

## Educación STEM: Historia de dos paradigmas<sup>1</sup>

*Richard Felder*

Traducido y adaptado por el Ing. Uriel Cukierman, bajo la supervisión y aprobación del autor. Se han tomado algunas licencias para adaptar el texto al lenguaje y modismos utilizados en el mundo hispanoparlante.

La educación superior en las disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) ha pasado por un período turbulento durante varias décadas. Las presiones por reformas son consecuencia de la disminución de las inscripciones de estudiantes, las altas tasas de deserción en estas disciplinas y el surgimiento de poderosas estrategias de enseñanza alternativas que la ciencia cognitiva y la investigación educativa han demostrado que promueven el aprendizaje y la retención mejor que los métodos de enseñanza tradicionales. Además, la investigación ha demostrado que los cursos en línea y los presenciales producen, en promedio, resultados de aprendizaje comparables. Al mismo tiempo los cursos híbridos que combinan las mejores características de ambos, son más efectivos que los presenciales o en línea por sí solos.

Motivados por éstas y otras presiones, muchos profesores han adoptado los nuevos métodos de enseñanza. La educación a distancia ya se había generalizado mucho antes de que la pandemia de coronavirus de 2020 obligara a la mayoría de los educadores de todos los niveles a enseñar en línea.

Sin embargo, como era de esperar, muchos profesores y administradores se han resistido al cambio, argumentando que el enfoque tradicional siempre ha funcionado bien y no necesita una revisión importante. Antes de la pandemia, la mayoría de los cursos en STEM todavía se impartían con los métodos tradicionales y muchos profesores están ansiosos por volver a ellos.

Estas diferentes respuestas a los llamados a una reforma educativa han dado lugar a acalorados debates entre profesores y administradores universitarios sobre cómo se deben diseñar, impartir y evaluar los planes de estudio y los cursos en STEM, así como el papel que debe desempeñar la tecnología en dichas actividades. Este ensayo describe dos paradigmas en competencia en cada uno de estos temas: el paradigma tradicional, que ha dominado durante mucho tiempo en la educación en STEM, y el paradigma emergente, que se ha vuelto cada vez más común en los últimos 30 años, pero que aún no predomina en la mayoría de las universidades y facultades. El ensayo concluye con especulaciones sobre el resultado final de dicha competencia.

1. El artículo original fue publicado bajo el título "STEM education: A tale of two paradigms" en el Journal of Food Science Education, Vol. 20, N°1, p. 8-15, en enero de 2021 (DOI: 10.1111/1541-4329.12219)

"... Este ensayo describe dos paradigmas en competencia en cada uno de estos temas: el paradigma tradicional, que ha dominado durante mucho tiempo en la educación en STEM, y el paradigma emergente, que se ha vuelto cada vez más común en los últimos 30 años,..."

Imagen:  
/www.freepik.com

## Introducción

Las presiones para reformar la educación en STEM existen desde hace muchos años, pero en las últimas décadas han surgido varias especialmente intensas en Estados Unidos<sup>1</sup>:

- El interés de los estudiantes de las escuelas secundaria en las disciplinas STEM ha disminuido constantemente, lo que ha dado lugar a preocupaciones sobre si se graduarán suficientes estudiantes en dichas disciplinas como para satisfacer las necesidades nacionales<sup>2</sup> en la próxima década (Herman, 2019).
- Los empleadores de los graduados en STEM se quejan de que, aunque la mayoría de los empleados recientes tienen buenas habilidades técnicas, carecen de otras habilidades importantes, como el pensamiento crítico, el pensamiento creativo, las comunicaciones escritas y orales y el trabajo en equipo (Association of American Colleges & Universities, 2015).
- Debido en parte a la globalización y a los avances tecnológicos, muchos de los trabajos que tradicionalmente han realizado los ingenieros y científicos de los países desarrollados serán realizados en el futuro por ordenadores o por trabajadores de países

con menores costos laborales. Los futuros ingenieros y científicos de los países desarrollados necesitarán nuevas competencias, incluidas las mencionadas en el punto anterior (Felder, 2006).

- Una vasta investigación educativa y los avances en la ciencia cognitiva han demostrado que los métodos de enseñanza alternativos son superiores a la instrucción tradicional basada en "dictar clase", tanto para promover el aprendizaje básico, como el desarrollo de habilidades de alto nivel (Ambrose, Bridges, DiPietro, Lovett, & Norman, 2010; Felder & Brent, 2016; Freeman et al., 2014; Theobald, Hill, Tran, & Freeman, 2020).
- La enseñanza en línea se ha vuelto cada vez más competitiva comparada con la tradicional presencial, tanto desde el punto de vista educativo como económico (Prince, Felder, & Brent, 2020).

