



## DESARROLLO DE LABORATORIOS VIRTUALES EN INGENIERÍA CON PARTICIPACIÓN DE ESTUDIANTES DE PREGRADO

Development of virtual laboratories in engineering  
With the participation of undergraduate students

MIGUEL M. PÉREZ HERNÁNDEZ  
Universidad Metropolitana, Venezuela

---

### KEYWORDS

Matlab  
Simulation  
Learning  
Methodology,  
Undergraduate  
Projects

---

### ABSTRACT

*The Covid-19 pandemic changed the way engineering laboratories are managed. For the last quarter of 2020, the development of practices in the Virtual Processes Laboratory involving undergraduate Chemical Engineering students from the Metropolitan University was established as an academic objective, using the programming and numerical calculation platform Matlab, applying the methodology of study called Project Based Learning. The students' response indicated that the experience gained gave them confidence in its use, a better understanding of the associated advantages and disadvantages, and in the future a competitive benefit in the industry.*

---

### PALABRAS CLAVE

Matlab  
Simulación  
Aprendizaje  
Metodología  
Pregrado  
Proyectos

---

### RESUMEN

*La pandemia de Covid-19 cambió la forma de manejar los laboratorios de ingeniería. Para el último trimestre del año 2020, se estableció como un objetivo académico el desarrollo de prácticas del Laboratorio de Procesos virtuales involucrando a estudiantes de pregrado de Ingeniería Química de la Universidad Metropolitana, utilizando la plataforma de programación y cálculo numérico Matlab aplicando la metodología de estudio Aprendizaje Basado en Proyectos. La respuesta de los estudiantes indicó que la experiencia adquirida les genera confianza en su uso, mejor comprensión de las ventajas y desventajas involucradas y a futuro un beneficio competitivo en la industria.*

---

Recibido: 05/ 08 / 2022

Aceptado: 17/ 10 / 2022

## 1. Introducción

Uno de los retos sin antecedentes en la pandemia de COVID-19 es el cierre de las instituciones educativas en los países afectados, por un período indeterminado, para prevenir la transmisión de la enfermedad. En medio de esta pandemia, el uso de tecnologías dentro del contexto de la educación a distancia ha ganado una popularidad fundamental para el aprendizaje fuera de los recintos docentes. En todo el mundo, los enfoques multidisciplinares han sido implementados en la transformación del sector educativo con la integración de las plataformas e-learning como catalizador para superar la crisis actual en la educación escolar y universitaria. (Radhamani, et al., 2021). La UNESCO informó que incrementaba los recursos de aprendizaje virtual y a distancia para garantizar la continuidad del aprendizaje en la comunidad estudiantil (Ali, 2020).

En la esfera de la educación, esta emergencia ha dado lugar al cierre masivo de las actividades presenciales de instituciones educativas en más de 190 países con el fin de evitar la propagación del virus y mitigar su impacto. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), a mediados de mayo de 2020 más de 1.200 millones de estudiantes de todos los niveles de enseñanza, en todo el mundo, habían dejado de tener clases presenciales en la escuela. De ellos, más de 160 millones eran estudiantes de América Latina y el Caribe. Hasta la fecha de la revisión, la población estudiantil afectada por estas medidas en los 32 países llegó a superar los 165 millones de estudiantes de acuerdo con la información oficial de la UNESCO. (CEPAL – UNESCO, 2020).

La información recolectada sobre los 33 países de América Latina y el Caribe hasta el 7 de julio de 2020 permite constatar que en el ámbito educativo gran parte de las medidas tomadas se relacionan con la suspensión de las clases presenciales en todos los niveles educativos. De dichos países, 32 suspendieron las clases presenciales y 29 mantienen una suspensión a nivel nacional. (CEPAL – UNESCO, 2020).

Como respuesta al brote de la covid-19, se han generado oportunidades para la utilización de algunos métodos innovadores de enseñanza aprovechados en las carreras de ingeniería, por ejemplo, señalan que muchas clases tradicionales se han reemplazado por un proceso formativo en línea apoyado en el uso del método de aprendizaje basado en problemas (ABP). (Díaz, et al. 2021).

Desarrollar competencias para la comprensión y aplicación de conceptos en la solución de problemas es fundamental en la formación de ingenieros. (Colmenares, 2018).

El uso extendido de las tecnologías de información y comunicación es la tendencia adoptada actualmente en las universidades para completar las actividades académicas. Cada vez es más frecuente el uso de aplicaciones multimedia, clases virtuales, clases a distancia y sistemas de recursos virtuales dirigidos al afianzamiento de conceptos fundamentales y el robustecimiento de la enseñanza tradicional. Para la continuidad del proceso educativo fuera de las aulas es necesario el uso del Internet, pero en los países de la región de América Latina el acceso a este tipo de servicios en los domicilios es muy desigual y limitado, lo que complica la situación.

