



Laboratorio Creador 3D: una propuesta para enseñar, aprender y disfrutar de ciencias químicas con impresión en tres dimensiones

3D Creator Laboratory: A proposal to teach, learn and enjoy chemical sciences with three-dimensional printing

Alberto Garcia Elizondo¹, Angel Tlacaelel Ortiz Bautista¹, Maura Pompa Mansilla², Miquel Gimeno¹ y Roeb Garcia-Arrazola¹

Resumen

El presente artículo documenta la instalación, arranque y prueba piloto de un laboratorio de impresión 3D para desarrollar competencias en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (en inglés siglas STEM) y fortalecer la autoeficacia en estudiantes de carreras en ciencias químicas. La autoeficacia describe la creencia de una persona en su capacidad para tener éxito en una situación concreta, incluyendo el aprendizaje. Un laboratorio creador 3D es un espacio de fabricación digital de prototipos impresos en tres dimensiones que pueden materializar conceptos químicos intangibles. Consecuentemente, es un espacio que coadyuva al estudiante a construir un aprendizaje significativo y sensorialmente enriquecido al diseñar, crear, ver y manipular impresiones dentro de un ambiente de enseñanza dirigido por un profesor. El impacto de la experiencia por el laboratorio creador 3D se midió cualitativamente a través de un cuestionario validado internacionalmente sobre la confianza en habilidades STEM. La prueba se realizó antes y después de una experiencia vivencial de impresión 3D en estudiantes de tercer semestre de un laboratorio académico y en estudiantes de séptimo semestre de una asignatura teórica. Los resultados indican una mejora en la autoeficacia de competencias STEM del $60\pm 5\%$ y del $10\pm 6\%$ para el laboratorio académico y la asignatura teórica, respectivamente. En conclusión, los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química en un laboratorio de creación 3D observaron una experiencia significativa que permitió disfrutar y fortalecer la confianza en la autogestión del conocimiento para los estudiantes.

Palabras clave

Laboratorio de impresión 3D, autoeficacia, procesos de enseñanza y aprendizaje, ciencias químicas.

Abstract

This article documents the installation, start-up and pilot testing of a 3D printing laboratory to develop competencies in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) and strengthen “self-efficacy” in students of careers in chemical sciences. “Self-efficacy” describes a person’s belief in their ability to succeed in a particular situation, including learning. A makers laboratory 3D is a digital fabrication space for three-dimensions printed prototypes that can materialize intangible chemical concepts. Consequently, it is a space that helps students to build meaningful experiences through sensory-enriched lessons by designing, creating, viewing and manipulating prints within a teacher-directed learning environment. The impact of the Makers 3D Lab’s experience was measured qualitatively through an internationally validated questionnaire on confidence in STEM skills. The test was performed before and after an experiential 3D printing experience in third-semester students of an academic laboratory and in seventh semester students of a theoretical course. Results showed an improvement in the self-efficacy of STEM competencies of $60\pm 5\%$ and $10\pm 6\%$ for the academic laboratory and the theoretical subject, respectively. In conclusion, the processes of teaching and learning chemistry in a Makers 3D Lab observed a meaningful experience that allowed to enjoy and strengthen the confidence in self-management of knowledge for the students.

Keywords

Makers space, 3D print, self-efficacy, processes of teaching and learning, chemical sciences.

¹ Departamento de Alimentos y Biotecnología. Facultad de Química-UNAM. * Autor correspondiente es roeb@unam.mx

² Departamento de Investigación Traslacional en Educación en la Subdirección de Investigación en Educación, CUAIEED-UNAM,

Introducción

En la actualidad, el modelo tradicional de enseñanza y aprendizaje que está más ampliamente difundido para las ciencias químicas en todos los niveles educativos no motiva a los estudiantes (y se basa principalmente en la transferencia de la información de un profesor experto al estudiante de manera expositiva (Gutiérrez Mosquera & Barajas Perea, 2019). Sin embargo, este proceso no favorece el desarrollo de las habilidades recientemente propuesto para el Siglo XXI por la “Asociación de Educación Nacional” en USA a saber: pensamiento crítico, comunicación, colaboración y creatividad (las 4 C’s). La educación convencional basada en una economía agraria y de manufactura se basa en el desarrollo de habilidades aritméticas, de lectura y escritura. En contraste, las 4 C’s propuestas para la educación permiten al estudiantado integrarse a una ciudadanía y fuerza laboral global (Teo, 2019). Además, el aprendizaje basado en una exposición de información tampoco está alineado con las tres dimensiones para la educación científica declaradas por la organización “Next Generation Science Standards”, a saber: ideas clave, prácticas científicas y conceptos transdisciplinarios. En específico, el desarrollar conocimiento científico requiere de un aprendizaje significativo a través de experiencias prácticas que involucren la mezcla de varias disciplinas alrededor de conceptos clave de la asignatura (Krajcik, *et al.*, 2023).

Se han sugerido diferentes estrategias educativas que han reportado éxito en el desarrollo de HAC (habilidades, actitudes y conocimientos) de los estudiantes, tales como: aprendizaje basado en problemas o en proyectos (Ricuarte *et al.*, 2020), valoraciones curriculares (Stowe *et al.*, 2021), propuesta de nuevos cursos (Bretz, 2019) y el uso de dispositivos multimedia (Zan, 2019), principalmente.

