



Esta obra está bajo una  
Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-  
Compartir Igual 4.0 Internacional



Proyecto de innovación en el laboratorio: una nueva práctica experimental en síntesis orgánica  
Leticia Lafuente, Juliana Esteche, Natividad Bejarano, Cintia Santiago, Agustín Ponzinibbio.  
Trayectorias Universitarias, 8 (14), e087, 2022  
ISSN 2469-0090 | <https://doi.org/10.24215/24690090e087>  
<https://revistas.unlp.edu.ar/TrayectoriasUniversitarias>  
Universidad Nacional de La Plata  
La Plata | Buenos Aires | Argentina

# Proyecto de innovación en el laboratorio: una nueva práctica experimental en síntesis orgánica

Innovation in the lab: a new organic synthesis experimental course

## Leticia Lafuente

<https://orcid.org/0000-0002-3956-0449>

[llafuente@quimica.unlp.edu.ar](mailto:llafuente@quimica.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Exactas |

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

## Juliana Esteche

<https://orcid.org/0000-0002-1083-7790>

[jesteche@exactas.unlp.edu.ar](mailto:jesteche@exactas.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Exactas |

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

## Natividad Bejarano

<https://orcid.org/0000-0002-5292-7866>

[natividadbejarano@quimica.unlp.edu.ar](mailto:natividadbejarano@quimica.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Exactas |

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

## Cintia Santiago

<https://orcid.org/0000-0001-8579-7968>

[csantiago@quimica.unlp.edu.ar](mailto:csantiago@quimica.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Exactas |

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

## Agustín Ponzinibbio

<https://orcid.org/0000-0003-4610-916X>

[ponzinibbio@quimica.unlp.edu.ar](mailto:ponzinibbio@quimica.unlp.edu.ar)

Facultad de Ciencias Exactas |

Universidad Nacional de La Plata | Argentina

## RESUMEN

La asignatura Química Orgánica II se dicta en la Facultad de Ciencias Exactas para distintas carreras. Es una materia del quinto cuatrimestre, se encuentra luego de un ciclo de formación básica de dos años. Es una de las materias básicas más importantes para estas carreras, ya que sus contenidos se centran en el estudio de las estructuras y de la reactividad de las moléculas bioorgánicas. A pesar de ser una asignatura de suma importancia, debido principalmente a sus contenidos, sus trabajos prácticos de laboratorio presentan algunas deficiencias. Estos problemas se relacionan con su organización teórica, conceptual, didáctica y también, con su puesta en práctica. En este sentido realizamos un diagnóstico de la situación y llevamos a cabo una propuesta de innovación con un formato de "Taller de Práctica Experimental en Síntesis Orgánica". Este taller se propone como la unidad de reemplazo, en el programa de la asignatura, de las actuales prácticas de laboratorio. Se busca generar una propuesta superadora mediante la incorporación de un espacio de práctica de excelencia, trabajo individual y reflexión; pretendiendo aportar a la formación profesional en consistencia con el perfil de egresado propio de las carreras que incluyen a la asignatura.

## PALABRAS CLAVE

Prácticas Experimentales,  
Síntesis Orgánica,  
Laboratorio



**KEY WORDS**

Experimental Practices,  
Organic Synthesis,  
Laboratory

**ABSTRACT**

The subject Organic Chemistry II is taught at the Faculty of Exact Sciences for different careers. It is a subject of the fifth quarter, it is found after a basic training cycle of two years. It is one of the most important basic subjects for these careers, since its contents focus on the study of the structures and reactivity of bioorganic molecules. Despite being a very important subject, mainly due to its contents, its practical laboratory work has some deficiencies. These problems are related to its theoretical, conceptual, didactic organization and also to its implementation. In this sense, we carry out a diagnosis of the situation and carry out an innovation proposal with a format of "Experimental Practice Workshop in Organic Synthesis". This workshop is proposed as the replacement unit, in the subject program, of the current laboratory practices. It seeks to generate a superior proposal through the incorporation of a space for practice of excellence, individual work and reflection; intending to contribute to professional training in consistency with the graduate profile of the careers that include the subject.



## INTRODUCCIÓN

La División Química Orgánica es la encargada académica de dictar todas las asignaturas relacionadas con la disciplina que le da nombre para las carreras que se dictan en la Facultad de Ciencias Exactas. Las carreras que cuentan con asignaturas de Química Orgánica dentro de la Facultad de Ciencias Exactas son: Licenciatura en Bioquímica, Farmacia, Licenciatura en Biotecnología y Biología Molecular, Licenciatura en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Licenciatura en Física Médica, Licenciatura en Óptica Ocular y Optometría, Licenciatura en Química, Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental, Tecnicatura Universitaria en Alimentos y Tecnicatura Universitaria en Química. En particular en este trabajo se abordará la problemática asociada a los trabajos experimentales de las cuatro carreras descritas precedentemente en primer lugar. Estas cuatro carreras poseen dos asignaturas de Química Orgánica en su plan, denominadas Química Orgánica I y Química Orgánica II. La primera asignatura es básica, con estrategias didácticas particulares y poco tiempo dedicado a la experimentación en el laboratorio. Por lo tanto, la propuesta de innovación pedagógica que aquí se propone se centrará en las problemáticas propias de la asignatura Química Orgánica II para las carreras, que de ahora en más denominaremos en forma abreviada como Farmacia, Bioquímica, Biotecnología y Alimentos.

Los temas, contenidos y prácticas que se tratan en la asignatura en estudio son centrales para la formación profesional. La Química Orgánica es, dentro de las distintas ramas de la química, la más importante para las carreras en cuestión ya que sienta las bases moleculares para el estudio de la mayoría de los procesos bioquímicos. En Química Orgánica II se estudia, en particular, la estructura, síntesis, reactividad de moléculas bioorgánicas, que incluyen productos naturales, compuestos sintéticos bioactivos y las principales biomoléculas orgánicas de

relevancia en la bioquímica y biología molecular, farmacología, toxicología y bromatología.