Una nueva carrera docente a tono con las demandas del siglo XXI en general y a la contingencia 2020 en particular, deberá ser orientada hacia un nuevo contrato entre la sociedad, los estudiantes y los profesores. El contexto es complejo y se presenta como urgente. (Gazzo, 2020).

Por otra parte, la virtualización tecnológica del aprendizaje no ha sido entendida completamente por profesores y estudiantes, ni tampoco las universidades están aptas para suministrar esta educación a distancia con la calidad similar a la oferta pre-pandemia de tipo presencial.

En el entorno de la ingeniería química, donde los laboratorios desempeñan un papel importante en la formación académica, se ha convertido en una tendencia el diseño e implementación de laboratorios virtuales y remotos, los cuales han mostrado resultados altamente satisfactorios en las distintas universidades donde se han llevado a cabo.

El laboratorio virtual es un laboratorio que se lleva a cabo utilizando un software de ordenador con aspecto como equipo de laboratorio real. El laboratorio virtual se puede utilizar para reemplazar el laboratorio tradicional, especialmente para experimentos que requiere un equipo costoso, inseguro y no disponible en el laboratorio. Este laboratorio virtual tiene características tales como bajo costo, alta eficiencia, buena disponibilidad, fácil intercambio de recursos, uso seguro y facilidad de operación, y los estudiantes pueden hacer un experimento repetidamente, para que puedan obtener una data más amplia de valores que los ayude a comprender profundamente el concepto. (Usman, 2021).

En la Universidad Metropolitana (Unimet), Caracas, Venezuela, estos laboratorios virtuales han sido desarrollados paralelamente en ciertas áreas como es el caso del laboratorio de fluidos y transferencias donde un grupo de profesores están desarrollando e implementando un laboratorio virtual remoto de las prácticas de mecánica de fluidos y transferencia de calor y masa. Este laboratorio es cursado por los estudiantes de las carreras de ingeniería química e ingeniería mecánica.

En el presente proyecto, se expone el desarrollo de las prácticas virtuales simulando los procesos más utilizados en la industria los cuales están asociados a procesos de separación físico químicos. Para ello se utilizó como apoyo la plataforma Matlab-Simulink®, la cual permite llevar a cabo las simulaciones requeridas. Todo

el procedimiento fue desarrollado por los mismos alumnos de pregrado que están cursando la asignatura de procesos de separación y no por los profesores.

Matlab® (laboratorio de matrices) puede considerarse como el software de última generación para la computación científica. Es un programa de ordenador ampliamente difundido, construido como un entorno integrado donde la codificación, el análisis de datos y la visualización se pueden desarrollar en el mismo marco. Esta alta flexibilidad incluso está potenciada por el sitio web de Matlab Central de intercambio abierto, constantemente desarrollado y actualizado, donde los usuarios comparten su esfuerzo en la creación de nuevas rutinas con códigos completos y ejemplos de aplicación para muchos nuevos desafíos numéricos.

Además de las características descritas, Matlab tiene la posibilidad de interactuar fácilmente con otros softwares populares (por ejemplo, Excel®, Comsol® y LabView®) lo que permite la realización de computación científica de arquitecturas avanzadas.

Tanto los propios laboratorios como las aplicaciones utilizadas en su creación se convierten en herramientas indispensables en los análisis, estudio y control a nivel industrial, por tanto, su demanda se incrementará y el manejo de estos recursos se deberá incluir en la formación del ingeniero químico, lo que lleva a Universidad Metropolitana a adaptarse a estos requerimientos.

De acuerdo con los requisitos para el grado de ingeniería química de la Universidad Metropolitana (UNIMET), es necesario cursar una serie de laboratorios donde se abordan diversas prácticas experimentales para poner en evidencia algunos fenómenos con fines educativos, entre ellos se encuentra el laboratorio de procesos de separación.

El laboratorio de procesos de separación tiene por objetivo proporcionar un entendimiento de los principales procesos de separación, el diseño de equipos, la metodología experimental y la significación de los resultados finales, para los procesos como: filtración, fluidización, extracción líquido-líquido, destilación por carga y destilación continua, absorción física de gases, secado y humidificación, lo que le permitirá al estudiante entender en la práctica, los principios y técnicas de diseño empleadas en ingeniería química para poder desempeñarse exitosamente y afrontar los retos de las empresas modernas. (Rauch, et al., 2022).

Las prácticas en los laboratorios han tenido un rol central y distintivo en la formación de ingenieros y científicos de diversas ramas y enfoques, los laboratorios forman una parte integral de cualquier curso de ingeniería, ya que proporcionan a los estudiantes una directa exposición a instrumentos, dispositivos y equipos de ingeniería reales y similares a los que emplearán en sus vidas profesionales. (Da Silva, et al., 2022).

El pensum de estudios de la Universidad Metropolitana (UNIMET) para el grado de Ingeniería Química compagina diversas asignaturas que preparan al estudiante para ser un egresado con formación integral, competencias profesionales pertinentes, capacidad gerencial y emprendedora y comprometido con el entorno local y global. (Modelo Académico, 2021).