Desde el 2006 se puede rastrear una propuesta de movimiento de “creadores” para la solución de problemas basado en creaciones manufacturadas en trabajo colaborativo en la “Primera Feria de Creadores” organizada por la revista Make en San Francisco (Martin, 2015). La idea central es que la o el estudiante construye conocimiento en compañía e interacción con la o el profesor o profesora, y le da un significado a través de la experiencia. Este concepto propuesto desde el constructivismo de Piaget en 1968 se ha incluido en validado recurrentemente hasta nuestros días en escenarios de realidades virtuales (Hwang, 2023)

Un ejemplo de este modelo creador nació en el Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetts), MIT por sus siglas en inglés, con el Dr. Neil Gershenfield con su propuesta de curso y espacio físico conocido como Fab Lab, “fabrication laboratory” (laboratorio de fabricación digital) en donde existe la infraestructura necesaria para construir prototipos funcionales de cualquier tipo a través de una impresora 3D, principalmente. Otro ejemplo muy importante, es el desarrollado en Korea denominado Pensar-Hacer-Compartir-Improvisar, TMSI por sus siglas en inglés. En este modelo la o el profesor es un facilitador que establece pasos dirigidos para la creación de cualquier objeto y conforme avanzan las actividades la dirección se realiza entre pares estudiantes hasta un enfoque autodirigido (Kang & Kim, 2017). En otras palabras, la o el estudiante evoluciona de requerir apoyo externo para la realización de un objetivo hasta la autoregulación para alcanzar la meta propia.

Fundamentación

La educación en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) se ha convertido en una prioridad internacional para aquellos países que migran de una economía basada en la manufactura a una economía basada en la innovación (OECD, 2010).

En el caso de las ciencias químicas, el paradigma de la enseñanza se ha centrado principalmente en la transferencia del conocimiento del maestro al estudiante a través de asignaturas, laboratorios y exámenes de conocimientos mínimos (Iwako, et al., 1996). Inclusive se ha cuestionado el valor pedagógico de los laboratorios al ser reconocidos indispensables sin mayor evidencia que el sentido común (Bretz, 2019).

Al respecto del párrafo anterior, si se retoma la propuesta socio pedagógica de Ausubel en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química, habría que hacer la traslación de *aprendizaje* significativo a *experiencia* significativa. En otras palabras, construimos significados cada vez que somos capaces de establecer relaciones “sustantivas” y no arbitrarias entre lo que aprendemos y lo que ya conocemos (Burbano Pérez, 2021). Es decir, es muy probable que la presencia de un estudiante en aula o en laboratorio sin el diseño de una experiencia significativa no será suficiente para el desarrollo de las competencias en un mercado laboral.

En la Tabla 1 pueden observarse competencias que el mundo laboral exige, tales como: resolución de problemas sin supervisión, pensamiento crítico, autogestión de aprendizaje, confianza en sí mismo, comunicación, habilidades de interacción, entre otras (Roos *et al.*, 2015). Adaptabilidad, comunicación compleja, habilidades sociales, solución de problemas no rutinarios, autogestión, auto desarrollo y pensamiento sistémico; incluyendo 400 horas de laboratorio (Seery, 2020). Inclusive, en el año 2023, se ha incorporado el concepto de emprendedurismo a esta exigencia de competencias atendiendo una realidad sobre la necesidad de crear empleos propios (Kaya-Capocci y Ucar, 2023).

TABLA 1: Habilidades esperadas por los egresados en Ciencias Químicas.

Nota: Elaboración propia con base en Roos *et al.*, 2015, Seery, 2020; Kaya-Capocci y Ucar, 2023.

Habilidades y Actitudes	Detalles
Habilidades de comunicación (oral y escrita).	Escritura de reportes técnicos, cartas y memos. Además, divulgación científica y presentaciones informales y formales. Comunicación compleja interdisciplinaria.
Pensamiento crítico y habilidades para resolver problemas.	Definir un problema, identificar posibles causas y potenciales soluciones, hacer recomendaciones. Pensamiento en redes para identificar relaciones entre diversos sistemas de información o disciplinas.
Profesionalismo (ética, integridad, respeto a la diversidad).	Comprometerse a los más altos estándares de ética e integridad; así como a interactuar con individuos de diversas culturas.
Adaptabilidad y aprendizaje de por vida.	Proceso continuo de autoaprendizaje.
Interacción (trabajo en equipo, tutorías y liderazgo y redes de colaboración).	Trabajo en equipo orientado a resultados, así como manejo de conflictos.
Habilidades sociales.	
Adquisición de información.	Gestión de la información técnica y no técnica para generar conocimiento.
Experiencia en laboratorio.	Se propone un total de 400 h.
Emprendedurismo	Identificación de oportunidades de negocio.
Organización (gestión del tiempo y los proyectos).	Manejo de tiempo y trabajo multifunción bajo presión.

Con el objeto de favorecer el desarrollo de las habilidades y actitudes mencionadas en la tabla 1, se han desarrollado diversas estrategias del proceso de enseñanza y aprendizaje en ciencias químicas. Las estrategias que han sido reportadas relacionadas con la innovación educativa en ciencias químicas incluyen: aprendizaje basado en problemas o proyectos (Duffrin, 2003; Ricaurte y Viloría, 2020), valoraciones curriculares (Iwaoka *et al.*, 1996; Stowe *et al.*, 2021), y propuesta de nuevos cursos (Roos *et al.*, 2015; Seery, 2020), gamificación (Gutiérrez Mosquera y Barajas Perea, 2019, entre otros).

Una “misión a Marte” para desarrollar un cohete y desarrollar competencias en matemáticas es una de varias actividades de aprendizaje centrada en laboratorios creadores 3D que se han documentado (Burton *et al.* 2018). Otro ejemplo ilustrativo ha sido la impresión de una proteína en un laboratorio de bioquímica para visualizar los dominios moleculares y estudiar su relación función-estructura (Meyer, 2015).