Si bien hay espacios de discusión docente activos, en la práctica no se han generado, en los últimos años, cambios significativos en las prácticas docentes. Estos cambios deberían instalar una nueva organización académica de la asignatura, sin embargo, en la práctica, esto no ha ocurrido. En términos reales estas discusiones no generan propuestas concretas de cambio. Tampoco llevan a la elaboración de material u otros insumos conceptuales para avanzar en la solución de las problemáticas que sí son expuestas por el plantel docente, en reuniones de cátedra y otras instancias, y eventualmente por los alumnos en las encuestas que se realizan periódicamente.

Una propuesta de innovación que pretenda generar un progreso en las prácticas educativas relacionadas con los trabajos experimentales será bienvenida por la comunidad, docentes, alumnos y no docentes. Es valorada la práctica experimental en la Facultad de Ciencias Exactas y la posibilidad de acceder a ella en las cursadas regulares de grado. En Química Orgánica existe un déficit real en estas prácticas que este trabajo de innovación pretende abordar generando propuestas concretas para su solución.

**En Química Orgánica existe un déficit real en estas prácticas que este trabajo de innovación pretende abordar generando propuestas concretas para su solución.**

Se presenta una propuesta de intervención. De acuerdo con Litwin (2008) este tipo de proyectos incluyen conceptos de creación, promoción del cambio y, por último, mejora. Se busca desarrollar una propuesta que promueva un cambio, este se planea conduzca a una sustancial mejora en las prácticas docentes y finalmente en el aprendizaje de los alumnos.

Esta propuesta de innovación involucra el diseño de un taller de práctica experimental en el marco de la asignatura Química Orgánica II. Este taller cubre las horas estipuladas, dedicadas a los trabajos prácticos, en los planes de estudio de las distintas carreras. El taller se elaborará con la premisa de ser un espacio de práctica de excelencia, trabajo individual y de reflexión sobre las prácticas experimentales, las metodologías de trabajo en Química Orgánica y la teoría que las sustenta. Pretende aportar de forma directa, a través de los temas y prácticas seleccionados, a la formación profesional en consistencia con el perfil de egresado propio de la carrera. También abordará, como una primera aproximación, el desarrollo experimental como práctica pre profesional.

## DIAGNÓSTICO INICIAL

En general, se considera a las prácticas de laboratorio actuales como incompletas, desdibujadas respecto al resto de las actividades, muy simplificadas y no actualizadas. Los principales problemas que pueden identificarse se enumeran y describen a continuación.

**En general, se considera a las prácticas de laboratorio actuales como incompletas, desdibujadas respecto al resto de las actividades, muy simplificadas y no actualizadas.**

*Pobre bagaje teórico del diseño de las prácticas:* Existen desconexiones conceptuales entre la teoría y la práctica experimental. Estos trabajos prácticos tienen vinculaciones pobres con las prácticas profesionales y el perfil de egresado expresado en el plan de estudio. También, existe una falta de material teórico complementario para el estudio previo a la realización de la práctica. En cuanto a la selección de temas y metodologías a realizar se los considera con una fundamentación escasa y poco moderna y actualizada en función del programa de la asignatura.

*Programación práctica deficiente del desarrollo experimental:* Los experimentos se realizan en forma grupal y con escasa participación individual. En muchas ocasiones existe una cancelación de etapas o prácticas específicas por falta de tiempo, insumos o acceso a equipamiento. También a veces se detecta una falta de discusión de lo experimentado y elaboración de conclusiones adecuadas. Por último, podemos mencionar que en ocasiones existen fallas en la elaboración de un informe real de la práctica realizada.

*Roles de los estudiantes y docentes poco definidos durante la ejecución de la práctica experimental:* Existe una notoria falta de motivación de los alumnos para el trabajo experimental. Estos se realizan en ocasiones con poca rigurosidad técnica en las operaciones y sin el uso de equipamiento específico. Los docentes implementan exigencias mínimas en cuanto al cumplimiento de las tareas a realizar, los resultados a obtener y las conclusiones a elaborar. Se puede describir como pobre a la calidad de prácticas seguras y respeto a normas de trabajo y seguridad en el laboratorio equiparables a la actividad profesional. La evaluación de lo realizado queda en general reducida a lo mínimo indispensable.

## TRES METODOLOGÍAS PARA LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

Los trabajos prácticos de laboratorio en Química Orgánica son esenciales y las prácticas que en ellos se realizan constituyen una buena parte de los contenidos de la asignatura. Existen dos líneas de diseño de estas prácticas denominadas en general como de “verificación” y

de “investigación” (del inglés: “verification approach” e “inquiry-driven”). En la elaboración del taller propuesto se tomarán estas ideas y trabajos publicados como insumo principal para la construcción de las diversas actividades programadas. Si bien parte del trabajo propuesto consiste en ampliar y actualizar esta información para conocer el estado del arte actual del tema, podemos mencionar como referencia primaria los trabajos publicados por Mohrig (2003, 2004). En particular se planea trabajar en la categoría “investigación” y con las tres propuestas, que más adelante describimos, en distintas etapas del trayecto formativo.

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre temas relacionados a las discusiones de la enseñanza y aprendizaje en el laboratorio de química orgánica. Si bien es un campo muy específico de estudio, hay varios trabajos publicados en donde diferentes enfoques se describen a partir de propuestas que involucran experimentos de síntesis orgánica. Como mencionamos anteriormente, se diferencian dos tipos de clases, las que se denominan de verificación y de investigación. Los enfoques denominados de “verificación” consisten en que el alumno reproduce una técnica descriptiva con todos los detalles y verifica que al realizar el experimento indicado obtiene el valor esperado. La segunda categoría es más actual y se está implementando en los laboratorios de enseñanza de la química orgánica cada vez más. Este modelo de enseñanza permite a los estudiantes participar en el proceso científico. En este sentido, tienen la oportunidad de pensar creativamente y tomar decisiones durante el desarrollo de los experimentos mientras van elaborando conclusiones de los resultados observables.

Dentro de la categoría adoptada en esta propuesta, la de la clase centrada en las experiencias educativas denominadas de “investigación”, se pueden definir claramente tres enfoques diferentes. Son tres formas, metodologías de enseñanza, diferentes para abordar un trabajo experimental en química orgánica. Si bien son denominadas de diversas maneras por los diferentes autores, se pueden compilar y categorizar. A continuación, se redactan de acuerdo con un análisis y sintaxis propia.