## 2. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es aplicar herramientas de programación y cálculo numérico para el modelado y simulación de los procesos químicos más utilizados en la industria, dentro de la asignatura de laboratorio de procesos de separación, (código de la asignatura: FPTEN20), involucrando a los mismos estudiantes de pregrado, para ser participantes activos del proceso de enseñanza-aprendizaje en las prácticas de laboratorios de la carrera de Ingeniería Química, en la Universidad Metropolitana.

Adicionalmente se pretende:

1. Presentar la Simulación de Procesos Químicos, desde un punto de vista académico, como una herramienta moderna y eficiente para el estudio de la carrera Ingeniería Química, su aplicación en las industrias de productos químicos, en el diseño de procesos y planes de investigación y desarrollo.
2. Pronosticar la actuación de procesos inscritos dentro del campo de procesos de separación a través de un modelado riguroso de tipo matemático, termodinámico o cinético del proceso involucrado.
3. Representar mediante imágenes, la respuesta de la simulación y las interacciones entre las variables y cuantificaciones del bosquejo y ejecución de los procesos involucrados
4. Incentivar y adaptar la herramienta de Simulación de Procesos Químicos a la enseñanza – aprendizaje en la carrera Ingeniería Química de la Universidad Metropolitana.
5. Utilizar la herramienta desarrollada para la docencia de la asignatura en los siguientes trimestres.
6. Estimular la escritura y posterior publicación, de los mejores trabajos presentados, en revistas nacionales arbitradas indexadas (por ej. Revista Anales (Universidad Metropolitana), Revista Tekhné (Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. (UCAB)).
7. Utilizar la aplicación de Matlab-Simulink a través de la licencia que la Unimet adquirió de la Suite de Mathworks. (Acceso a MATLAB, 2022)
8. Publicar en el servidor central de Mathworks bajo código gratuito y abierto las aplicaciones creadas en MATLAB y Simulink. (MathWorks File Exchange, 2022)

### 3. Alcances justificación

Las consecuciones que se pretenden obtener en este proyecto son:

Desarrollo de problemas específicos de un proceso determinado en los que se simulen procesos de balance de materia y energía.

Diseño de los diagramas de flujo de los procesos escogidos, de tal forma que puedan ser codificables a un código de programación adaptable.

Desarrollo de una aplicación que concentre la veracidad de cada proceso en el ambiente de interface gráfica humano-máquina de la plataforma de programación y cálculo Matlab-Simulink, utilizando la hoja de cálculo Microsoft Excel como base del procesamiento de datos.

Desarrollo de las aplicaciones de Matlab que permiten ver cómo trabajan distintos algoritmos con sus datos, que permitan realizar iteraciones hasta obtener los resultados esperados.

Los alcances a futuro se pueden proyectar a:

Desarrollo de guías de laboratorio de simulación para ser utilizadas en los contornos respectivos.

Construcción de una página en un espacio virtual con la teoría utilizada, información sobre la elaboración y uso del programa, descarga de guías de laboratorio y otras instancias.

Desarrollo de un programa primario que integre todas las aplicaciones creadas, SimuLabps v1.0

Rediseño de esta asignatura de laboratorio en semi teórica y cambiar el proceso de la evaluación de la asignatura.

Comparación de los resultados simulados obtenidos con los obtenidos en otros trimestres presenciales.

Por otra parte, es importante destacar que todos los equipos e instrumentos que forman parte de este laboratorio necesitan un mantenimiento correctivo a gran escala. El uso, el desgaste de todos los años, la falta de mantenimiento en los últimos meses debido a la Pandemia y la falta de personal técnico para la preparación o adecuación de estos equipos e instrumentos hace que sea inviable la realización presencial o semipresencial de estas prácticas para el trimestre 2021-1 (sep-dic/2020), trimestre 2021-2 (ene-abr/2021), trimestre 2021-3 (abr-jul/2021) y trimestre 2122-1 (sep-dic/2021).

En función de lo antes expuesto y debido a las exigencias por parte del Departamento de Energía y Automatización de la apertura de esta asignatura de laboratorio para el trimestre 2021-1 (sep-dic/2020), se estableció el compromiso-reto por parte de estudiantes / profesor de llevar a cabo este proyecto académico del desarrollo de prácticas de laboratorio virtuales involucrando a estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Metropolitana.

### 4. Metodología didáctica

Para dar cumplimiento del objetivo de seleccionar, estudiar y completar los datos obtenidos, se utilizó el método analítico. La información se consideró cualitativa y cuantitativamente, resultando en un enfoque mixto de análisis, al lograr determinar una propuesta pertinente al momento de impartir cursos de ingeniería de forma remota, y que podrían ser útiles cuando se retome la normalidad, de acuerdo con las impresiones de docentes y estudiantes. Por tanto, este estudio considera el factor correlacional a fin de dar respuesta a la pregunta de investigación. (Gutiérrez, et al., 2015).