Un ejemplo muy interesante también es la impresión de tablas periódicas topográficas en 3D para mostrar tendencias periódicas. Los modelos se utilizaron para mostrar tendencias convencionales, como el radio atómico y la electronegatividad, así como tendencias no convencionales, como la abundancia en el cuerpo humano y la abundancia de isótopos estables (LeSuer, 2019). Existen varios ejemplos que asocian el rápido prototipaje en 3D para el desarrollo de modelos táctiles de conceptos intangibles de la química (Pinger *et al.*, 2020).

Una teoría pedagógica fundamental, desarrollada por Albert Bandura en la Universidad de Stanford, identifica que el aprendizaje es un proceso social y su principal base es la eficiencia personal (Bandura *et al.*, 2001). La eficiencia personal se define como la confianza en una persona para realizar un esfuerzo para alcanzar objetivos específicos. Esta misma capacidad ha sido relacionada con los niveles de deserción escolar, particularmente con las mujeres (Litzler *et al.*, 2014). Además, algunos autores sugieren que el aprendizaje basado en la creación, aunque predominantemente practicado por poblaciones caucásicas, también tiene un efecto democratizador sobre el interés de poblaciones africanas, hispanas y nativo-americanas en carreras relacionadas con la ciencia e ingeniería (Barton *et al.*, 2017; Barajas-López y Bang, 2018).

Las anteriores dinámicas de impresión 3D contribuyen a un aprendizaje significativo a partir de dos ejes elementales: la actividad constructiva y la interacción con los otros. El proceso mediante el cual se produce el aprendizaje significativo requiere una actividad intensa por parte de la o el estudiante. Esta actividad consiste en establecer relaciones entre el nuevo contenido y sus esquemas previos de conocimiento.

Los laboratorios creadores 3D son un espacio físico donde los estudiantes desarrollan una idea hacia un producto funcional a través de máquinas de prototipado rápido. Esta posibilidad de crear algo tangible a partir de su imaginación ha demostrado ser inspiradora para estudiantes y profesores (Martin *et al.*, 2015).

El diseño de las experiencias de aprendizaje en laboratorios de creación 3D normalmente es iterativo cíclico que comprende las siguientes fases: desarrollo del prototipo, prueba, análisis, y rediseño (Lei, 2014). Otro enfoque incluye el diseño secuencial para la solución de problemas con las siguientes etapas: preguntar, imaginar, crear, y mejorar (Tayal, 2013).

Con base en todo lo anterior, el presente trabajo documenta una propuesta de espacio para el modelado 3D en la Facultad de Química de la UNAM con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química a través de una experiencia significativa que permita disfrutar y fortalecer la confianza en la autogestión del conocimiento (autoeficacia) para los estudiantes y profesores.

Metodología

Para el desarrollo de las actividades, se adquirieron rollos de filamentos de plástico PLA (750g) compatibles con las impresoras 3D. Este material es la materia prima con la cual las impresoras realizan el proceso de extrusión para el laminado y creación de la figura 3D.

Las impresoras 3D adquiridas para la instalación del Laboratorio tipo Fab Lab fueron: Da Vinci 3D Printer (XYZPrinting) y una Creality 3D ender 3v-slot printer (Ender-3-US). La impresora Da Vinci es un modelo robusto que permite con gran detalle la impresión de diversos diseños 3D. Por otro lado, la impresora Ender es modificable dependiendo del objetivo de impresión y mucho más flexible en su operación, es decir, se puede manipular y arreglar fácilmente.

También se adquirieron tres plumas 3D (CreativaKids) como impresoras 3D manuales. Estos son dispositivos en forma de bolígrafos diseñados para imprimir pequeñas tiras de plástico caliente sobre diversos dibujos prediseñados. Los diseños pueden llegar a formar desde letras hasta figuras tridimensionales ensamblables (ej. lentes, figuras geométricas, entre otros).

Se adquirió una laptop con procesador NVIDIA (HP) para el uso de software de modelado 3D Software, laminador XYZprint y de edición XYZmaker. Ambos del proveedor de la impresora Da Vinci.

Las características de la población se presentan en la Tabla 2 y cómo puede observarse, un total de 56 estudiantes participaron en este primer ejercicio piloto de experiencia educativa 3D.

Grupo	Semestre	Estudiantes
Laboratorio de Equilibrio y Cinética	3	14
Procesos de Alimentos	7	42
Total		56

TABLA 2. Características de la población.

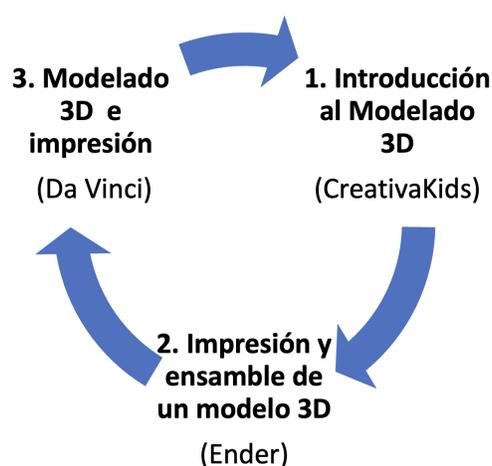


FIGURA 1. Diseño de la experiencia de laboratorio de impresión 3D para la enseñanza de la química.

El diseño de la experiencia de laboratorio de impresión 3D para la enseñanza de la química se basó en tres pasos secuenciales que podían repetirse con base en los intereses de los estudiantes o empezar de manera desfasada de acuerdo con el número de participantes (ver Figura 1).

Cada paso requiere diferentes niveles de experiencia en el modelado 3D. En el paso 1 no se requiere experiencia previa y por eso es un acercamiento lúdico. La intención final en este módulo es motivar y sensibilizar a las y los estudiantes sobre las tecnologías de impresión

3D. En el paso 2, es un acercamiento a la creación de formulaciones imprimibles en 3D cuya intención final es relacionar los conceptos químicos aprendidos para crear materiales imprimibles en 3D. Los materiales pueden ser desde formulaciones hasta alimentos líquidos que se gelifiquen a temperatura ambiente. Finalmente, en este paso 3 es una primera aproximación al diseño en 3D a partir del uso de un software.