- Prácticas experimentales de investigación guiada.
- Prácticas experimentales prediseñadas.
- Prácticas experimentales de investigación con final abierto.

Se realizará una breve descripción de cada una de ellas. Las prácticas experimentales de investigación guiada a) pueden tener o no una descripción detallada de la técnica experimental a desarrollar, sin embargo, siempre contemplan y plantean preguntas típicas de la investigación que los estudiantes logran responder a través del análisis de los resultados que van obteniendo. En las prácticas experimentales

b) y c) los estudiantes deben diseñar sus propios procesos y luego, obviamente, llevarlos a cabo. Las prácticas prediseñadas b) se utilizan mucho en el contexto de la síntesis orgánica, donde los estudiantes adaptan procedimientos clásicos y generales para preparar un compuesto específico o llevar a cabo un tipo particular de reacción. Las prácticas con final abierto c) son experiencias educativas más complejas. En ellas el estudiante, con supervisión docente, utiliza información bibliográfica diversa para encontrar modelos experimentales que puede y debe adaptar para cumplir con el objetivo propuesto.

Dada la modalidad de enseñanza propuesta en este proyecto de innovación se pueden llevar a cabo trabajos experimentales siguiendo cualquiera de las tres formas anteriormente descritas. Las tres propuestas permiten, con matices, introducir a los alumnos en dos de las más importantes partes de la experimentación química, el diseño de experimentos y el análisis de los resultados observables. Estas dos cuestiones comprometen, en el proceso de enseñanza y aprendizaje, a docentes y alumnos a pensar, discutir y analizar en cómo se lleva a cabo la ciencia experimental.

## **TALLER DE PRÁCTICA EXPERIMENTAL EN SÍNTESIS ORGÁNICA**

El taller diseñado consiste en una serie de experimentos de laboratorio en temas de síntesis orgánica. La síntesis orgánica es un tema primordial dentro de la Química Orgánica. Es la herramienta de preparación de moléculas orgánicas mediante metodologías específicas. Se puede definir como el conjunto de teorías y técnicas de construcción de moléculas, formación y transformación de enlaces y grupos funcionales. Para el desarrollo de este taller se pueden distinguir distintas etapas de trabajo que describimos a continuación.

### *Búsqueda bibliográfica*

La búsqueda bibliográfica es un aspecto central en este taller. Mediante ella se toma conocimiento de los aspectos teóricos a desarrollar en el laboratorio. En general se realizan dos búsquedas distintas que permiten a) conocer con detalle las técnicas y metodologías de laboratorio necesarias para llevar a cabo las reacciones y b) los métodos, las reacciones involucradas en la preparación de la molécula objetivo. Cada una de estas búsquedas se realizan de manera particular y con la literatura apropiada.

Desde una perspectiva didáctica no solo se aprende a realizarlas, tarea imprescindible del trabajo de laboratorio, sino que la información obtenida permite realizar discusiones enriquecedoras. Existen distintas opciones para llevar a cabo un mismo objetivo de síntesis. Desde metodologías que emplean condiciones o equipamientos diferentes a rutas sintéticas de construcción a través de diversos caminos. En este

sentido al existir diferentes opciones el elegir y diseñar el propio camino se constituye en un elemento muy interesante de enseñanza. Al poder confrontar opciones estas pueden discutirse en distintos términos. A continuación, enumeramos preguntas que llevan a reflexiones y debates sumamente enriquecedores y pueden emplearse en clase.

¿Cuál es el nivel de “confianza experimental” de la literatura revisada? ¿Cuáles son las categorías establecidas y cómo pueden verificarse en cuanto a la “confianza experimental”? ¿Qué parámetros pueden utilizarse para comparar técnicas de síntesis distintas de un mismo producto? ¿Cuáles de estos parámetros son más relevantes en el contexto local y particular de clase?

#### *Planificación de la síntesis*

Esta etapa de trabajo es muy importante ya que se toma un real conocimiento de toda la actividad a realizar. En la práctica es usual no estimar correctamente los tiempos de reacción y de los procesos involucrados; la preparación y armado de equipamiento y el control y purificación de reactivos. Todo esto debe ser planificado para no generar imprevistos que resulten en el no cumplimiento de las metas por falta de tiempo o por fallas en las operaciones. Esta tarea de planificación tiene estrecha relación con la investigación. Se utiliza información recabada en la búsqueda bibliográfica para armar una propuesta de trabajo, de alguna manera es la construcción metodológica de una experimentación de investigación. Las preguntas que formulamos para trabajar esta etapa son:

¿Cuáles son los tiempos estimados para las operaciones de trabajo usuales, pesada, filtrado, agregados, etc.? ¿Cómo alteraría la planificación original un inconveniente técnico? ¿Qué estrategias puede implementar para prevenirlo o subsanarlo? ¿Cuáles son las etapas esenciales que no pueden ser interrumpidas? ¿Cómo organiza las actividades en función de los recursos humanos y materiales disponibles?

#### *Purificación de reactivos*

Esta etapa de trabajo no debe ser menospreciada, es usualmente una fuente de inconvenientes y malos resultados finales. Existen una serie de técnicas estándar en química orgánica, bien descritas en la literatura específica, que deben emplearse, en primera instancia, para corroborar de manera sencilla la pureza de los reactivos y eventualmente para purificarlos. El control de calidad de los materiales de partida se aplica a todos los reactivos, solventes y catalizadores empleados. También dentro de esta etapa es necesario incluir un chequeo previo del equipamiento a utilizar, verificando el correcto funcionamiento de este. Sobre esta parte del trabajo se puede reflexionar y discutir entre docentes y alumnos a partir de las siguientes preguntas orientativas.

¿Cuál es la literatura específica para conocer técnicas de purifica-



ción? ¿Cuáles son las impurezas comunes presentes en los reactivos? ¿Cómo se conocen las condiciones apropiadas de almacenamiento de los reactivos? ¿Qué influencia tiene el medio, temperatura, humedad, luz solar, sobre la pureza de los compuestos a emplear? ¿Qué estándar de pureza es realmente necesario para cada reactivo y solvente de acuerdo con la síntesis planeada?