El tipo de estudio se enmarca en el prototipo descriptivo correlacional, transversal, donde los datos se recogen en un único momento en el tiempo; y de tipo correlacional, ya que se reconoce la relación que existe entre dos variables, en este caso la relación entre el rendimiento académico y la aplicación del Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) con el proyecto. (Páez, et al., 2020).

Cada sesión de práctica de laboratorio se realiza en tiempo real, donde los estudiantes se conectan por medio de la plataforma de video y comunicación, Zoom®; el examen de prelaboratorio correspondiente se realiza mediante las plataformas de evaluación a distancia Exam.net®, Flexiquiz® o Testmoz®. Las prácticas se realizan de forma rotativa, en otras palabras, cada semana un grupo realiza una práctica, hasta completar el número total de prácticas planificadas. En la primera semana se dictan las instrucciones generales y se asignan grupos.

Luego del examen de prelaboratorio, cada grupo discute la práctica correspondiente, donde se aclaran dudas y se explica el funcionamiento de cada equipo. Cada grupo entrega semanalmente un informe de sus actividades y progresos en la elaboración del proyecto final. A partir de la semana 7 del trimestre se comienzan a presentar los bocetos iniciales del proyecto asignado a cada grupo

En el Campus Virtual (Moodle®) de la Unimet, está el repositorio de toda la información requerida, así como las instrucciones necesarias para entender el proceso de cada práctica de esta asignatura, semanalmente.

Se utilizó la plataforma de comunicación y colaboración Slack®, para mantener interconectados a todos los alumnos y profesor en tiempo real.

En la Tabla 1 se presenta, en forma resumida, los pasos a seguir durante cada sesión semanal de laboratorio.

Tabla 1. Pasos a seguir durante cada sesión

Inicio de sesión por plataforma de video y comunicación
Examen de prelaboratorio de la práctica correspondiente mediante plataforma de evaluación a distancia
Discusión sobre la práctica semanal asignada, preguntas y respuestas
Entrega semanal de informe de actividades utilizando en campus Virtual de la Unimet

Fuente: Elaboración propia

Para el primer trimestre, se rediseñó esta asignatura de laboratorio en semi teórica, se formaron 7 grupos de trabajo con 2 ó 3 alumnos por grupo, se auto asignaron una práctica a simular por grupo y se cambió la evaluación de la asignatura de la siguiente manera: Teoría (Prelaboratorio) 35%, Simulación 65% (Producto 45 %, Informe 15 % y Presentación (exposición) 5 %). Adicionalmente se hace un seguimiento semanal del avance de los proyectos de simulación. En la Tabla 2 se compara la forma de evaluar antes y durante la pandemia.

Tabla 2. Comparación evaluación de la asignatura

Antes de la Pandemia	
Examen práctico corto (1)	20%
Trabajo experimental (1)	20%
Informe técnico (1)	35%
Examen final teórico (2)	25%
	100%
En pandemia	
Evaluación teórico practico (1)	35%
Informe sobre la simulación (3)	15%
Simulación (3)	45%
Exposición (3)	5%
	100%
(1) de cada practica	
(2) de todas las prácticas	
(3) Practica asignada	

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes trimestres se continuó con la misma evaluación, variando el número de grupos y alumnos, en función del número de estudiantes inscritos y el número de secciones.

En el trimestre 2122-2 (ene-mar/2022) se continúa aplicando el proyecto de forma híbrida, tomando en cuenta lo virtual a distancia junto con las experiencias reales (presenciales), de laboratorio. En el trimestre 2122-3 (abr-jul/2022) se cambiaron los porcentajes de evaluación y se regresó al formato 100% presencial.

Los productos desarrollados (simulaciones) fueron evaluadas por el profesor de la signatura y por dos jurados externos a la misma, constituidos por profesores invitados expertos en el área correspondientes a las carreras de Ingeniería Química e Ingeniería Eléctrica de la Universidad Metropolitana. Dichos profesores tienen voz y voto y aportan un 50% de la evaluación final perteneciente a la Simulación y Exposición. En la Tabla 3 se indica los rubros tomados en cuenta en la evaluación final.

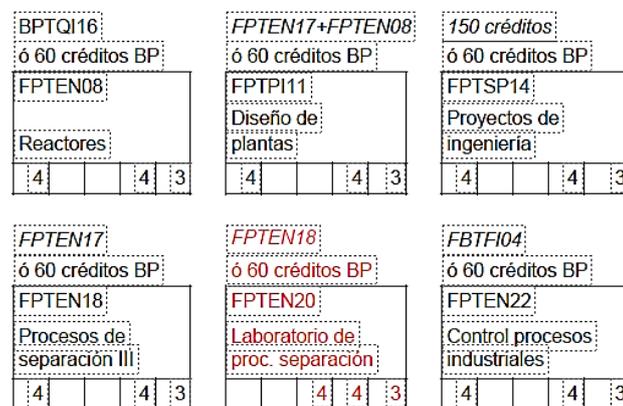
Tabla 3. Rubros para evaluación final

	%
Presentación visual	10
Presentación oral	10
Respuestas interrogatorio	20
Interfaz Humano-Máquina	20
Scripts	20
Uso de funciones	20
	100

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1, se ilustra la ubicación de la asignatura evaluada dentro del pensum de estudios de la carrera de ingeniería química, en la Universidad Metropolitana.