Es importante señalar que estos tres pasos tan solo son un marco de referencia que puede ser flexible dependiendo de los intereses de cada grupo, nivel y la intención educativa. Es decir, es tan solo una sugerencia de pasos generales que puede modificarse con base al diseño de intervención para la enseñanza y aprendizaje.

El diseño de la intervención o plan de clase se ejemplifica en la Tabla 3 y cómo puede observarse se describen las actividades del estudiante y del profesor con respecto a los objetivos planteados en el inicio, desarrollo y cierre de la actividad.

Objetivo	Actividades del Profesor	Actividades del estudiante
INICIO		
Valorar el nivel de autoeficacia.	Aplicación y evaluación de la encuesta STEM.	Resolución de la encuesta STEM de forma individual.
Introducir las capacidades de la impresión 3D y su relación con la química.	Presentación del Laboratorio 3D y los tres pasos a seguir.	Atención participativa. Respuestas varias.
Relacionar conceptos químicos con la impresión 3D.	Exposición de ejemplos y casos reales.	
DESARROLLO		
Paso 1. Introducción al modelado 3D	Explicación sobre el uso de las plumas para impresión 3D	Uso de las plumas CreativaKids para elaborar sus nombres o alguna figura geométrica ensamblable.
Paso 2. Impresión y ensamble de un modelo 3D	Explicación del profesor sobre el concepto de balances de materia mediante el uso de un evaporador de configuración genérica	Resolución de ejercicios de manera individual y grupal
Paso 3. Modelado 3D e impresión	Explicación del profesor sobre el uso de software para el diseño y prototipado de figuras 3D	Resolución de ejercicios de manera individual y grupal
CIERRE		
Evaluar el nivel de autoeficacia* química lograda	Aplicación y evaluación de la encuesta STEM.	Resolución individual de la encuesta STEM.

TABLA 3. Plan de clase.

*NOTA: Autoeficacia química se refiere al nivel de confianza de cada estudiante en resolver problemas relacionados con la química basándose en sus conocimientos.

A continuación, se describe la intención de la experiencia significativa para el aprendizaje dentro de cada etapa.

1. Introducción al Modelado 3D

En este primer paso de la experiencia educativa, los estudiantes pudieron imprimir manualmente, y de manera individual, los diseños preestablecidos en 3D al utilizar las plumas CreativeKids.

	SI	NO	
1 Las matemáticas son importante en mi vida	si	no	Matemáticas
2 Las matemáticas han sido mi peor materia			
3 Yo consideraría elegir una carrera (o un posgrado) que use matemáticas			
4 Las matemáticas son duras para mí			
5 Yo necesitaré un buen entendimiento de las matemáticas para mi futuro trabajo			
6 Yo soy el tipo de estudiante que la hace bien en las matemáticas			
7 Yo puedo manejar cualquier tema bien, pero no puedo hacer un buen trabajo con las matemáticas			
8 Yo estoy seguro que puedo hacer un trabajo avanzado en matemáticas			
9 Yo puedo obtener buenas calificaciones en matemáticas			
10 Yo soy bueno en matemáticas			
11 Yo estoy seguro de mí mismo cuando hago ciencia			Ciencia
12 Yo consideraría una carrera (o un posgrado) en ciencia			
13 Yo espero usar ciencia cuando salga de la escuela			
14 Conocer de ciencia me ayudará a ganarme la vida			
15 Yo necesitaré de ciencia para mi trabajo futuro			
16 Me siento bien conmigo mismo cuando hago ciencia			
17 La ciencia será muy importante para mí en la vida laboral			
18 Yo puedo manejar bien la mayoría de los temas, pero no puedo hacer un buen trabajo con la ciencia			
19 Yo estoy seguro que puedo hacer trabajo avanzado en ciencia			Ingeniería
20 Me gusta imaginarme creando nuevos productos			
21 Si estudio ingeniería (o un posgrado), puedo mejorar las cosas que las personas usan todos los días			
22 Yo soy bueno en construir y arreglar cosas			
23 Entender conceptos de ingeniería (o un posgrado) me ayudará a ganarme la vida			
24 Estoy interesado en lo que hace que funcionen las máquinas			
25 Diseñar productos o estructuras será importante para mi trabajo futuro			
26 Soy curioso por como funciona la electrónica			
27 Yo elegiría una carrera (o un posgrado) que involucre construir cosas			
28 Yo quisiera usar la creatividad e innovación en mi trabajo futuro			
29 El saber como usar como usar las matemáticas y la ciencia en conjunto me permitirá inventar cosas útiles			siglo 21
30 Yo considero que puedo ser exitoso en una carrera de ingeniería (o posgrado)			
31 Yo estoy confiado que puedo liderar a otros a cumplir una meta			
32 Yo estoy confiado que puedo motivar a otros a dar lo mejor			
33 Yo estoy confiado que puedo tomar decisiones morales			
34 Yo estoy confiado que puedo producir trabajo de alta calidad			
35 Yo estoy confiado que puedo actuar responsablemente			
36 Yo estoy confiado que puedo respetar las diferencias con mis compañeros			
37 Yo estoy confiado que puedo ayudar a mis compañeros			
38 Yo estoy seguro que puedo incluir las perspectivas de los demás cuando tomo decisiones			
39 Yo estoy confiado que puedo hacer cambios cuando las cosas no suceden como fue planeado			
40 Yo estoy confiado que puedo definir mis propias metas de aprendizaje			
41 Yo estoy seguro que puedo manejar mi tiempo con sabiduría cuando trabajo por mi cuenta			
42 Cuando tengo muchos pendientes, sé como elegir los que tienen que hacerse primero			
43 Yo estoy confiado que puedo trabajar con compañeros de diferentes carreras			
44 Yo puedo y lo hago, el comunicar mis ideas de manera clara en forma oral			
45 Yo puedo y lo hago, el comunicar mis ideas de manera clara en forma escrita			
46 Yo puedo encontrar información y convertirla en conocimiento			