#### *Síntesis, aislamiento y purificación*

La síntesis, aislamiento y purificación se constituyen en la tríada central del proceso de síntesis orgánica. Durante estas tres etapas se requiere destreza técnica, capacidad de observación y análisis crítico de los procesos en desarrollo. Además, es fundamental tener especial consideración en las cuestiones de seguridad e higiene de manera general y específica considerando los reactivos y equipos en uso. Si bien usualmente se siguen protocolos de trabajo en ocasiones es necesario cambiarlos o adaptarlos a situaciones particulares, esta actividad requiere de una buena base teórica sobre las técnicas a emplear y un conocimiento en detalle de los reactivos y materiales en uso. Durante estas tres etapas de trabajo se pueden formular las siguientes preguntas para la enseñanza de los temas relacionados.

¿Cómo se controlan las condiciones de reacción, temperatura, tiempo, cantidades, etc.? ¿Cómo se ensambla y controla la operatividad plena de los reactores? ¿Conoce los riesgos asociados a la manipulación de reactivos y solventes? ¿Cómo se agregan al reactor las sustancias para que la reacción sea óptima? ¿Qué cambios puede observar durante la reacción química: coloración, solubilidades, pH, temperatura? ¿Puede relacionar estos cambios con cuestiones teóricas? ¿Pueden estos cambios guiarlo en el seguimiento del proceso? ¿Cómo debe rotular correctamente los desechos o subproductos de reacción? ¿Dónde y cómo se disponen, tratan o descartan? ¿Qué precauciones debe tener en el aislamiento cuando hay materiales peligrosos involucrados? ¿Qué información previa debe tener respecto al estado de agregación y la solubilidad de las sustancias para llevar a cabo un correcto aislamiento por extracciones o lavados? ¿Cuáles son los fundamentos teóricos del proceso de purificación que va a emplear? ¿Es la muestra apta para este proceso? ¿Cómo puede verificarlo?

#### *Identificación de los productos y cálculos finales*

La etapa final de toda síntesis orgánica es la caracterización del producto obtenido mediante sus propiedades físicas, así como la corroboración de la identidad mediante diversos métodos espectroscópicos. La elucidación inequívoca de la estructura es un proceso fundamental que verifica fehacientemente el objetivo principal de preparar una molécula orgánica determinada. Esta etapa permite verificar el éxito de las operaciones realizadas y cuantificarlo mediante diversas métricas y compa-

rarlas con datos teóricos. Existe una graduación de éxito basada en la comparación del rendimiento, la selectividad, conversión y pureza que permite establecer discusiones globales sobre lo realizado. Estas discusiones pueden ser orientadas mediante las siguientes preguntas.

¿Cuál es la bibliografía específica donde se encuentran los datos de propiedades fisicoquímicas sobre los productos obtenidos? ¿Cómo se miden adecuadamente estas propiedades? ¿Qué significan discrepancias entre los datos obtenidos y los referenciados en la literatura? ¿Qué variaciones numéricas se consideran aceptables para las distintas propiedades de caracterización? ¿Cómo puede estimar teóricamente valores de referencia cuando no están descritos en la literatura? ¿Qué condiciones debe cumplir una muestra para ser analizada por los métodos espectroscópicos usuales? ¿Cómo se preparan las muestras para su análisis espectroscópico? ¿Cómo se analizan los resultados obtenidos? ¿Qué programas se utilizan para tal fin? ¿Cuáles son los parámetros de identidad requeridos para confirmar una estructura de manera inequívoca? ¿Cuáles son los requisitos experimentales establecidos de pureza e identidad que puede extraer de los datos espectroscópicos?

#### *Informe escrito*

Durante el desarrollo de las tareas experimentales se generan instancias de reflexión, debate y elaboración de conclusiones. Este proceso finaliza con la redacción de un informe final escrito. En ese informe se plasman todos los procesos realizados con detalle, incluyendo observaciones experimentales y dificultades o accidentes ocurridos. También se debe incluir la descripción del material y equipamiento utilizado, así como la calidad y origen de los reactivos y solventes. Es decir, no es solo una transcripción de un método de síntesis, sino que es una redacción completa de lo acaecido. Se deben presentar los cálculos de rendimiento, selectividad, pureza y otros parámetros según corresponda y analizar minuciosamente y reportando toda la información extraída de los espectros realizados. Por último, se presentan conclusiones reales de todo el proceso comparando lo obtenido con las referencias de literatura y eventualmente esbozando hipótesis de las diferencias encontradas. El informe incluye un proceso de evaluación con correcciones de los docentes que pueden abordar discusiones alrededor de las siguientes cuestiones.

¿Cuáles son las formas narrativas académicamente aceptadas para la reacción de este tipo de escritos? ¿Cómo se escriben adecuadamente las reacciones, los mecanismos y fórmulas químicas? ¿Cómo se reportan los datos de propiedades fisicoquímicas y los obtenidos de los espectros? ¿Qué observaciones experimentales debe incluir? ¿Cómo se describen los cambios de estado, coloración, solubilidad o pH? ¿Cuál es la información relevante de los reactivos, solventes y catalizadores que se deben extraer del proveedor? ¿Qué datos compara y discute en

una síntesis orgánica entre lo establecido en la literatura y lo obtenido experimentalmente? ¿Qué teorías puede abordar para redactar hipótesis sobre lo observado?

## **RELEVANCIA DE LOS CARBOHIDRATOS COMO TEMA DE TRABAJO EN EL LABORATORIO**

La química de los carbohidratos se ha estudiado con detalle desde el siglo XIX con los pioneros trabajos de Emil Fischer (Kunz, 2002) sin embargo, no ha recibido tanta atención como otras familias de biomoléculas orgánicas. Los péptidos y proteínas y los ácidos nucleicos son compuestos con mayor visibilidad y aparente relevancia. Los avances recientes en el estudio de la glicobiología y la síntesis de derivados de azúcares complejos están promoviendo mayores investigaciones en distintos campos del quehacer científico y académico como lo son la química, bioquímica, inmunología y biología molecular. Debido a este progreso, a la inclusión de los carbohidratos como moléculas relevantes en los sistemas biológicos, se torna de suma importancia exponer, e incluir en los programas de estudio, nuevas prácticas en este campo. Estos temas forman parte de las unidades de los programas de varias asignaturas de carreras de química y ciencias biológicas. Uno de los desafíos primarios al abordarlos en clase es la relativa complejidad estructural y de función que poseen los derivados de azúcares y las biomoléculas relacionadas. Esta complejidad requiere, en principio, mucho conocimiento previo básico de la química orgánica; para ser abordado con una buena base y lograr prácticas dinámicas y provechosas de enseñanza aprendizaje. Recientemente se ha publicado una completa revisión de las prácticas de laboratorio diseñadas para incorporar los azúcares en la currícula. (Koviach-Côté, 2018). En él se describen trabajos desde el año 2000 hasta la fecha de publicación relacionados con distintas áreas de la química: orgánica, general, analítica y bioquímica. De la lectura se concluye que los carbohidratos no son solo una familia importante de biomoléculas, sino que también permiten generar oportunidades de enseñanza en una amplia variedad de tópicos propios de la química orgánica. Podemos mencionar también una serie de ventajas desde la perspectiva docente al realizar prácticas sobre azúcares. A continuación, las enumeramos.