Si bien han aparecido respuestas a estas presiones en la comunidad educativa en STEM, el progreso ha sido lento. Si Ud. hubiera caminado por un pasillo en la mayoría de las universidades antes de la pandemia de 2020 y echado un vistazo en algunas aulas de disciplinas STEM elegidas al azar, lo más probable que hubiera visto, es a la mayoría de los profesores enseñando los mismos cursos que se impartieron 50 años antes y de la misma manera en que lo hacían entonces. Sin embargo, no en todas las aulas ocurre lo mismo. En gran parte debido a las presiones para el cambio mencionadas anteriormente, vería que algunos de los cursos se imparten de manera diferente. El resultado es que ahora hay dos escuelas de pensamiento en competencia con respecto a la educación en STEM: el paradigma *tradicional*, que ha dominado la educación en STEM durante décadas y en algunos aspectos, durante siglos y el paradigma *emergente*.

En este ensayo, se reflexiona sobre los contrastes entre estas dos posiciones. Para cada uno de los diversos aspectos del diseño y el desarrollo de cursos y planes de estudio, se describe primero el paradigma tradicional (designado con una **T**) y luego el paradigma emergente (designado como **E**). Los contrastes se presentarán en el contexto de abordar cuatro preguntas:

- ¿Cómo deberían estructurarse los planes de estudios en STEM?

1. NdT: Si bien el autor se refiere a su país, estas presiones se verifican en mucho otros países y, particularmente, en Iberoamérica. Se puede consultar al respecto documentos de ASIBEI, CONFEDI, ACOFI y otras organizaciones de educación en ingeniería de la región. Las menciones a los escenarios y realidades propios de los EE. UU. se repiten en varias partes del texto, pero no invalidan el sentido y las recomendaciones generales que son perfectamente aplicables a otros países.

- ¿Cómo deberían diseñarse e impartirse los cursos en STEM?
- ¿Quién debería enseñar?
- ¿Cómo deberían prepararse los profesores para sus carreras?

## 2. ¿Cómo deberían estructurarse los planes de estudios en STEM?

**T:** Fuerte énfasis en aprender hechos y fórmulas y en desarrollar habilidades analíticas y computacionales para resolver problemas.

**E:** Énfasis equilibrado en el contenido tradicional y en el desarrollo de habilidades críticas, creativas, multidisciplinarias y metacognitivas para el pensamiento, la comunicación y el trabajo en equipo.

Hart Research Associates (2015) resume el resultado de una encuesta a 400 empleadores cuyas organizaciones tienen al menos 25 empleados: "Los empleadores dicen que cuando seleccionan personal, otorgan el mayor valor a la capacidad demostrada en habilidades y conocimientos que son transversales a todas las especialidades. Los resultados del aprendizaje que califican como más importantes incluyen habilidades de comunicación oral y escrita, habilidades de trabajo en equipo, pensamiento crítico y la capacidad de aplicar el conocimiento en escenarios del mundo real. De hecho, la mayoría de los empleadores dice que estas habilidades transversales son más importantes para el éxito de un individuo en su empresa que su carrera universitaria. Sin embargo, sienten que los graduados universitarios de hoy no están particularmente bien preparados para lograr los resultados de aprendizaje que consideran importantes". Durante años se han escuchado quejas similares de los empleadores sobre las habilidades profesionales inadecuadas de sus nuevos empleados, pero las universidades han tardado en reaccionar ante ellas. Las quejas no sorprenden. Los profesores en STEM rara vez reciben capacitación sobre cómo enseñar esas habilidades y muchos no creen que sea su trabajo enseñarlas.

Se han desarrollado y validado técnicas para enseñar habilidades profesionales a estudiantes en STEM y evaluar el dominio de éstas por parte de los estudiantes (Felder & Brent, 2010; 2016, Cap. 10-11). Por ejemplo, el pensamiento creativo se puede enseñar asignando ejercicios de los tipos que se muestran a continuación (ver Felder & Brent 2016, pp. 222-230, para ejemplos adicionales):

- *Ejercicios de lluvia de ideas (brainstorming).* Genera una lista de ideas en respuesta a una pregunta (por ejemplo, "¿En cuántas maneras se te ocurre...?" o "¿Cuántas explicaciones se te ocurren...?"). El objetivo es la can-

"Se han desarrollado y validado técnicas para enseñar habilidades profesionales a estudiantes en STEM y evaluar el dominio de éstas por parte de los estudiantes..."

tividad y variedad de ideas, no la calidad; la regla es que ninguna idea puede ser criticada por ser inviable, poco práctica o completamente loca. Juzgar la calidad de las ideas entra en el pensamiento crítico, que es de vital importancia, pero se debe permitir seguir con la generación acrítica de ideas.