2. Impresión y ensamble de un modelo 3D

En este segundo paso, los estudiantes por equipo de 3 a 4 personas, pudieron observar la impresión 3D de un evaporador a escala laboratorio en tiempo real con la impresora Ender. El diseño se había establecido previamente y los estudiantes pudieron palpar el resultado final de la impresión. Es importante señalar que el modelo del evaporador es lo menos relevante porque el concepto que se enseña son los balances de materia, es decir, entrada y salida de material a través de tuberías que cambian en concentración o cantidad de masa del material. En resumen, se intenta materializar el concepto de resolución de un sistema de ecuaciones a partir de la entrada y salida de materiales por cualquier equipo. En el aula, su implementación consistiría en visualizar y sentir el proceso que se dibujó en el pizarrón.

3. Modelado 3D e impresión

En este tercer paso, los estudiantes organizados por equipos pudieron diseñar mediante el uso de una computadora un modelo 3D de manera asistida para el manejo del software. Una vez terminado el diseño por computadora, pudieron observar a través de la ventanilla de la impresora Da Vinci el resultado de sus diseños. Cabe señalar que los diseños se procuraron sencillos para poder observar su progreso de impresión.

El total de tiempo para las tres experiencias significativas de aprendizaje se diseñó en una hora y 30 minutos.

Valoración de la experiencia de aprendizaje

Para valorar la experiencia de aprendizaje se utilizó una encuesta de salida conocida como S-STEM, adaptada de Unfried *et al.*, 2015. La encuesta fue traducida con los servicios de un perito traductor y fue aplicada antes y después de la experiencia del laboratorio de impresión 3D. En la figura 2 se aprecia la división en diferentes áreas a analizar, la prueba impartida a los alumnos no contaba con una diferenciación de color ni de secciones. La clasificación por colores agrupó las preguntas en cuatro siguientes secciones: Matemáticas, Ciencia, Ingeniería, herramientas del siglo XXI.

FIGURA 2. Encuesta S-STEM adaptada de Unfried et al. (2015).

La encuesta está diseñada para responder SI o NO con base a la confianza que cada participante declare en su capacidad para tener éxito en una situación concreta, específicamente con habilidades relacionadas con aquellas STEM. La prueba se realizó antes y después de una experiencia vivencial de impresión 3D en estudiantes de tercer semestre de un laboratorio académico (Laboratorio de Equilibrio y Cinética) y en estudiantes de séptimo semestre de una asignatura teórica (Procesos de Alimentos).

El número total de estudiantes participantes en la experiencia fue de 56, dentro de los cuales se clasificó como sobresaliente a aquellas encuestas en las que contestaron >90% con un SI en la autoeficacia para utilizar con éxito alguna habilidad STEM en la resolución de cualquier problema.

Resultados y discusión

A continuación, se presenta la evidencia gráfica de los equipos y materiales que fueron adquiridos para la instalación, arranque y operación de un laboratorio tipo Fab Lab.

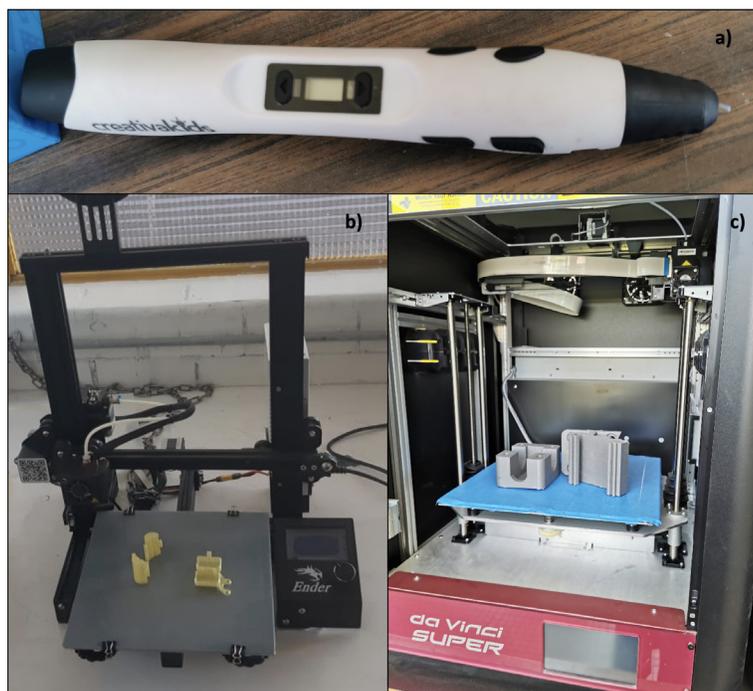


FIGURA 3. Equipamiento mínimo para la instalación de un laboratorio de impresión [R1] [RGA2] 3D para la enseñanza significativa: a) plumas CreativaKids, b) Impresora 3D Creality Ender, c) Impresora 3D Da Vinci.

En la figura 3 se muestran los tres tipos de impresoras 3D que fueron adquiridos para instalar un laboratorio tipo Fab Lab.

En la Figura 4 se muestran algunos de los productos impresos de los tres elementos de equipamiento para la impresión 3D.