Figura 1. Flujograma parcial carrera ingeniería química, 2020. Unimet.



Fuente: Universidad Metropolitana. Flujograma carrera de ingeniería química.

Las carreras dentro de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Metropolitana están organizadas en 12 trimestres (12 semanas por trimestre). En la Tabla 4 se indica las asignaturas correspondientes al onceavo trimestre, donde se dicta la asignatura tratada en este trabajo.

Tabla 4. Plan de estudios ingeniería química, 2020. Unimet, trimestre 11.

XI TRIMESTRE
Simulación de procesos
Diseño de plantas
<b>Laboratorio de procesos de separación</b>
Electiva
Electiva

Fuente: Universidad Metropolitana. Plan de Estudios, Ingeniería Química

La Facultad de Ingeniería cuenta con el 46% de los estudiantes de la Universidad Metropolitana, mientras que la carrera de ingeniería química representa 18,4% dentro la facultad, lo que corresponde a que el 8,5% de los inscritos en la Unimet corresponden a ingeniería química, alrededor de 330 alumnos.

## 5. Simulaciones desarrolladas

Se desarrollaron simulaciones de procesos específicos en el área del Laboratorio de Procesos de Separación en las prácticas de esta asignatura de la carrera Ingeniería Química de la Universidad Metropolitana, con la selección de las técnicas más adecuadas para la resolución de las ecuaciones y algoritmos de simulación, quedando restringido al proceso para el cual ha sido diseñado.

A continuación, se detallan las simulaciones desarrolladas por práctica:

- Filtración
- Fluidización
- Extracción líquido-líquido
- Destilación por carga
- Absorción de gases
- Secado
- Humidificación

La filtración es un proceso de separación de sólidos en suspensión, al forzar su paso a través de un medio mecánico poroso en el cual se retienen los sólidos según su tamaño de porosidad y permite el paso del fluido, los sólidos retenidos en el filtro forman una torta alrededor del mismo. El material a través del cual circula la mezcla, conocido como medio filtrante o filtro, genera una caída de presión al permitir el paso de la solución a través de sus poros. Esta caída de presión será la primera variable de operación de este proceso. Esta caída de presión nos permitirá hacer los cálculos subsecuentes de la resistencia que ofrecerá el medio filtrante al paso del fluido a la cual llamamos resistencia específica del medio filtrante.

La fluidización es aquel proceso mediante el cual un lecho de partículas sólidas en estado estático es llevado a un estado dinámico similar al de un fluido (líquido y/o gas), mediante la fuerza de arrastre (constituida por fuerzas de rozamiento y flotabilidad) ejercida por un fluido que fluye en sentido contrario a la fuerza de gravedad. La aplicabilidad de este fenómeno en el sector industrial es variada, ya sea, por ejemplo, en procesos de reacción o separación. Por ende, es necesario comprender las relaciones entre las variables que caracterizan a este fenómeno. (Realpe, 2016). La fluidización se puede dividir según el estado físico de la fase dispersa (o sólida) y la corriente de fluidizado de la siguiente manera: Líquido - Sólido, Líquido - Gas - Sólido o Gas - Sólido. (De Prada, 2014).

Cuando la separación por destilación es ineficaz o muy difícil, la extracción de líquidos es una de las alternativas a considerar. Mezclas con temperaturas de ebullición próximas o sustancias que no pueden soportar la temperatura de destilación, aun en condiciones de vacío, con frecuencia se separan de las impurezas por extracción, que utiliza diferencias de estructura química en vez de diferencias de volatilidad. (McCabe et al., 2007)

La destilación es uno de los procesos de separación y purificación de componentes más comunes y de mayor relevancia en la industria química. Consiste en separar mezclas líquidas de sustancias, valiéndose de la diferencia entre las volatilidades relativas (punto de ebullición) propias de cada componente presente en la mezcla de alimentación. El proceso se lleva a cabo suministrando energía por lo cual una fracción de mezcla es vaporizada, logrando obtener una distribución desigual de la composición de las sustancias en las fases (líquida y vapor). (Gu, et al., 2005).

