-006-9004-x>
- Stocker, M., Burmester, M., y Allen, M. (2014). Optimisation of simulated team training through the application of learning theories: a debate for a conceptual framework. *BMC Medical Education*, 14(69).  
<https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-69>
- UNESCO Institute for Statistics (2009). *Guide to Measuring Information and Communication Technologies (ICT) in Education*.  
<https://doi.org/10.15220/978-92-9189-078-1-en>
- Vergel Ortega, M., Paz Montes, L. S., y Álvarez Paz, D. M. (2021). Los simuladores educativos como instrumento pedagógico para la enseñanza de las finanzas. *Revista Boletín Redipe*, 10(7), 97-105.  
<https://doi.org/10.36260/rbr.v10i7.1351>
- Verkuyl, M. *et al.* (2022). Virtual Simulation: An Educator's Toolkit. Centennial College Toronto. <https://ecampusontario.pressbooks.pub/vlsvstoolkit/>
- Zabalza Beraza, M., y Zabalza Cerdeiriña, A. (2012). *Innovación y cambio en las instituciones educativas*. Homo Sapiens Ediciones.
- Zendler, A., y Greiner, H. (2020). The effect of two instructional methods on learning outcome in chemistry education: The experiment method and computer simulation. *Education for Chemical Engineers*, 30, 9-19,  
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.09.001>.
- Zenios, M. (2020). Educational theory in technology enhanced learning revisited: A model for simulation-based learning in higher education. *Studies in Technology Enhanced Learning*, 1(1).  
<http://dx.doi.org/10.21428/8c225f6e.1cf4dde8>

## Anexos

### Anexo 1: Tutorial para el uso del simulador

En el sitio web <https://farma-unites.unige.ch/en/rudaz-lab/tools/practical-hplc-simulator> descarga el software gratuito *Practical HPLC simulator v1.0*.



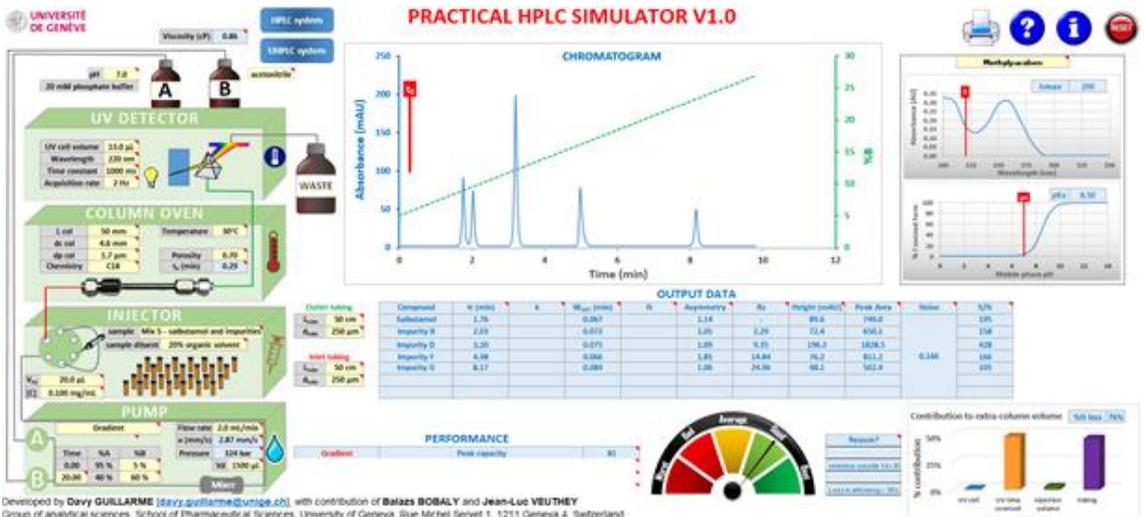
UNIGE > Sciences > ISPSO > Units > Biomedical and metabolomic analysis, Pharmaceutical Analysis > Tools > Practical HPLC simulator

### Practical HPLC simulator

Practical HPLC simulator : Software for simulation in liquid chromatography

**Download**  
Please click on the opposite button to start your download.  
[Download \(8 MB\)](#)  
Downloaded 26,441 times

El software es un archivo de Microsoft Excel® que contiene macros, y fue desarrollado en noviembre de 2020 por el grupo de análisis farmacéutico de la Universidad de Ginebra, Suiza, presidido por el Dr. Davy Guillaume.