- *Explicaciones de resultados inesperados.* Describe una observación o un resultado experimental que difiera de las predicciones o los cálculos y pide a los estudiantes que sugieran las posibles razones de la discrepancia.
- *Ejercicios de formulación de problemas.* Inventa (o inventa y resuelve) un problema escrito relacionado con el contenido cubierto en clase en la semana, o el contenido cubierto en el curso y el contenido de otro curso que estés tomando actualmente. El problema debe requerir un pensamiento creativo y/o crítico por parte de la persona que resuelve el problema.

En cualquier curso, el alcance de cualquier problema de la forma "Dados  $x_1, x_2, \dots$  (valores de variables y condiciones del sistema para un laboratorio o proceso de fabricación), calcular  $y_1, y_2, \dots$  (variables de salida esperadas del proceso)", se puede ampliar para integrar el pensamiento creativo y/o crítico de varias maneras. Por ejemplo, el problema original puede convertirse en la parte (a) de un problema mayor, y las partes subsiguientes pueden tener una o más de las siguientes formas:

- Suponga que el proceso se construye y ejecuta exactamente como se describe en la parte (a), y la salida del proceso es 40% menos de lo que calculó. Suponiendo que no cometió errores en el cálculo, enumere al menos diez razones posibles para la discrepancia, incluidas al menos cuatro suposiciones que hizo en la parte (a) que podrían ser incorrectas y algunas posibilidades adicionales que no están relacionadas específicamente con este curso. (*Enseña el pensamien-*

to creativo en la resolución de problemas y el pensamiento metacognitivo en la resolución de problemas).

- Muchos eventos posibles pueden llevar al fracaso del proceso. Trabajando en equipos y en menos de 15 minutos, hagan una lluvia de ideas con la lista más larga que puedan de cuáles podrían ser dichos eventos. Ofrecer mejor calificación por una idea en la que ningún otro equipo haya pensado. (*Enseña el pensamiento creativo en la planificación de proyectos y la resolución de problemas*).
- Aquí hay una lista de posibles causas de fracaso que uno de los equipos de estudiantes encontró. Seleccione los tres más probables, justifique sus selecciones y sugiera medidas para evitar que ocurran. (*Enseña el pensamiento crítico en la planificación de proyectos y la resolución de problemas*).
- Suponga que se ejecuta un proceso de fabricación y funciona exactamente como se diseñó, pero el producto es un fracaso económico. Nombra tres posibles causas. ¿Qué podría haber hecho la empresa para predecir dicho fracaso, evitarlo o cancelar los planes de construcción y producción? (*Enseña el pensamiento multidisciplinario en la planificación de proyectos y la resolución de problemas*).

Cada vez que presente un nuevo tipo de problema, muestre en clase cómo resolverlo, use uno o dos problemas similares como base para ejercicios de aprendizaje activo en clase y varios más en las tareas asignadas y luego presente problemas similares en las pruebas. Los estudiantes pueden quedar desconcertados la primera vez que aparece un nuevo tipo de problema, pero no les llevará mucho tiempo captar el tipo de pensamiento necesario para resolverlo.

La siguiente es una técnica particularmente efectiva para enseñar a los estudiantes las habilidades que necesitarán para escribir buenos informes de proyectos:

- *Entregue a los estudiantes copias de una rúbrica de calificación que se utilizará en sus informes.* La rúbrica detalla los criterios de calificación que utilizará y asigna un peso a cada uno. Repase brevemente la rúbrica en clase para asegurarse de que los estudiantes comprendan los criterios.
- *Muestre a los estudiantes un trabajo del tipo que deberán preparar, que haya sido realizado por otro estudiante y que contenga errores importantes* (p. ej., un informe de proyecto de diseño o de laboratorio, una crítica de un

artículo o artículo de opinión, un problema del curso que requiera pensamiento creativo y/o crítico para resolverlo). Luego pídale que califiquen individualmente dicho trabajo usando la rúbrica y luego trabajen en parejas para reconciliar sus calificaciones. Finalmente, muéstrelas la calificación que les daría si le enviaran esa muestra. Repita este ejercicio con otro trabajo mucho mejor que el anterior, pero todavía con errores.

- Proporcione a los estudiantes práctica en las habilidades relevantes en tareas breves y cuestionarios de bajo riesgo.
- *Haga que los estudiantes generen y presenten sus propios trabajos para ser calificados* (Felder & Brent, 2016, pp. 175–182). Si ha seguido los tres pasos anteriores, es probable que la calidad de los primeros informes que le envíen sea mayor de lo que jamás haya visto en clases anteriores, excepto aquellos realizados por los mejores estudiantes al final del curso.