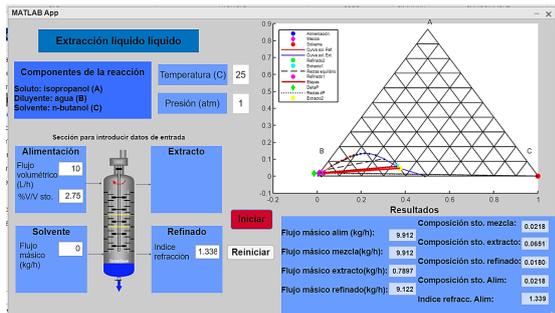
Hay varias operaciones unitarias que son muy útiles en el procesamiento de productos químicos o en el control de la contaminación. La absorción es la operación unitaria donde uno o más componentes de una corriente de gas se eliminan al ser recogidos (absorbidos) en un líquido no volátil (solvente). En este caso, el disolvente líquido debe añadirse como agente de separación. La absorción puede ser física o química. En la absorción física, el gas se elimina porque tiene mayor solubilidad en el solvente que otros gases. (Wankat, 2012). La absorción es uno de los métodos utilizados para eliminar el dióxido de carbono del gas natural y los gases de combustión para que el dióxido de carbono no se agregue a la atmósfera donde ayuda a causar el calentamiento global. (Socolow, 2005).

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. Para separar el agua u otro líquido de un sólido se emplean procesos mecánicos (centrífugas o prensas) y térmicos (vaporización), siendo esta última el método empleado en el laboratorio, la cual conlleva un mayor gasto energético y por ende tiene asociado un costo más elevado que los procesos mecánicos; es por esto, que, con frecuencia, el secado térmico es una de las últimas etapas, con el objetivo de reducir el contenido de líquido antes de la alimentación al secador. (McCabe et al., 2007).

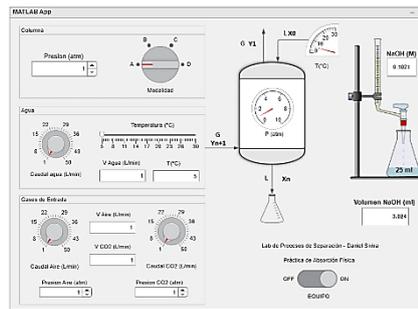
Las operaciones de humidificación y deshumidificación implican transferencia de materia entre una fase líquida pura y un gas permanente que es casi insoluble en el líquido. Estas operaciones son algo más sencillas que las de absorción y desorción, ya que el líquido contiene solamente un componente y no hay gradientes de concentración ni resistencia a la transferencia de materia en la fase líquida. (McCabe et al., 2007).

En la siguiente Figura 2 se muestra una selección de las 25 aplicaciones desarrolladas por los alumnos de pregrado que cursaron la asignatura de procesos de separación durante los cuatro trimestres de pandemia.

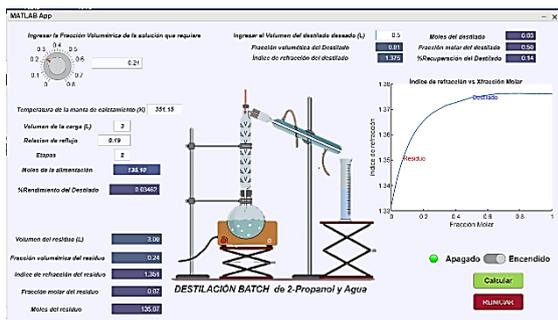
Figura 2. Selección de las 25 aplicaciones desarrolladas.



Extracción Líquido-líquido (1)



Absorción física



Destilación por carga (3)



Secado (4)

Fuente: Elaboración propia

Nota: Autores: (1) Arriaga Gustavo, Hamel Luis y Velásquez Valentina, abr-jul/2021. (2) Sivira Daniel, sep-dic/2020. (3) Julio Anakarina y Wehrmann Erika, abr-jul/2021. (4) Borrero Patricia, Garcías Zhullmar, Gomez Diego y Paiva Ana, abr-jul/2021.

## 6. Resultados obtenidos

En este proyecto académico han sido desarrollados módulos de simulación de procesos de separación en laboratorios de Ingeniería Química, para ser utilizados como herramientas en las áreas de estudio, aplicando la sistemática de estudio llamada Aprendizaje basado en Proyectos la cual busca el perfeccionamiento de habilidades y destrezas en el estudiante, donde se incluye adicionalmente la resolución de problemas, siendo también una estimulación para la aplicación en otros espacios de sus estudios, proyectos de investigación, entre otros.

Estas representaciones de simulación, desarrollados por los propios estudiantes de pregrado, permiten interactuar con el proceso previamente desarrollado, y mediante el modelado de este, y aplicando la teoría es posible comprender el fenómeno y su comportamiento ante variaciones en los escenarios de ingreso al sistema.

Los puntos mencionados en el "Alcance", desarrollo de guías de laboratorio, construcción de una página Web y Desarrollo de un programa principal, se llevarán a cabo a futuro.

Para el primer trimestre se invitó a los grupos de los tres mejores trabajos presentados, (Absorción, Extracción L-L y Fluidización), para que, con la ayuda del profesor de la asignatura, escribieran un artículo sobre el trabajo para ser presentado y posteriormente publicado en alguna revista indizada nacional o internacional.

Para los siguientes trimestres se hizo la misma invitación a los mejores dos trabajos.