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

### Practical HPLC SIMULATOR V1.0

CHROMATOGRAM

UV DETECTOR

COLUMN OVEN

INJECTOR

PUMP

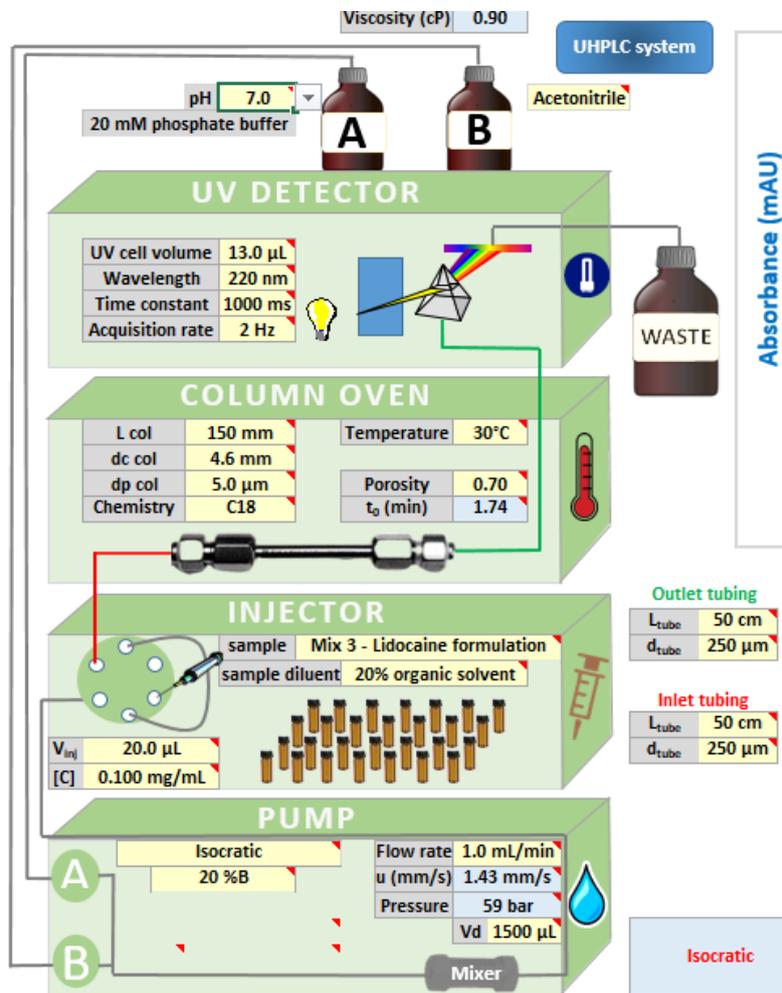
Component	W (min)	k	W <sub>0.05</sub> (min)	R	Asymmetry	R <sub>s</sub>	Height (mAU)	Peak Area	Ratio	W <sub>0.05</sub>
Substance A	1.26	0.267	1.14	1.1	81.0	198.0	185	185	100	185
Impurity B	2.05	0.072	1.05	2.29	72.4	456.1	429	429	100	429
Impurity D	5.05	0.075	1.05	6.05	196.3	1828.5	160	160	100	160
Impurity F	4.99	0.068	1.05	14.84	76.7	811.2	195	195	100	195
Impurity G	6.27	0.088	1.05	24.99	68.2	542.8				

PERFORMANCE

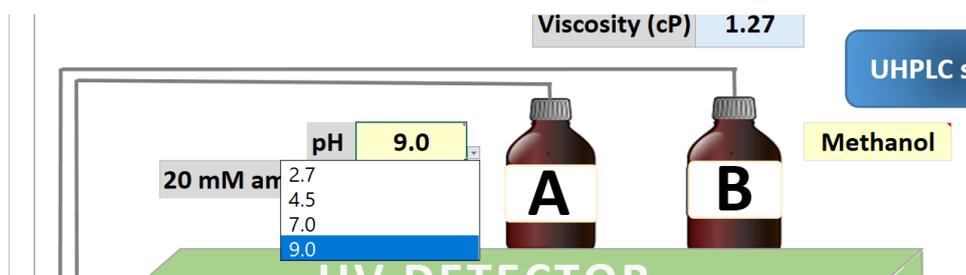
Contribution to extra-column volume

En la ventana principal, el sistema cromatográfico se encuentra a la izquierda (en verde) e incluye los módulos que habitualmente se encuentran en un sistema