-Los estudiantes están familiarizados con los carbohidratos en el contexto de la nutrición, ciencia de alimentos, salud, etc. lo que provee una relevancia de la temática en situaciones de la vida cotidiana fácilmente vinculables.

-Los hidratos de carbono no son tóxicos, generalmente baratos, fáciles de purificar y debido al desarrollo alcanzado en el último tiempo, pueden involucrarse en procedimientos reproducibles.

-La mayoría de las transformaciones pueden llevarse a cabo en tiem-

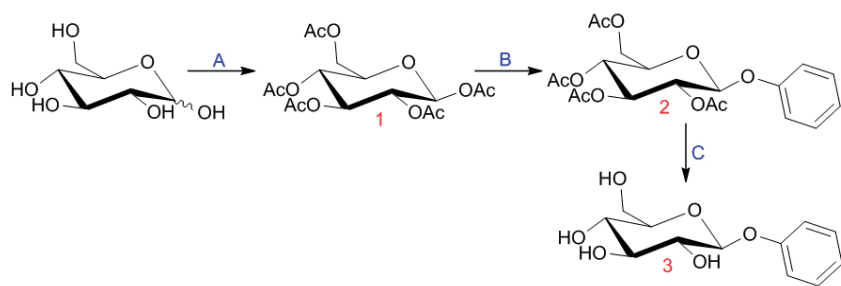
pos acotados y programarse para clases de 3 o 4 horas con facilidad. Incluso de incorporar síntesis o prácticas en varios pasos los intermediarios suelen ser estables por días sin mayores cuidados.

-La versatilidad de estos compuestos permite desarrollar prácticas que involucren temas como: la selectividad en las transformaciones químicas, cinética, química computacional y análisis cuantitativos entre otros.

Es así como la elección del tema para desarrollar el primer taller de práctica experimental resulta sumamente interesante.

### *Reacciones químicas*

El trabajo de síntesis consiste en la preparación de un glicósido. Los glicósidos se encuentran en la naturaleza en abundancia y cumplen una función relevante en numerosos procesos biológicos. (Bartnik, 2017) Para sintetizarlos en el laboratorio es necesario llevar a cabo una serie de reacciones. Mediante el siguiente esquema se presenta la propuesta a realizar en el taller.



Como se puede observar se realizan tres reacciones distintas para obtener el producto final de interés pasando por dos compuestos intermediarios de síntesis. Las reacciones se pueden nombrar: protección **(A)**, glicosilación **(B)** y desprotección **(C)**. Estas son tres reacciones básicas y se estudian en el curso de química orgánica II.

#### *Protección (A)*

Los grupos protectores son un tema central en la síntesis orgánica. (Wuts y Greene, 2006) Es una estrategia desarrollada para impedir la reactividad temporal de ciertos grupos funcionales presentes en una molécula. De esta manera se pueden llevar a cabo reacciones selectivamente sobre un grupo funcional. Esto es central en la química de los azúcares ya que por su estructura natural poseen múltiples hidroxilos. El transformar los oxidrilos en metil ésteres es una de las reacciones de protección más empleadas en la química de carbohidratos.

#### *Glicosilación (B)*

Esta reacción puede ser tanto una etapa de biosíntesis en un proceso bioquímico natural como una reacción de laboratorio. Es central en los sistemas biológicos y produce glicósidos de gran relevancia. Es

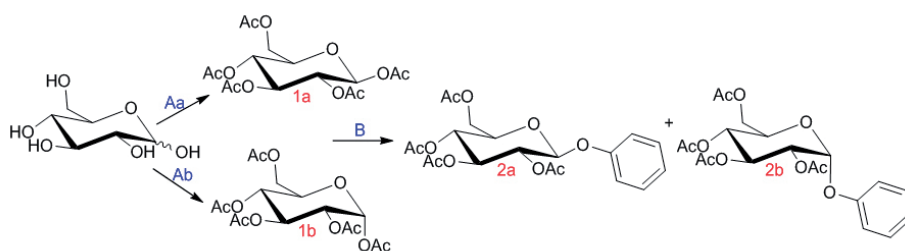
así como tratando de emular la naturaleza y buscando producir compuestos bioactivos se han desarrollado distintos métodos de síntesis de glósidos. (Brito-Arias, 2022) La reacción planeada en este taller es de formación de un O-aril glósido, compuestos naturales con bioactividad muy abundantes principalmente en el reino vegetal.

### Desprotección (C)

Esta reacción es el complemento a la protección (A) y que, en conjunto, componen la estrategia de síntesis con grupos protectores. Es esencial que la protección y desprotección sean reacciones sencillas, desde la perspectiva de la síntesis orgánica, y puedan ocurrir sin alterar grupos funcionales en la molécula para poder finalmente obtener el compuesto objetivo. En este caso la hidrólisis de los ésteres se suele llevar a cabo sin dificultad en un medio básico usualmente en las condiciones descritas por Zemplén o relacionadas. (Ren, 2015)

## CONDICIONES DE REACCIÓN Y SUS IMPLICANCIAS

El esquema de reacción mostrado anteriormente es una representación general de las reacciones involucradas en la síntesis multi pasos a realizar en el taller. Es importante aclarar que cada una de ellas, principalmente las reacciones A y B, presentan cierta complejidad y variaciones que pueden realizarse y, dependiendo de ellas, distintos productos podrían obtenerse. Como se aprecia en el siguiente esquema la clave de selectividad se encuentra en la configuración anomérica.