La construcción de rúbricas confiables y válidas puede ser un desafío, pero para las habilidades comunes es, a menudo, innecesaria. Dichas rúbricas se pueden obtener ingresando en un motor de búsqueda “Rúbrica \_\_\_\_\_”, donde \_\_\_\_\_ podría ser “informe de proyecto escrito”, “informe de proyecto oral”, “pensamiento creativo”, “pensamiento crítico”, “trabajo en equipo” o prácticamente cualquier otro trabajo o habilidad del estudiante que pueda ser evaluado; de esta manera se puede obtener una gran cantidad de rúbricas probadas. Elija y descargue una rúbrica que se acerque a sus criterios de calificación, modifíquela para mejorar la coincidencia y utilícela en su curso (Felder & Brent, 2016, pp. 176–181).

\* \* \*

**T:** *Cursos compartimentados, con conexiones mínimas o nulas con cursos y disciplinas relacionados*

**E:** *Cursos que establecen conexiones con cursos y disciplinas relacionados y brindan a los estudiantes capacitación y práctica para encontrar conexiones por sí mismos.*

Los problemas reales de la ciencia y la ingeniería generalmente no se limitan a temas de cursos universitarios individuales, como problemas de química de polímeros puros, de termodinámica, de diseño de circuitos eléctricos, etc. Cuando estos problemas limitados surgen en la práctica, puede ser que ya se hayan resuelto hace mucho tiempo o que pueden ser manejados por técnicos con el software adecuado. Los problemas a los que se enfrentan regularmente los científicos e ingenieros

profesionales tienen un alcance mucho más amplio y abarcan varios cursos en STEM (incluidas la ingeniería de seguridad y la ciencia y la tecnología ambientales) y disciplinas que no son STEM como la economía, el marketing y la psicología.

En la universidad, por otro lado, las materias STEM generalmente se enseñan en silos que no se superponen, incluso cuando existe una superposición considerable en sus contenidos. Por ejemplo, yo solía impartir un curso de dinámica de fluidos que cubría el flujo de fluidos compresibles, que los estudiantes tomaban al mismo tiempo que un curso de termodinámica que también cubría el flujo compresible. En una ocasión pregunté a los estudiantes sobre algo que se había cubierto en el otro curso y me recibieron con miradas en blanco, como si nunca en su vida hubieran visto algo como lo que les había preguntado. (Lo comprobé, ¡lo habían hecho!) Una consecuencia de esta rígida compartimentación de los cursos es que los estudiantes se gradúan sin experiencia en el pensamiento holístico y sus empleadores se quejan de otra habilidad vital de la que carecen sus nuevos empleados.

La tendencia emergente es reconocer que los problemas del mundo real generalmente involucran múltiples temas y disciplinas, con lo cuales preciso cubrir algunas de las conexiones en los cursos. En aquellos de fluidos y termodinámica mencionados anteriormente, los dos profesores podrían coordinar su cobertura del flujo compresible, asignando algunos problemas de tarea conjunta y posiblemente dando varias clases conjuntas.

"Los problemas a los que se enfrentan regularmente los científicos e ingenieros profesionales tienen un alcance mucho más amplio y abarcan varios cursos en STEM (incluidas la ingeniería de seguridad y la ciencia y la tecnología ambientales) y disciplinas que no son STEM como la economía, el marketing y la psicología."

### 3. ¿Cómo se deberían enseñar los cursos en STEM?

**T:** *Contenido determinado por temas del programa de estudios* ("El curso cubrirá...")

**E:** *Contenido determinado por los objetivos de aprendizaje* ("Cuando los estudiantes hayan completado el Capítulo 4 del libro de texto, deberían poder..." o "Para que te vaya bien en el próximo examen parcial, deberías poder...")

Los puntos suspensivos que siguen a "cubrirá" en las declaraciones con que se inician los programas tradicionales (El curso cubrirá...) denotan una lista de temas, uno de los cuales podría ser "aplicaciones de las tres leyes del movimiento de Newton". Por el contrario, los puntos suspensivos en los dos tipos de declaraciones con que se inician los programas emergentes ("Cuando los estudiantes hayan completado el Capítulo 4 del libro de texto, deberían poder..." y "Para que te vaya bien en el próximo examen parcial, deberías poder...") denotan listas de objetivos, tareas que comienzan con verbos de acción observables (como "definir, explicar, calcular, derivar, criticar, diseñar", etc.), pero no verbos no observables (como "saber, aprender, entender" y "apreciar"). Los objetivos no son preguntas específicas que puedan estar en tareas y exámenes, sino los tipos de desafíos para los que los estudiantes deben prepararse.