Hasta los momentos de la presentación de este artículo han sido presentados y publicados dos trabajos en la revista nacional arbitrada de la UCAB, Universidad Católica Andrés Bello, en Caracas, Venezuela, Revista Tekhné, "Simulación de una práctica de fluidización para el laboratorio de procesos de separación de la Universidad Metropolitana". (Da Silva, et al., 2022) y "Simulación de un proceso de filtración para el laboratorio de procesos de separación de la Universidad Metropolitana". (Rauch, et al., 2022). Adicionalmente, al escribir este artículo, se han presentado otros dos trabajos al servidor central de Mathworks. (Rodríguez, A. et al., 2022) y (Rodríguez, P. et al., 2022).

En la Tabla 5 se compara las calificaciones de los alumnos antes y después de la pandemia.

Tabla 5. Comparación calificaciones alumnos

	En pandemia	Pre pandemia
Número de alumnos	63	99
Promedio calificaciones sobre 20 pts.	15,5	15,7
Desviación estándar	1,7	1,4
Error relativo, %ER	22,5	21,6

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados indicados en la anterior Tabla 5, se puede señalar que el promedio de calificaciones sólo difiere en un 1%, mientras que la desviación estándar, que es una medida de la dispersión de los valores obtenidos, es más alta en la pandemia que antes de ella.

El error relativo mostrado en la Tabla 5, es calculado a partir de la ecuación 1:

$$\%ER = (20 - \text{Promedio}) * 100 / 20 \quad (1)$$

La diferencia de los errores relativos es de 0,86%, el cual se acerca al valor de 1% calculado a partir del promedio de calificaciones.

Aunque la Licencia de Matlab fue adquirida por parte de la Universidad en pleno primer trimestre del año 2021, los alumnos pudieron hacer uso de la aplicación tanto en la versión Online como en el software descargado. (Acceso a MATLAB, 2022)

La herramienta virtual desarrollada permite su aplicación en la docencia de la asignatura teórica correspondiente, en los siguientes trimestres.

Las aplicaciones desarrolladas permiten pronosticar el comportamiento de procesos asociados a las áreas de Procesos de Separación.

La utilización de la plataforma Slack permitió aumentar la productividad por grupos.

Según el conocimiento del autor y sus colaboradores este es uno de los primeros intentos de este tipo en el país.

## 7. Conclusiones

El proyecto permitió estimular y adecuar la herramienta de simulación de procesos Químicos a la enseñanza – aprendizaje en los estudios de Ingeniería Química de la Universidad Metropolitana.

El proyecto estimuló la escritura y posterior publicación en revistas arbitradas indizadas de los mejores trabajos presentados.

Las interfases humano máquinas desarrolladas permiten representar los resultados de la simulación y las interacciones entre las variables y cuantificaciones de diseño y manipulación que intervienen en los procesos fisicoquímicos.

La respuesta de los estudiantes indicó que la experiencia adquirida por la participación en la creación de un laboratorio virtual les genera confianza en su uso, mejor comprensión de las ventajas y desventajas asociadas, y finalmente, a futuro daría una ventaja competitiva en la industria.

La diferencia entre los valores obtenidos a partir del promedio de calificaciones y a partir del error relativo son aproximadamente iguales, lo que indica que los datos obtenidos de las calificaciones, que nos permiten comparar, son tanto exactos como precisos.

Como en muchos casos la desviación estándar se puede utilizar para establecer un valor de referencia para estimar la variación general de un proceso, los valores más altos en la desviación estándar obtenidos en Pandemia, lo que significa una mayor dispersión de los datos, puede sugerir que los grupos formados en estas condiciones fueron más independientes y por lo tanto hubo menos interacción entre ellos, probablemente debido a los problemas de comunicación vía internet.

El objetivo de este proyecto no era conocer la viabilidad y seguridad de los laboratorios virtuales en ingeniería.

## **8. Contribución de autoría**

Los profesores ingenieros Sergio Rosales y José Barriola del Departamento de Energía y Automatización de la Facultad de Ingeniería de La Universidad Metropolitana en Caracas, Venezuela, contribuyeron en la evaluación a distancia de los proyectos presentados en todos los trimestres que se tomaron en cuenta.

## **9. Fuente de financiamiento**

Autofinanciado.

## **10. Potenciales conflictos de intereses**

Ninguno.