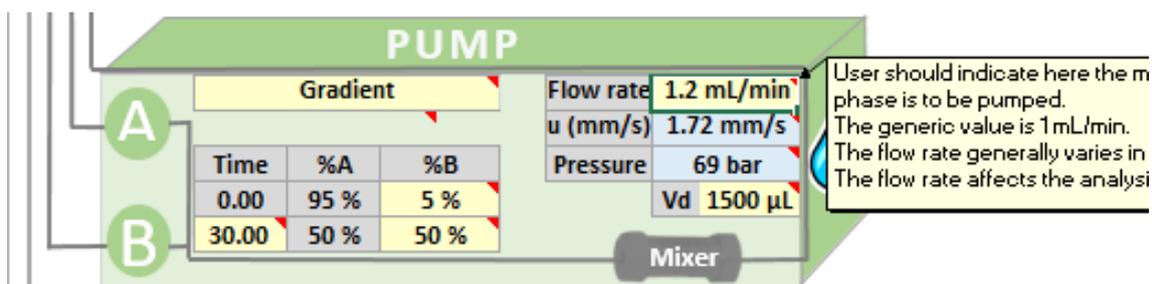
de HPLC (bomba, inyector, horno de columna, detector, columna cromatográfica y frascos con fases móviles).



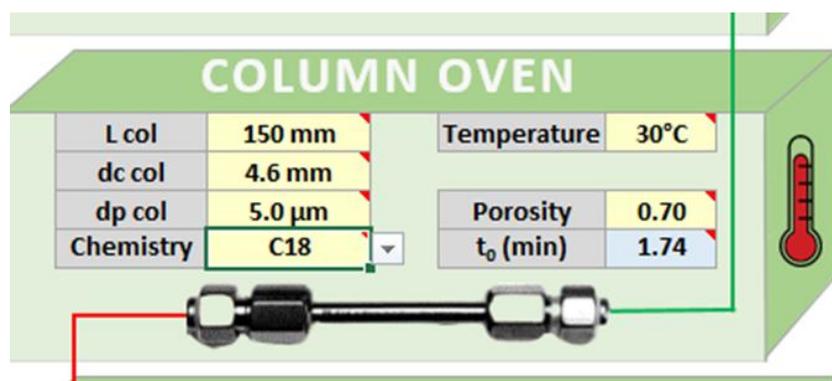
En la parte superior tenemos los reservorios de solventes. A es un *buffer* acuoso, para el cual podemos seleccionar distintos valores de pH: 2,7 (ácido fórmico 0,1%), 4,5 (*buffer* acetato 20 mM), 7 (*buffer* fosfato 20 mM) y 9 (*buffer* amonio 20 mM). El modificador orgánico B puede ser acetonitrilo o metanol.



En la bomba (*pump*) podemos seleccionar si trabajamos de manera isocrática (con una fase móvil de composición constante a lo largo del tiempo) o bien trabajamos con un gradiente de elución (en donde %B va cambiando con el tiempo). Si se trabaja de modo isocrático debe indicarse el %B utilizado, mientras que si se trabaja en modo gradiente debe indicarse el %B inicial, el %B final y el tiempo de gradiente. Otro parámetro que se puede modificar en el módulo de la bomba es el caudal (*flow rate*) de la fase móvil.

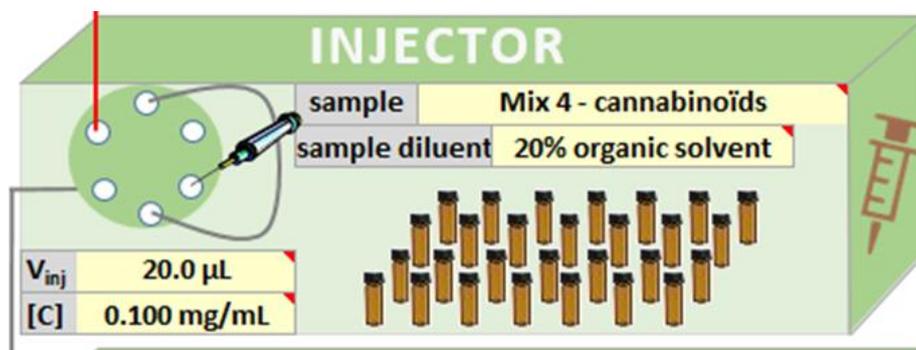


En el sitio correspondiente a la columna podemos seleccionar la fase estacionaria (C18, C4 o fenil), la longitud de la columna (entre 30 y 300 mm), el diámetro de la columna (entre 0,5 y 20 mm) y el tamaño de partícula (entre 1,5 y 10 µm). También puede ajustarse la temperatura y la porosidad de la fase estacionaria.