La diferencia entre estos dos enfoques puede parecer menor, pero no lo es. Saber que un tema se cubrirá en un curso da una idea de lo que trata el curso, pero esa información no es particularmente útil para los estudiantes cuando tratan de averiguar qué estudiar, o para otros profesores que estarán enseñando el curso por primera vez o impartir otros cursos que tengan éste como requisito previo. Los profesores no sabrán cuán profundamente se desarrollará el curso en (digamos) las tres leyes de Newton, cuánta teoría y cuánta aplicación, cuánto tiempo dedicar a ese tema, etc. Los estudiantes tendrán que adivinar cómo deben estudiar y qué tan bien están aprendiendo el material sobre el que serán evaluados. Es posible que no lo descubran hasta que hayan realizado los exámenes, lo que puede ser demasiado tarde.

Por otro lado, los objetivos de aprendizaje abordan las necesidades tanto de los profesores como de los estudiantes. Conociendo los objetivos, los futuros profesores del curso sabrán exactamente para qué tienen que preparar a los estudiantes y luego podrán hacer una planificación significativa del curso (modificando los objetivos si es necesario). Las calificaciones de los estudiantes reflejarán solo su dominio del conocimiento y las habilidades que el profesor ha tratado de enseñarles y no su capacidad para adivinar qué estudiar (nadie ha demostra-

do que la capacidad de leer la mente de un profesor se correlacione con el éxito profesional). Los profesores de los cursos subsiguientes sabrán qué es lo que deberían saber sus nuevos estudiantes.

El enfoque emergente es que los profesores formulen objetivos de aprendizaje; compartan los objetivos con los estudiantes, idealmente como guías de estudio para exámenes; diseñen clases, actividades de clase, asignaciones, proyectos y exámenes que aborden los objetivos de manera consistente. Los cursos construidos de esta manera promueven el aprendizaje de una manera mucho más efectiva que cuando el diseño, el desarrollo y la evaluación del curso no están bien alineados con un único conjunto de objetivos. Felder y Brent (n.d.-a) provee un enlace a un tutorial en línea que define y analiza los objetivos de aprendizaje para cursos STEM y Felder y Brent (2016, cap. 2, 9-11) brindan ejemplos adicionales de objetivos para el pensamiento de alto nivel, resolución de problemas y habilidades de trabajo en equipo.

\* \* \*

**T:** *Organización deductiva del contenido del curso* (el profesor presenta teorías y principios básicos, luego deriva fórmulas y algoritmos, luego muestra aplicaciones y luego asigna trabajo a los estudiantes)

**E:** *Organización inductiva del contenido del curso* (el profesor presenta cada nuevo tema con un desafío y la clase luego alterna entre las actividades de los estudiantes que abordan el desafío y las presentaciones de información del profesor una vez que se ha determinado la necesidad en el contexto del desafío presentado)

El desafío que introduce un tema nuevo cuando se utiliza la enseñanza inductiva puede ser una pregunta que responder, un fenómeno observado o un resultado experimental que explicar, o un problema del mundo real que resolver. Las variantes comunes de la enseñanza inductiva incluyen el aprendizaje basado en la indagación, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje de indagación guiada orientado al proceso (POGIL) y la enseñanza justo a tiempo (JiTT) (Prince & Felder, 2006).

Durante siglos, la ciencia, la tecnología y la ingeniería han hecho uso del método científico para descubrir cómo funciona el mundo. En primer lugar, se observan los fenómenos naturales (Y sucede). Las personas intentan encontrar relaciones causales o correlacionales que tengan algún poder predictivo. (Si hago X o si ocurre la situación X, entonces sucederá Y o, en resumen,  $X \rightarrow Y$ ). Eso es inducción.

"El enfoque emergente es que los profesores formulen objetivos de aprendizaje; compartan los objetivos con los estudiantes, idealmente como guías de estudio para exámenes; diseñen clases, actividades de clase, asignaciones, proyectos y exámenes que aborden los objetivos de manera consistente."

Una vez que los científicos, tecnólogos o ingenieros que realizan este trabajo tienen un modelo de trabajo que explica, o al menos correlaciona el  $c_x$  a  $Y = Y_1$  y cambio X a un valor  $X_2$  diferente, entonces si mi modelo aún funciona, Y debería cambiar a  $Y_2$ ). Luego, ejecutan un experimento en  $X_2$ , y si  $Y_2$  sucede como se predijo, tienen un modelo más sólido (es decir, se aplica a un rango más amplio de valores de X). Por otro lado, si ocurre  $X_2$  e Y no es igual a  $Y_2$ , o rechazan el modelo o limitan su rango de aplicabilidad. Una vez que un modelo ha sido sometido a pruebas repetidas y confirmado para una amplia gama de condiciones, puede elevarse al estado de ley, principio o teoría. Los científicos en los últimos siglos han generado algunos modelos poderosos que describen muchos fenómenos, pero todos surgieron a través de tales alternancias de inducción y deducción, *comenzando con la inducción*.