Se pueden obtener los anómeros alfa o beta de acuerdo con las condiciones de reacción del paso A. Es así como existen técnicas para preparar los compuestos **1a** y **1b**. En el caso de la reacción **B** el control de la selectividad anomérica también ha sido estudiado con profundidad y existen catalizadores para obtener con alto grado de selectividad los compuestos **2a** o **2b**. Sin embargo, es importante aclarar, que en este último caso prácticamente en todos los ejemplos reportados se detecta la presencia de un anómero minoritario. Es usual reportar estos resultados haciendo hincapié en la proporción de anómeros ya que los catalizadores empleados buscan selectividad, y de ella depende su éxito. Cabe aclarar que usualmente es dificultosa la separación de

los anómeros mediante las técnicas de purificación usuales, por este motivo obtener un anómero en alta proporción es deseable.

En este taller se proponen técnicas que garantizan una alta selectividad tanto para la reacción **A** como **B**. Como el trabajo planeado es en pequeños grupos o individualmente se asignará a la mitad de ellos la preparación de **1a** y a la otra mitad la de **1b**. También probarán cambios en las condiciones de reacción, incluyendo catalizadores, para poder estudiar la selectividad de la reacción B, analizando por distintos métodos la presencia, y calcular proporciones, de los anómeros plausibles de ser obtenidos. A continuación, transcribimos de sus escritos originales las técnicas que serán adaptadas por alumnos y docentes. Las obtenciones de **1a** y **1b** son copias de las presentadas en el clásico *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry*. (Furniss, 1989) La síntesis de **2** se planea realizar según lo descrito Lee y sus colegas. (Lee, 2001) Si bien en una primera instancia se propone seguir estas técnicas existen otras reportadas en la literatura, parte del trabajo planeado incluye la posibilidad de realizar una búsqueda bibliográfica y discutir y analizar entre docentes y alumnos la factibilidad de emplear otras metodologías para cumplir con el objetivo.

#### TEMAS DE TRABAJO DOCENTE

El proyecto propuesto tiene múltiples fuentes teóricas y prácticas para el trabajo docente. La formación de los alumnos en el tema central que es la síntesis orgánica de derivados de carbohidratos es el objetivo principal pero no el único. También se puede trabajar en los siguientes temas.

**El proyecto propuesto tiene múltiples fuentes teóricas y prácticas para el trabajo docente. La formación de los alumnos en el tema central que es la síntesis orgánica de derivados de carbohidratos es el objetivo principal pero no el único.**

#### *Buscadores*

La información bibliográfica sobre los temas de síntesis orgánica puede buscarse empleando diferentes recursos. El más usado actualmente es la Biblioteca Electrónica del Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación. La cantidad de recursos que presenta es importante, principalmente se tiene acceso a más de treinta mil revistas científicas de primer nivel. Para buscar con precisión y rigor en ellas se utilizan buscadores. Los más utilizados en química orgánica, y a los cuales actualmente tiene acceso el sistema universitario, son Scopus y Reaxys. El uso de ellos se transforma en una herramienta fundamental para ac-

ceder a literatura científica y tecnológica. La enseñanza de su uso a los alumnos de grado es una oportunidad para acercarlos a contenidos actuales de las prácticas que realizan y a una herramienta de acceso digital que probablemente utilicen en sus prácticas profesionales.

#### *Literatura*

La literatura específica de síntesis orgánica es múltiple y variada en cuanto a su calidad de relatos y fiabilidad experimental. Las técnicas encontradas deben ser reproducibles, esto es una premisa fundamental en la aplicación de metodologías publicadas. Un análisis crítico de la literatura genera en los alumnos una idea de la diversa calidad de las publicaciones. Se encuentran desde descripciones muy detalladas e incluso chequeadas experimentalmente como la colección Organic Syntheses hasta publicaciones de bajo impacto con descripciones de prácticas de laboratorio mínimas.

#### *Análisis de opciones sintéticas*

Las reacciones descritas en el taller se han estudiado con detalle en los últimos años. Fruto de varias investigaciones se encuentran descritos en la literatura diversos métodos que emplean condiciones de reacción distintas, incluyendo solventes, catalizadores, temperatura, etc. Luego de una búsqueda bibliográfica aparecerán distintas opciones, es una oportunidad para los docentes de introducir las claves de un análisis realista de los procesos químicos. Este análisis debe incluir costos de reactivos, disponibilidad local, toxicidad, condiciones de almacenamiento, tiempos de trabajo, gasto de agua y energía, equipamientos, etc. Este estudio es fundamental en la futura profesión de los alumnos ya que, independientemente de la carrera elegida y el rubro al que se dediquen, siempre se encontrarán con decisiones a tomar que requieren un análisis previo global.

#### *Grupos protectores*

Como mencionamos anteriormente el uso de grupos protectores es una metodología utilizada en síntesis orgánica ampliamente. En la secuencia planteada hay que utilizar grupos protectores, presentar a los alumnos las ideas centrales de la estrategia es una oportunidad de introducirlos en la temática. Es importante mostrar la gran variedad de opciones existentes y que estos permiten manejar variables claves en síntesis orgánica como lo son la regioselectividad, la solubilidad y las transformaciones de grupos funcionales.

#### *Anómeros, cinética, termodinámica y catálisis*

En las reacciones involucradas denominadas **A** y **B** se pueden producir cambios en la configuración anomérica. Estos cambios están gobernados por diversos efectos, cinéticos, termodinámicos, elec-

trónicos y relaciones con los catalizadores y condiciones de reacción. (Boltje, 2016) Es así como se pueden elaborar hipótesis teóricas para predecir la configuración obtenida. Esto puede trabajarse teóricamente con los alumnos para ampliar sus conocimientos de la fisicoquímica orgánica. También entran en juego cuestiones de estereoisomería, concepto básico, pero de trascendencia central en las estructuras de biomoléculas complejas.