El uso de las plumas CreativaKids permitió introducir la tecnología de impresión 3D de manera lúdica. Como puede observarse en la Figura 4a, se pueden crear al momento figuras prediseñadas. Es importante mencionar que, en este paso, no son relevantes los modelos producidos para la enseñanza de la química. Lo importante es la experiencia misma de crear algo con las propias manos. Por ejemplo, los diseños prediseñados incluyeron lentes, letras, tetraedros, pianos, entre otros. La motivación y diversión que se

observó en todos los participantes fue muy evidente. Al respecto, en ocasiones este tipo de variables subjetivas son menospreciadas ante variables cognitivas como el conocimiento o las habilidades (Huangfu et al., 2023). Sin embargo, existe evidencia entre la relación existente sobre la experiencia significativa y agradable con el desempeño académico. Por ejemplo, la motivación continua, que es el tipo de motivación intrínseca más directamente relacionado con la educación, se refleja la voluntad del individuo de aprender. En el caso específico de la química, se ha observado que para que las y los estudiantes tengan éxito en química, es esencial un fuerte sentido de autoeficacia. La autoeficacia en química puede definirse como las creencias del estudiante sobre su capacidad de realizar tareas químicas específicas (Cheung, 2015).



FIGURA 4. Modelos 3D resultantes de la impresión por: a) Plumas CreativaKids, b) CreaLity Ender y c) Da Vinci.

Por otro lado, la impresora Ender ofrece versatilidad de manejo que permite experimentar modificaciones en formulaciones de diversos materiales a imprimir o adaptar accesorios a la impresora, sin riesgo de daño irreversible. Como puede observarse en la Figura 4b, se pueden imprimir mezclas propias de diversas texturas que son extruibles. Por ejemplo, en la imagen se muestra la extrusión de una mezcla hidrocoloidal base para imprimir cualquier tipo de alimento deshidratado en polvo (ej. cárnicos, lácteos, verduras o cereales).

Como se describió en la tabla 2, las actividades del paso 2 relacionadas con la impresora Ender se enfocaron en la visualización en 3D de un diagrama de procesos para resolver el balance de materia (un sistema de ecuaciones con incógnitas a resolver) en la operación

unitaria de evaporación (genérica). Como se muestra en la Figura 4c, se puede contrastar un diagrama 2D en el pizarrón contra el mismo proceso en 3D. Los resultados mostraron un mejor entendimiento del proceso al poder asociar la solución de un problema con la realidad por parte de las y los alumnos. Esto es congruente con lo reportado por Hsu et al., 2017 en donde las y los estudiantes que crearon algo significativo, único y tangible en un ambiente de aprendizaje, lograron un mayor entendimiento de los conceptos académicos involucrados en la creación del objeto.

Finalmente, la impresora Da Vinci permite la impresión de modelos de tamaño mediano de muy alta calidad (ver figura 4d), en la cual el enfoque se da en el diseño mismo por computadora para su posterior impresión. El software que se empleó es Blender, que es una caja de herramientas computacionales gratuita y de código abierto para la creación 3D. El uso de este software y sus aplicaciones en la educación química se ha reportado en varios escenarios incluidos de realidad aumentada (Aristov et al., 2021)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas a todos los participantes de la experiencia en el Laboratorio tipo Fab Lab. El análisis de los resultados se muestra en la Figura 5.

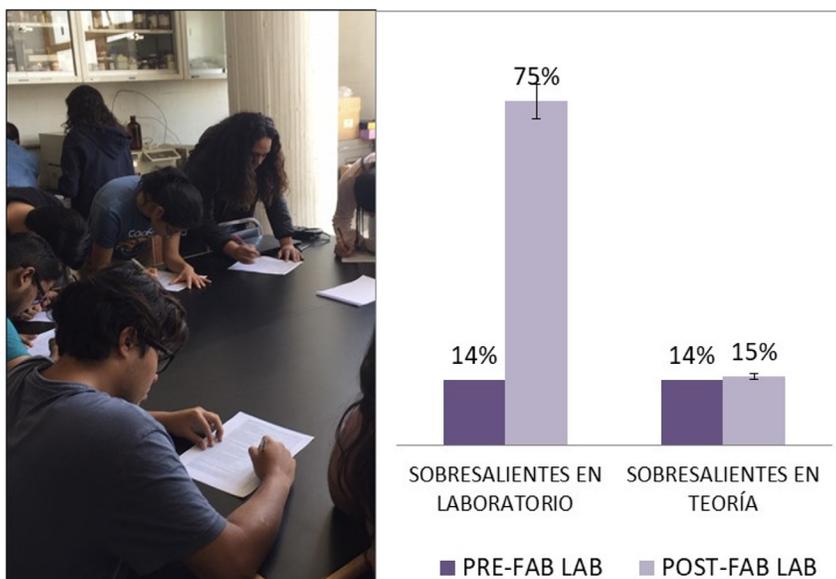


FIGURA 5. Resultados de la aplicación de la encuesta S-STEM antes y después de la experiencia de aprendizaje en ciencias químicas dentro de un espacio de modelado 3D.

Cómo puede observarse en la Figura 5, hubo un cambio significativo en las y los estudiantes participantes de laboratorio (tercer semestre) que respondieron con SI a las 46 preguntas de la encuesta S-STEM cuando se comparan los resultados de la aplicación de la prueba antes y después de la experiencia en el laboratorio tipo Fab Lab. En contraste con el nulo impacto observable en las y los estudiantes de la materia de teoría (séptimo semestre).