Sin embargo, eso no es lo que hacemos en la mayoría de los cursos en STEM. Generalmente comenzamos con las teorías y luego derivamos y deducimos y nos abrimos camino hacia los fenómenos y aplicaciones. Luego damos a los estudiantes exámenes con problemas similares, pero no idénticos, a los de nuestras clases y tareas, y declaramos que los estudiantes que los resuelven con éxito en 50 minutos o tres horas merecen ser científicos, tecnólogos e ingenieros y los no puede hacerlo, deben buscar otras carreras.

Aunque la enseñanza deductiva ha dominado la educación superior durante siglos, resulta que la enseñanza inductiva funciona mejor para promo-

ver casi todos los resultados de aprendizaje imaginables excepto la memorización (Prince & Felder, 2006). En las escuelas de medicina de todo el mundo, el plan de estudios ha pasado de la deducción, en la que los futuros médicos pasan varios años aprendiendo los fundamentos de la anatomía y la fisiología y la biología celular y la genética antes de ver a un paciente vivo, al aprendizaje basado en problemas, donde muchos de los fundamentos se aprenden en el contexto del diagnóstico y tratamiento de pacientes vivos. El movimiento hacia la enseñanza inductiva en otras disciplinas STEM ha sido más lento, pero está ocurriendo.

\* \* \*

**T: *Dictando clases sin parar.*** La mayor parte o la totalidad de la actividad en clases que no son de laboratorio, la realiza el profesor: hablar, escribir, mostrar diapositivas y ocasionalmente, hacer preguntas.

**E: *Participación activa de los estudiantes.*** La actividad en clase se comparte entre el profesor y los estudiantes: discusión, explicación, lluvia de ideas, preguntas, reflexión, computación, etc.

Miles de estudios de investigación han demostrado que, en comparación con las clases tradicionales, el aprendizaje activo bien implementado conduce a resultados de aprendizaje superiores, tanto para las habilidades técnicas como para las profesionales (Freeman et al., 2014; Theobald et al., 2020). La evidencia de esa conclusión es tan convincente que, después de examinarla, Clarissa Dirks, copresidenta de la Alianza de Enseñanza Científica de las Academias Nacionales de EE. UU., declaró: "En este punto, no es ético enseñar de otra manera".

Felder y Brent (n.d.-b) brinda un tutorial en línea que presenta y brinda algunos consejos para implementar el aprendizaje activo, y Felder y Brent (2016, capítulo 6) brinda orientación adicional sobre buenas prácticas de aprendizaje activo y formas de evitar prácticas comunes. que restan valor a la eficacia del método. Prince et al. (2020) describe formas de involucrar activamente a los estudiantes en cursos en línea.

\* \* \*

**T: *Asignaciones individuales en la mayoría de los cursos, asignaciones de equipo en laboratorios y cursos basados en proyectos con poca o ninguna orientación sobre el funcionamiento efectivo del equipo.***

**E: *Algunas asignaciones individuales y algunas en equipo en la mayoría de los cursos, y estas últimas se llevan a cabo siguiendo los principios del aprendizaje cooperativo.***

El trabajo en equipo siempre ocupa un lugar destacado en la lista de habilidades que los empleadores de los graduados de STEM desearían que sus nuevos empleados tuvieran. Los miembros de un equipo de alto rendimiento necesitan habilidades bien desarrolladas en comunicación oral y escrita, liderazgo, gestión del tiempo, gestión de proyectos y resolución de conflictos. Los estudiantes no nacen con esas habilidades y es poco probable que las adquieran en la universidad si no se las enseñan explícitamente. En el enfoque tradicional de las tareas en equipo, el profesor les dice a los estudiantes que formen equipos de tres o cuatro, realicen una tarea e informen sobre lo que hicieron. Todos los miembros del equipo, los que hicieron la mayor parte del trabajo y los que casi nunca se presentaron, obtienen la misma calificación. Ese enfoque casi universal es notoriamente pobre para equipar a los estudiantes con habilidades de equipo de alto rendimiento.

Un enfoque mucho mejor es el *aprendizaje cooperativo* (Felder y Brent, 2007; Felder y Brent, 2016, cap. 11). Para que el trabajo en equipo cuente como aprendizaje cooperativo, se deben establecer varias condiciones, de las cuales podría decirse que las más importantes son la *interdependencia positiva* (los estudiantes deben confiar unos en otros para completar el proyecto satisfactoriamente) y la *responsabilidad individual* (todos los miembros del equipo son responsables de cumplir con las tareas acordadas con el equipo y de comprender todas las partes del proyecto, no solo aquellas de las que son principalmente responsables). Los métodos para establecer esas y otras condiciones definitorias del aprendizaje cooperativo se resumen en las referencias citadas anteriormente. La literatura también informa sobre un cuerpo sustancial de investigación que demuestra la efectividad del aprendizaje cooperativo para equipar a los estudiantes con todas las habilidades asociadas con el funcionamiento de equipos de alto rendimiento.