#### *Química verde*

La química verde es una temática de reciente interés y desarrollo en la comunidad. La búsqueda de procesos que sean sostenibles y de bajo impacto ambiental se ha constituido en un tema de sumo interés mundial. En el área de la educación cada vez más se introducen estos conceptos en las prácticas de laboratorio. (Serrano, 2013) en el taller propuesto se pueden reemplazar reactivos y fundamentalmente catalizadores para hacer más “verde” el proceso. Por ejemplo, la reacción **A** puede llevarse a cabo con iodo molecular como catalizador, obteniendo el anómero alfa selectivamente, en condiciones más amigables con el medio. (Schatz, 2001)

#### *Cromatografía en capa delgada y reveladores selectivos*

El seguimiento de las reacciones puede llevarse a cabo con una metodología simple, económica y rápida como la cromatografía en capa delgada (CCD). Si bien esta técnica es bien conocida y ya empleada por los alumnos en otros cursos de grado. Dada las características de los compuestos involucrados se pueden emplear distintos reveladores para visualizar los reactivos y productos e ir controlando el avance de la reacción. Se pueden emplear desde reveladores destructivos apropiados para **1** como el ácido sulfúrico en metanol, luz UV 254 nm para el glicósido con la aglicona aromática y el fenol y una solución de p-anisaldehído para la detección de los compuestos **2** y **3**.

#### *Espectroscopía de RMN*

La identificación de los productos obtenidos se puede realizar a través de espectroscopía de RMN de  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$ . Los alumnos tienen conocimientos básicos de estas técnicas, pero no realizan una práctica realista al respecto. (Laurella, 2017) En este caso pueden analizarse los productos **2** y **3** a través de sus espectros. Es una chance concreta de enseñar el uso de programas de software libre disponibles. Además en este caso pueden visualizarse los anómeros y en el caso de obtener mezclas es posible de cuantificarlas fácilmente a través del análisis de las señales correspondientes a los protones anoméricos. También pueden asignarse las configuraciones absolutas mediante el cálculo de las constantes de acoplamiento escalares y sus relaciones con el ángulo diedro. Es un momento propicio para introducir el análisis de



espectros gCOSY y gHSQC ya que en la química de los carbohidratos facilitan el análisis inequívoco estructural.

### *Industria Farmoquímica*

La síntesis orgánica se lleva a cabo a mayor escala, industrial, para la obtención de compuestos orgánicos de interés comercial. Existen numerosas industrias químicas en el país que se dedican a ello; por ejemplo, la dedicada a la síntesis de principios activos de medicamentos. Según la Cámara Argentina de Productores Farmoquímicos (CAPDROFAR) se sintetizan unas 100 moléculas de uso farmacéutico en la actualidad. Una búsqueda y análisis de la industria nacional en estos temas permite al alumno interesarse en la futura práctica profesional y genera motivación para el estudio de la síntesis orgánica.

### *Seguridad e higiene*

En este taller se manipulan sustancias orgánicas que requieren cuidado especial al ser utilizadas y almacenadas. Es ideal realizar prácticas que permitan a los alumnos conocer estos detalles, saber buscar la información al respecto y analizarla críticamente para tener conciencia profesional del uso de sustancias químicas que implican un riesgo para las personas y los materiales. También un análisis de costos permite tener acabado conocimiento y conciencia de las pérdidas económicas que pueden implicar una manipulación errónea de los reactivos.

## **EVALUACIÓN**

Como parte del proyecto de innovación planteado no solo se formularon nuevamente los contenidos y prácticas de los trabajos prácticos de laboratorio de la asignatura, sino que también se propone una nueva forma de evaluación de estos.

**El proyecto propuesto tiene múltiples fuentes teóricas y prácticas para el trabajo docente. La formación de los alumnos en el tema central que es la síntesis orgánica de derivados de carbohidratos es el objetivo principal pero no el único.**

Usualmente la evaluación de los trabajos prácticos, como se describió anteriormente en las etapas de diagnóstico, era pobre y “teórica” durante los exámenes parciales. Es decir, no existe una evaluación propia del proceso experimental realizado, sino que se evalúan las teorías experimentales generales de la química orgánica. El uso de rúbricas o matrices de valoración como metodología de evaluación parecen ser instrumentos de evaluación más adecuados para la propuesta pedagógica planteada aquí.

Las rúbricas se definen como descriptores cualitativos que permiten analizar con detalle la naturaleza del desempeño de los alumnos. Esta clase de evaluaciones logran una apreciación más justa e integral ya que se ajusta a criterios concretos y graduados y son ideales para evaluar desempeños que forman una competencia. (Blanco, 2007)

Existen diversos tipos y usos de rúbricas. En esta propuesta se utiliza una rúbrica holística. La rúbrica holística, comprensiva o global tiene en cuenta el trabajo del estudiante como una totalidad. Se emplean criterios ya establecidos e informados en relación con un proceso o producto y no hay una evaluación por partes o parcial de las etapas que puedan describirse en el proceso. (López García, 2007)

Esta clase de rúbricas se planean como ideales para las prácticas de creación, donde no existe una única respuesta; por el contrario, se vuelve imperioso estudiar las habilidades y destrezas de los alumnos durante el proceso de creación.

Se diseñó una rúbrica específica para la evaluación global final. Para este diseño se tomó como base el trabajo realizado por Lafuente (2020) donde se plantea una situación de evaluación de un trabajo experimental en química orgánica.

A continuación, presentamos la rúbrica diseñada.