En específico, la mayoría de las preguntas en donde se respondió con un NO para ambos grupos fueron desde la pregunta 1 a 8 que corresponde a la sección de matemáticas. Esta sección es donde hubo un cambio muy notorio de manera positiva, especialmente para las y los estudiantes de laboratorio. En el caso particular de la pregunta 7 y 18 relacionadas con la confianza de realizar buen trabajo en matemáticas o ciencias respectivamente, también se observó un cambio positivo.

La sección de preguntas de la 11 hasta la 19 corresponde a la sección de confianza en la ciencia. En ambos casos no hubo cambios en la respuesta del grupo. En las preguntas de 20 a 30 que corresponden al conocimiento en ingeniería presentó un aumento en el interés del grupo, principalmente lo que corresponde al desarrollo de productos.

Finalmente, todas las respuestas fueron positivas a partir de la pregunta 31 después de la experiencia de impresión 3D. Este bloque de preguntas está relacionando con las habilidades declaradas como deseables para un profesional del s.XXI en el área de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas.

La evidencia de los datos indica el beneficio de crear experiencias de aprendizaje en asignaturas prácticas (primer tercio de tiempo de la carrera en ciencias químicas). Cabe señalar, que la actividad no estaba relacionada directamente con el contenido de la asignatura por ser un primer acercamiento. Posteriormente, se puede diseñar alguna actividad con impresión 3D que materialice algún concepto intangible del Laboratorio de Equilibrio y Cinética.

Es importante también observar que el resultado pareciera que no es relevante para las materias teóricas (último tercio de tiempo de la carrera en ciencias químicas en los planes de la Facultad de Química de la UNAM). Lo anterior lleva a una pregunta de investigación para futuros estudios: ¿El tipo de asignatura o periodo de tiempo es relevante para observar un beneficio de un laboratorio creador de impresiones 3D?

Conclusiones

En conclusión, se ha documentado la instalación, arranque y puesta en marcha de un espacio para el modelado 3D en la Facultad de Química de la UNAM con el fin mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química. El alcance del presente documento incluyó la evaluación cualitativa de la experiencia en el aula de tres grupos de estudiantes a través de una encuesta previa y posterior de la clase. La evidencia indica que las y los estudiantes, especialmente en un ambiente de laboratorio, tuvieron una experiencia significativa que les permitió disfrutar y fortalecer la confianza en la autogestión del conocimiento.

En un trabajo futuro, se plantea la elaboración de prototipos funcionales 3D a través de la incorporación de circuitos eléctricos y la programación para darle mayor funcionalidad y movimiento a los prototipos impresos en 3D. Además, se proyecta la incorporación de profesores e investigadores de diferentes disciplinas de las ciencias químicas para desarrollar nuevas clases dentro de los programas de estudio dentro de la Facultad de Química. Otra línea de continuidad por considerar es la incorporación de elementos de inclusión en las experiencias de aprendizaje para personas con capacidades diferentes y población neurodivergente.

Agradecimientos

El presente trabajo agradece el apoyo económico otorgado por DGAPA en el proyecto PAPIME PE201123 para la procuración de los equipos y consumibles, así como el apoyo de la Jefatura del Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química-UNAM del espacio para la instalación del Laboratorio Fab Lab.

Referencias

- Aristov, MM., Moore, JW., Berry, JF. (2021) Library of 3D Visual Teaching Tools for the Chemistry Classroom Accessible via Sketchfab and Viewable in Augmented Reality. *J. Chem. Educ.*, 98, 9, 3032–3037. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00460>
- Bandura, A, Barbaranelli, C, Caprara, G. V, y Pastorelli, C. (2001). Self-Efficacy Beliefs as Shapers of Children’s Aspirations and Career Trajectories. *Child Development*, 72(1), 187-206. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00273>.
- Barajas-Lopez, F., & Bang, M. (2018). Indigenous making and sharing: Claywork in an indigenous STEAM program. *Equity & Excellence in Education*, 51(1), 7–20. doi:10.1080/10665684.2018.1437847
- Barton, A. C., Tan, E., & Greenberg, D. (2017). The makerspace movement: Sites of possibilities for equitable opportunities to engage underrepresented youth in STEM. *Teachers College Record*, 119, 1–44.
- Bretz, S. L. (2019). Evidence for the Importance of Laboratory Courses. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 193-195. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00874>.
- Burbano Pérez, E. Y., & Torres, C. (2021). Modelo didáctico MAPIC para la enseñanza-aprendizaje de la química en educación media. *Revista Oratores*, 1(14), 38–54. <https://doi.org/10.37594/oratores.n14.533>
- Burton, B., Ogden, K., Walker, B., Bledsoe, L., & Hardage, L. (2018). Mars mission specialist: An integrated payload design challenge provides an authentic maker experience. *Science & Children*, 55(7), 46–54.
- Cheung D., (2015), The Combined Effects of Classroom Teaching and Learning Strategy Use on Students’ Chemistry Self- Efficacy, *Res. Sci. Educ.*, 45, 101–116.
- Duffrin, M. (2006). Integrating Problem-based Learning in an Introductory College Food Science Course. *Journal of food science education*, 2(1), 2-6. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4329.2003.tb00017.x>.
- Erbil, D. G. (2020). A Review of Flipped Classroom and Cooperative Learning Method Within the Context of Vygotsky Theory. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01157>.
- Fourches, D.; Feducia, J. (2019) Student-Guided Three-Dimensional Printing Activity in Large Lecture Courses: A Practical Guideline. *J. Chem. Educ.* 96 (2), 291–295.
- Gershenfeld, N. (2012). How to Make Almost Anything. *Foreign Affairs*, <https://www.foreignaffairs.com/articles/2012-09-27/how-make-almost-anything>.
- Hilton, M. L. (2010). Exploring the Intersection of Science Education and 21st Century Skills: A Workshop Summary. National Academy Press.
- Hsu, Y. C., Baldwin, S., & Ching, Y. H. (2017). Learning through making and maker education. *TechTrends*, 61(6), 589–594.