## Referencias

- Acceso a MATLAB y soporte para todos los usuarios de la Universidad Metropolitana. (2 de junio de 2022). <https://la.mathworks.com/academia/tah-portal/universidad-metropolitana-31532390.html>
- Ali, W. (2020). Online and Remote Learning in Higher Education Institutes: A Necessity in light of COVID-19 Pandemic. *Higher Education Studies*, 10(3), 16. <https://doi.org/10.5539/hes.v10n3p16>
- CEPAL – UNESCO (2020). La educación en tiempos de la pandemia de covid-19. La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Informe. *Revista Latinoamericana de Educación Comparada*. 11(18), 1-20.
- Colmenares, J., Héndez, N. y Celis, J. (2018). Percepciones de los estudiantes sobre el uso de los laboratorios virtuales en mecánica de suelos. *Educación en Ingeniería*, 13(25), 88-101. <http://dx.doi.org/10.26507/rei.v13n25.880>
- Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J. y Harker, J. (2003). Ingeniería Química: operaciones básicas. (Capítulo 9, Tomo II, 3ª edición). Editorial Reverté.
- Da Silva, A., Segura, D., Toledo, M. y Pérez, M. (2022). Simulación de una práctica de fluidización para el laboratorio de procesos de separación de la Universidad Metropolitana. *Revista TEKHNE*, 25(2), 113-133. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/download/5137/4977>
- De Prada, Á. (2014). *Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado*. Universidad Carlos III. <http://hdl.handle.net/10016/22729>
- Díaz, B., Noriega, M. y Ruiz, M. (2021). Experiencias y desafíos en la formación de ingenieros durante la pandemia de la covid-19. *Desde el Sur*, 13(2), 1-17. <http://dx.doi.org/10.21142/des-1302-2021-0019>
- Gazzo, M. (2020). La educación en tiempos del COVID-19: Nuevas prácticas docentes, ¿nuevos estudiantes? *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, 7(2), 58-63. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/750>
- Gu, D., Petkov, P. y Konstantinov, M. (2005). *Robust Control Design with MATLAB®* (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing). Springer.
- Gutiérrez, R., De Moya, M., Hernández, J. y Hernández, J. (2015). Tecnologías emergentes para la enseñanza de las Ciencias Sociales. Una experiencia con el uso de Realidad Aumentada en la formación inicial de maestros. *Digital education review*, 27, 138-153. <https://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/11622>
- MathWorks File Exchange. (2 de junio 2022). <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/>
- McCabe, W., Smith, J. y Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (Séptima edición). Mc Graw Hill.
- Modelo Académico. Universidad Metropolitana, Consultado en diciembre de 2021. Disponible en: <http://www.unimet.edu.ve/la-universidad/modelo-academico/>
- Páez, Y., Ochoa, N., Pérez, A., Acuña, D. y Dávila, H. (2020). Ambientes de aprendizaje virtual para los talleres de evaluación del curso en Educación Física en tiempos de pandemia en un colegio de Montería año 2020. *Revista Humanismo Sociedad*, 8(2), 43-53. <https://doi.org/10.22209/rhs.v8n2a03>
- Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B. y Diwakar, S. (2021). What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre- and post-COVID-19: Focus on usage, behavior, intention and adoption. *Education and Information Technologies*, 26(6), 7477-7495. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10583-3>
- Rauch, W., Rodríguez, R. y Pérez, M. (2022). Simulación de un proceso de filtración para el laboratorio de procesos de separación de la Universidad Metropolitana. *Revista TEKHNE*, 25(1), 46-61. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5442/4790>
- Realpe, E. (2016). *Estudio de las variables operacionales del proceso de granulación por lecho fluidizado de un producto farmacéutico*. [Tesis de pregrado]. Universidad Central de Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7175>
- Rodríguez, A., Alvarez, J. y Berruz, J. (2022). Liquid-Liquid Extraction: Isopropyl Alcohol-Water-N butanol, v. 1.2.0. *File Exchange MathWorks*. [https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/112790-liquid-liquid-extraction-isopropyl-alcohol-water-n-butanol?s\\_tid=srchtitle](https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/112790-liquid-liquid-extraction-isopropyl-alcohol-water-n-butanol?s_tid=srchtitle)
- Rodríguez, P., Montoya, K. y Sojo, P. (2022). Humidificación del aire en Torre de Enfriamiento, v. 1.0.2. *File Exchange MathWorks*. [https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/109339-humidificacion-del-aire-en-torre-de-enfriamiento?s\\_tid=srchtitle](https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/109339-humidificacion-del-aire-en-torre-de-enfriamiento?s_tid=srchtitle)
- Socolow, R. (2005). Can We Bury Global Warming?. *Scientific American*, 293(1), 49-55. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0705-49>
- Universidad Metropolitana. (17 de junio de 2022). *Plan de Estudio, Ingeniería Química*. <https://www.unimet.edu.ve/pregrado/facultad-de-ingenieria/ingenieria-quimica/#estudios>

- Universidad Metropolitana. (24 de junio de 2022). *Flujograma carrera de ingeniería química*. <https://www.unimet.edu.ve/unimetsite/wp-content/uploads/2020/07/Flujograma-Ing-Qu%C3%ADmica-abril-2020.pdf>
- Usman, S. y Huda, K. (2021), Virtual lab as distance learning media to enhance student's science process skill during the COVID-19 pandemic. *Journal of Physics: Conference Series*. 1882. 012126. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012126>
- Wankat, P. (2012). *Separation Process Engineering, Includes Mass Transfer Analysis*. (Third Edition, Chapter 12). Pearson Education, Inc.