<b>Niveles de logro (nota final)</b>	<b>Criterios o indicadores</b>
Muy bien (10-8)	Logra con éxito cumplir con todos los objetivos esperados. Lleva a cabo la búsqueda bibliográfica y planificación de las síntesis con mucha precisión alcanzando niveles de excelencia. Su trabajo experimental es muy bueno en todos los procesos llevados a cabo desde el acondicionamiento de reactivos hasta la purificación final de los productos. Logra utilizar todas las herramientas espectroscópicas, interpretar sin dudas los resultados y llega a conclusiones pertinentes. Todo lo anteriormente descrito lo plasma con calidad en el informe escrito y en los coloquios.
Bien (7-6)	Lleva a cabo todas las tareas propuestas y logra con algunos tropiezos cumplir con los objetivos propuestos. Las etapas iniciales de búsqueda y planificación las conduce con éxito, aunque necesita ayuda docente para corregir ciertos aspectos que pueden conducir a fallas posteriores experimentales. Se desenvuelve bien en el laboratorio y maneja las técnicas adecuadamente, sin embargo, necesita supervisión y corrección de ciertos detalles. Sus informes escritos son correctos, aunque pueden mejorarse y su presentación oral deja ciertos tópicos incompletos o no descritos con la profundidad necesaria.
Regular (4-5)	Cumple con los objetivos de manera justa. No manifiesta ni teórica ni experimentalmente habilidades sobresalientes, sin embargo, logra planificar y llevar a cabo los experimentos con éxito. Para ello necesita ayuda e intervención docente en reiteradas oportunidades. La interpretación de datos espectroscópicos finaliza con éxito solo gracias a la colaboración docente directa y explícita. Sus producciones escritas y orales son correctas, sin embargo, en algunas ocasiones falla en conceptos teóricos básicos.
Insuficiente (desaprobado)	No cumple con los objetivos propuestos. Comete errores conceptuales teóricos que lo llevan a fallar en lo experimental. Sus habilidades técnicas experimentales no son suficientes como para poder cumplir adecuadamente con la síntesis orgánica de los productos propuestos. Sus informes y presentaciones orales presentan errores no admisibles para el nivel académico mínimo exigido.

## RESULTADOS ESPERADOS

Mediante la implementación de este proyecto se pretende cumplir con los objetivos propuestos de trabajo. Esperamos generar un espacio de práctica experimental que logre articular eficientemente aspectos teóricos y prácticos. En particular podemos listar una serie de premisas que esperamos puedan lograrse y convertirse en una mejora notoria en la enseñanza de la química orgánica para los alumnos de las carreras de Bioquímica, Farmacia, Biotecnología y Alimentos. Pretendemos y esperamos lograr:

**Mediante la implementación de este proyecto se pretende cumplir con los objetivos propuestos de trabajo. Esperamos generar un espacio de práctica experimental que logre articular eficientemente aspectos teóricos y prácticos.**

- Trabajo experimental con una didáctica basada en la investigación
- Prácticas experimentales completas de acuerdo con su diseño original.
- Trabajo individual experimental intenso.
- Espacios de reflexión y discusión sobre la observación experimental y sus relaciones teóricas.
- Prácticas formativas y vinculadas con el quehacer profesional.
- Experiencias que se relacionen con temáticas de interés, incluyendo tópicos de otras disciplinas.
- Un sistema de evaluación que permita adentrarse en el desarrollo de las capacidades del alumno en cuanto a lo experimental.

A través del cumplimiento de estas metas de trabajo se espera que los alumnos tengan mayor motivación para el trabajo experimental y logren ir visualizando sus futuras tareas profesionales. En su conjunto todas las actividades planificadas intentan mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje.

## BIBLIOGRAFÍA

**Barraza Macías A.** (2013). *¿Cómo elaborar proyectos de innovación educativa?* Durango, México: Universidad Pedagógica de Durango.

**Bartnik, M., y Facey, P. C.** (2017). *Glycosides*. In *Pharmacognosy* (pp. 101-161). Academic Press.

**Blanco, A.** "Las rúbricas: un instrumento útil para la evaluación de competencias" En L. Prieto (coord.). *La enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje*. Barcelona. Octaedro, 2007.

**Boltje, T. J., Liu, L., y Boons, G. J.** (2016). *Controlling anomeric selectivity, reactivity, and regioselectivity in glycosylations using protecting groups*. *Glycochemical Synthesis: Strategies and Applications*, 97.

**Brito-Arias, M.** (2022). *Glycosides, Synthesis and Characterization*. In *Synthesis and Characterization of Glycosides* (pp. 1-100). Springer, Cham.

**Furniss, B. S.** (1989). *Vogel's textbook of practical organic chemistry*. Pearson Education.

**Kunz, H.** (2002). *Emil Fischer – Unequaled Classicist, Master of Organic Chemistry Research, and Inspired Trailblazer of Biological Chemistry*. *Angewandte Chemie International Edition*. 41 (23): 4439–4451.

**Koviach-Côté, J., y Pirinelli, A. L.** (2018). *Incorporating Carbohydrates into Laboratory Curricula*. *Chemical reviews*, 118(17), 7986-8004.

**Lafuente, L.** (2020). *Nuevo Programa como innovación curricular para mejorar la enseñanza de las prácticas experimentales en Química Orgánica Avanzada*. TFI, Especialización en Docencia Universitaria. UNLP

**Laurella, S. L.** (2017). *Resonancia magnética nuclear: Una herramienta para la elucidación de estructuras moleculares*. La Plata, Argentina: Edulp. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/62803>

**Lee, Y. S., Rho, E. S., Min, Y. K., Kim, B. T., y Kim, K. H.** (2001). *Practical  $\beta$ -stereoselective O-glycosylation of phenols with penta-O-acetyl- $\beta$ -D-glucopyranose*. *Journal of carbohydrate chemistry*, 20(6), 503-506.

**Litwin, E.** (2008). *El oficio del docente y la evaluación*, en: *El oficio de Enseñar. Condiciones y contextos*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.

**López García, J.** "Matriz de Valoración" [EDUTEKA, Portal Educativo] Recu-

perado de <http://www.eduteka.org/MatrizValoracion.php3>. 2007.

**Mohrig, J. R.** (2004) *The problema with organic chemistry labs*. Journal of Chemical Education, 81, 1083–1084.

**Mohrig, J. R.; Hammond, C. N.; Schatz, P. F.; Morrill, T. C.** (2003) *Modern Projects and Experiments in Organic Chemistry, 2nd ed.*; New York, US: W. H. Freeman.

**Ren, B., Wang, M., Liu, J., Ge, J., Zhang, X., y Dong, H.** (2015). *Zemplén transesterification: a name reaction that has misled us for 90 years*. Green Chemistry, 17(3), 1390-1394.

**Serrano, M. D. C. D., y Ruvalcaba, R. M.** (2013). *Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química*. Educación química, 24, 94-950.

**Schatz, P. F.** (2001). *An Improved Preparation of  $\alpha$  [alpha]-d-(+)-Glucopyranose Pentaacetate*. Journal of Chemical Education, 78(10), 1378.

**Wuts, P. G., y Greene, T. W.** (2006). *Greene's protective groups in organic synthesis*. John Wiley & Sons.