- Hwang, Y. (2023). When makers meet the metaverse: Effects of creating NFT metaverse exhibition in maker education. *Computers & Education* 194, 104693. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104693>
- Iwaoka, W, Britten, P, y Dong, F. (1996). The changing face of food science education. *Trends in Food Science and Technology*, 7(4), 105-112. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10014-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10014-5)
- Kaya-Capocci, S., Ucar, S. (2022). Entrepreneurial STEM for Global Epidemics. In: Rezaei, N. (eds) *Integrated Education and Learning*. Integrated Science, vol 13. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15963-3_25
- Krajcik, J., Schneider, B., Miller, E. A., Chen, I.-C., Bradford, L., Baker, Q., Bartz, K., Miller, C., Li, T., Codere, S., & Peek-Brown, D. (2023). Assessing the Effect of Project-Based Learning on Science Learning in Elementary Schools. *American Educational Research Journal*, 60(1), 70–102. <https://doi.org/10.3102/00028312221129247>
- Litzler, E, Samuelson, C, y Lorah, J. A. (2014). Breaking it Down: Engineering Student STEM Confidence at the Intersection of Race/Ethnicity and Gender. *Research in Higher Education*, 55(8), 810-832. <https://doi.org/10.1007/s11162-014-9333-z>.
- Lei, C. (2014). Teaching introductory circuits and systems: Enhancing learning experience via iterative design process and pre-/post-project learning activities. *Proceedings of the IEEE International Symposium, USA*, 2413-2416.
- LeSuer, R. J. Incorporating Tactile Learning into Periodic Trend Analysis Using Three-Dimensional Printing. *J. Chem. Educ.* 2019, 96 (2), 285–290.
- Martin, L. J. (2015). The Promise of the Maker Movement for Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 5(1). <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099>.
- Meyer, S. C. (2015). 3D Printing of Protein Models in an Undergraduate Laboratory: Leucine Zippers. *J. Chem. Educ.* 92 (12), 2120– 2125.
- Next Generation Science Standards. (2022). Three-Dimensional Learning <http://www.nextgenscience.org/three-dimensional-learning>.
- Ng, O, y Tsang, H. K. (2021). Constructionist Learning in School Mathematics: Implications for Education in the Fourth Industrial Revolution. *ECNU review of education*, <https://doi.org/10.1177/2096531120978414>.
- Organization for Economic Cooperation and Development. (2010). *The OECD Innovation Strategy Getting a Head Start on Tomorrow: Getting a Head Start on Tomorrow*. Van Haren Publishing.
- Pérez, E. G. S, y Torres, C. M. G. (2020). Modelo didáctico MAPIC para la enseñanza-aprendizaje de la química en educación media. *societas*. <https://doi.org/10.48204/j.societas.v22n1a3>
- Pinger, C, Geiger, M, y Spence, D. M. (2020). Applications of 3D-Printing for Improving Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 112-117. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00588>

- Huangfu, Q., Wei, N., Zhang, R., Tang, Y., Luo, G. (2023). Social support and continuing motivation in chemistry: the mediating roles of interest in chemistry and chemistry self-efficacy. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2023, Advance Article. DOI: 10.1039/d2rp00165a
- Ramella, F, y Manzo, C. (2018). Into the crisis: Fab Labs – a European story. *The Sociological Review*, 66(2), 341-364. <https://doi.org/10.1177/0038026118758535>
- Ricaurte, M, y Vilorio, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.001>.
- Roos, Y. H, Fryer, P. J, Knorr, D, Schuchmann, H. P, Schroën, K, Schutyser, M. A, Trystram, G, y Windhab, E. J. (2016). Food Engineering at Multiple Scales: Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 91-115. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9125-z>.
- Saleh, B, Rasul, M. S, y Affandi, H. M. (2018). The Conceptual Framework of Quality Product Design Based on Computer Aided Design (CAD). *Creative Education*, 09(14), 2311-2324. <https://doi.org/10.4236/ce.2018.914171>.
- Schad, M, y Jones, W. M. (2019). The Maker Movement and Education: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(1), 65-78. <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1688739>.
- Seery MK. (2020). Establishing the Laboratory as the Place to Learn How to Do Chemistry. *J. Chem. Educ.* 2020, 97, 1511–1514 <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00764>
- Stowe, R. L, Scharlott, L. J, Ralph, V. R, Becker, N. A, y Cooper, M. M. (2021). You Are What You Assess: The Case for Emphasizing Chemistry on Chemistry Assessments. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2490-2495. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00532>.
- Sun X. J., Song N. Q. and Liang X. Y., (2021), Perceived Parental and Teacher Support and Students' Sustained Motivation for STEAM Learning: The Multiple Mediating Roles of Interest in Learning and Self-efficacy, *Psychol. Behav. Res.*, 19(1): 37–44.
- Tayal, S. P. (2013). Engineering design process. *International Journal of Computer Science and Communication Engineering [Special Issue]*, 1-5.
- Teo, P. M. (2019). Teaching for the 21st century: A case for dialogic pedagogy. *Learning, Culture and Social Interaction*, 21, 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.03.009>.
- Unfried, A, Faber, M, Stanhope, D, y Wiebe, E. N. (2015). The Development and Validation of a Measure of Student Attitudes Toward Science, Technology, Engineering, and Math (S-STEM). *Journal of Psychoeducational Assessment*, 33(7), 622-639. <https://doi.org/10.1177/0734282915571160>.
- Zan, N. (2019). Communication Channel Between Teachers and Students in Chemistry Education: WhatsApp. *US-China education review*, 9(1). <https://doi.org/10.17265/2161-623x/2019.01.002>.