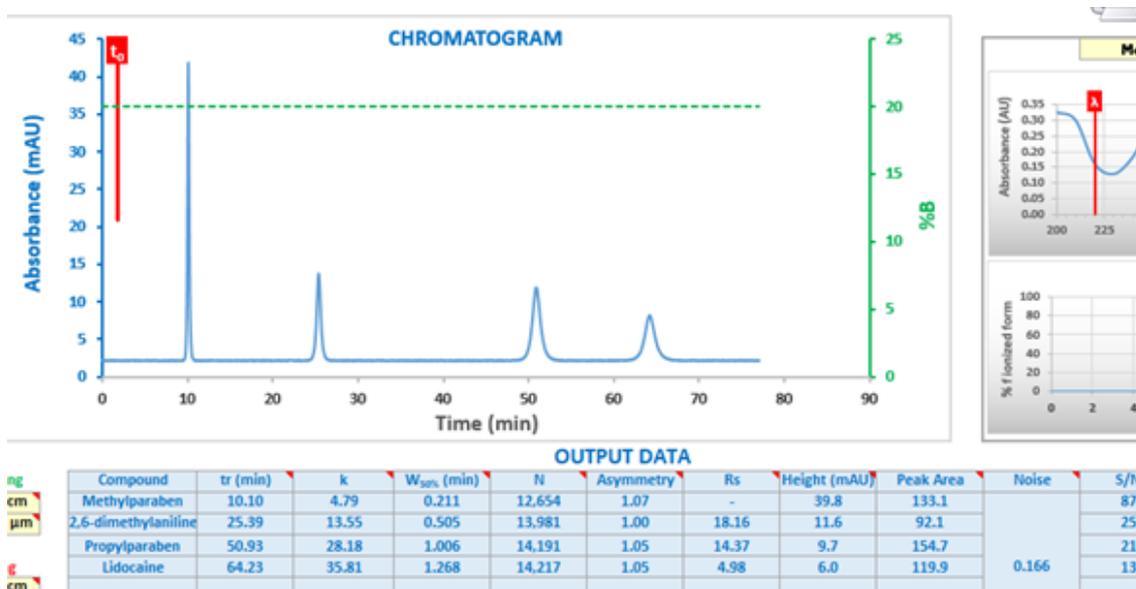


En la parte correspondiente al inyector se puede elegir entre 7 tipos de muestras (mezclas o *mix*): parabenos, antiinflamatorios no esteroideos, formulación de lidocaína, cannabinoides, salbutamol e impurezas, vitaminas liposolubles y drogas que se utilizan en el doping. Puede seleccionarse asimismo el porcentaje

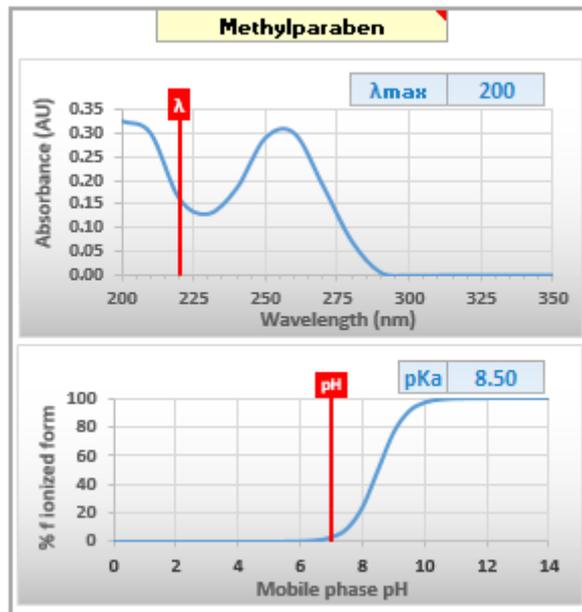
de solvente orgánico en el que la muestra está disuelta, la concentración de la muestra y el volumen de inyección.



El cromatograma simulado en las condiciones utilizadas se muestra en la parte central del *software*. A continuación, aparece una tabla azul con la lista de compuestos presentes en el cromatograma, su tiempo de retención ( $t_r$ ), el factor de retención ( $k$ ), la anchura de los picos a media altura ( $W_{50\%}$ ), la eficiencia ( $N$ ), la asimetría, la resolución ( $R_s$ ), la altura de los picos, el área de los picos, el ruido de fondo y la relación señal/ruido ( $S/N$ ).



En la parte derecha del *software*, hay dos gráficos grises. Aquí es posible seleccionar un compuesto contenido en la mezcla a analizar, para ver su espectro UV, así como el perfil de ionización (estado de carga en función del  $pK_a$ ).



Por último, el archivo dispone de un botón rojo de 'restablecer' (*reset*) en la esquina superior derecha, cuya función es retornar los valores del programa a su configuración inicial.