"Aunque la enseñanza deductiva ha dominado la educación superior durante siglos, resulta que la enseñanza inductiva funciona mejor para promover casi todos los resultados de aprendizaje imaginables excepto la memorización..."

\* \* \*

**T:** *Diseño instruccional basado enteramente en la investigación anecdótica y la experiencia del profesor.*

**E:** *Diseño instruccional basado en investigación cuantitativa y cualitativa replicable, ciencia cognitiva y la experiencia del profesor.*

Durante siglos, el modelo casi universal de enseñanza fue que el maestro proporciona información y los estudiantes intentan absorberla y repetirla en los exámenes. Algunos filósofos y científicos naturales ocasionalmente sugirieron que las personas aprenden haciendo cosas, no viendo y escuchando conferencias, pero esta noción tuvo poco impacto en la mayoría de las escuelas y universidades. Algunos estudiantes lograron aprender mucho cuando se utilizó ese modelo, pero por lo general lo hicieron solos o con la ayuda de un mentor capacitado.

A finales del siglo XIX y durante los primeros dos tercios del siglo XX, los educadores comenzaron a realizar y publicar estudios de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje, pero gran parte de la investigación era del tipo "Probamos este método y a los estudiantes les gustó y pareció aprender más de lo que solían hacerlo". Las recomendaciones pedagógicas eran generalmente de talle único (one-size-fits-all): rara vez surgió la idea de que las técnicas de enseñanza específicas podrían funcionar bien para algunos estudiantes, pero podrían ser malas o absolutamente inservibles para otros.

En el último tercio del siglo XX se empezaron a utilizar métodos de investigación educativa mejor diseñados: desarrollo y validación de instrumentos de evaluación de los resultados del aprendizaje, estudios cuantitativos, cualitativos y de métodos mixtos con análisis de datos estadísticos y amplia reproducción de los resultados con diferentes poblaciones. Al mismo tiempo, los neurocientíficos comenzaron a comprender mejor la anatomía y la fisiología del cerebro y los procesos involucrados en el aprendizaje, y esos conocimientos, a su vez, arrojaron luz sobre las condiciones de instrucción que facilitan el aprendizaje.

La literatura, tanto la que se refiere a investigación educativa empírica, como aquella enfocada en la ciencia cognitiva, es ahora muy amplia. Parte de esa literatura es extremadamente técnica, escrita principalmente para especialistas y generalmente incomprensible para los educadores ordinarios que buscan mejorar su enseñanza. Afortunadamente, también hay referencias que intentan traducir los hallazgos técnicos en resúmenes comprensibles de los hallazgos de la investigación y recomendaciones sobre cómo se pueden aplicar a la enseñanza (por ejemplo, Ambrose et al., 2010; Brown, Roediger, & McDaniel, 2014; Felder & Brent, 2016;

Hodges, 2015; Weimer, 2013).

\* \* \*

**T1:** *Cursos impartidos por medio de clases en aulas presenciales.*

**T2:** *Cursos impartidos en línea con clases a través de pantallas de computadoras.*

**E:** *Cursos en línea e híbridos (presenciales/en línea) impartidos con breves fragmentos de clases en línea, tutoriales multimedia interactivos, simulaciones de procesos industriales y de laboratorio y una variedad de formas de participación activa en línea de los estudiantes con profesores y compañeros de clase.*

La tecnología educativa es una espada de dos filos. En la medida en que promueve la actividad e interactividad de los estudiantes (como en E), mejora el aprendizaje; en la medida en que interpone barreras entre el profesor y los estudiantes (como en T2), lo empeora (Prince et al., 2020). Un importante y en rápido crecimiento cuerpo de literatura describe estrategias para planificar, desarrollar y evaluar la instrucción en línea, y la investigación en base a encuestas respalda la efectividad de dichas estrategias (Arbaugh et al., 2009; Bernard, Borokhovski, Schmid, Tamim y Abrami, 2014; Brennan, 2021; Bruff, 2020; Jaggars & Xu, 2016; Kauffman, 2015; Ko & Rossen, 2017; Means, Toyama, Murphy, Baki & Jones, 2010; Nilson & Goodson, 2018; Prince et al., 2020; Sun & Chen, 2016).

"En el último tercio del siglo XX se empezaron a utilizar métodos de investigación educativa mejor diseñados: desarrollo y validación de instrumentos de evaluación de los resultados del aprendizaje, estudios cuantitativos, cualitativos y de métodos mixtos con análisis de datos estadísticos y amplia reproducción de los resultados con diferentes poblaciones."

#### 4. ¿Quién debería enseñar?

**T:** Doctores especializados en investigación disciplinaria de vanguardia, profesores adjuntos no titulares y estudiantes de posgrado.

**E:** Miembros de la facultad incluidos en una o más de estas tres categorías:

- Investigadores de ciencia aplicada y de frontera.
- Practicantes profesionales. Personas que han pasado años en la práctica profesional y ahora están listas y son capaces de ser modelos profesionales a seguir para los estudiantes.
- Docentes eruditos. Profesores destacados que se mantienen al tanto de la pedagogía moderna y la investigación en el aula y sirven como mentores de enseñanza para sus colegas. También pueden participar en su propia investigación educativa.

En el paradigma emergente, las tres categorías cumplen funciones académicas igualmente importantes y deben ser consideradas trayectorias profesionales legítimas de los docentes con igualdad de oportunidades de permanencia y promoción. Los practicantes profesionales y los profesores académicos no necesitarían títulos de doctorado a menos que estén activos en la investigación educativa.

#### 5. ¿Cómo deberían estar preparados los docentes de la facultad?

**T:** *Obteniendo títulos avanzados en sus disciplinas.*

**E:** *Participando en cursos, talleres, programas de seminarios, programas de certificación y tutorías para nuevos docentes de la facultad y para estudiantes graduados y becarios posdoctorales que quieran dedicarse a carreras académicas.*

Podría decirse que los docentes universitarios son los únicos profesionales calificados que no reciben capacitación rutinaria para sus carreras. La presunción aparente es que, si obtienes un título avanzado en una disciplina, debes saber cómo enseñarla. Cualquiera que haya sido estudiante universitario sabe lo contrario. Una segunda presunción en las universidades de investigación intensiva es que, si obtienes un doctorado en la disciplina, debes saber cómo seleccionar áreas de investigación, identificar y abordar posibles fuentes de financiamiento, escribir propuestas efectivas, competir exitosamente con colegas experimentados para atraer buenos estudiantes gra-

"... los docentes universitarios son los únicos profesionales calificados que no reciben capacitación rutinaria para sus carreras. La presunción aparente es que, si obtienes un título avanzado en una disciplina, debes saber cómo enseñarla. Cualquiera que haya sido estudiante universitario sabe lo contrario."

duados a tu programa de investigación, asesorar a los estudiantes que atraes, escribir artículos que ser aceptados en revistas de primer nivel y equilibrar las demandas de tiempo de la investigación, la enseñanza y la vida fuera del trabajo.

Ambas presunciones son contradichas por la investigación. Boice (1992, 2000) estudió a cientos de nuevos profesores y encontró que aproximadamente el 95% de ellos tardó un promedio de 4 a 5 años en cumplir con las expectativas de sus instituciones en cuanto a la efectividad de la enseñanza y la productividad de la investigación, mientras que el 5% lo hizo en 1–2 años (Brent & Felder, 1998). Boice también descubrió que la capacitación efectiva puede llevar varios años en la curva de aprendizaje de los nuevos docentes. Brent, Felder y Rajala (2006) describen un programa de capacitación multifacético para profesores de STEM en la Universidad Estatal de Carolina del Norte que incluye varios de los elementos enumerados anteriormente para el paradigma emergente.

#### 6. Resumen

Un modelo de enseñanza basado en la simple transmisión de información de los profesores a los estudiantes ha dominado la educación en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) durante al menos un siglo y, en algunos aspectos, mucho más que eso. En las últimas décadas, han surgido una variedad de presiones para reemplazar ese modelo, incluido el desarrollo y la validación basada en la investigación de métodos de enseñanza

alternativos. El resultado ha sido el surgimiento de dos paradigmas en competencia de la instrucción en STEM: el tradicional y el emergente.

El paradigma tradicional consiste en

- organización deductiva del curso (comenzando con principios básicos y teorías y progresando hacia fenómenos y aplicaciones reales).
- gran énfasis en hechos, fórmulas y resolución de problemas cuantitativos.
- instrucción basada en clases en cursos presenciales o (en las últimas 3 a 4 décadas) en línea que se enfocan en materias individuales.
- finalización individual de tareas.
- tecnología educativa basada, casi en su totalidad, en conferencias grabadas, presentaciones de pantalla y presentaciones de diapositivas.
- instrucción del curso a cargo de doctores investigadores con poca o ninguna formación en docencia.

El paradigma emergente proporciona un mayor equilibrio entre los elementos del paradigma tradicional y

- organización inductiva del plan de estudios y del curso (comenzando con fenómenos y desafíos del mundo real y determinando los principios y teorías que subyacen a los fenómenos y los métodos que se pueden usar para abordar dichos desafíos).
- cobertura de habilidades profesionales (p. ej., pensamiento crítico y creativo, comunicación y trabajo en equipo), y conexiones explícitas entre múltiples asignaturas y disciplinas.
- objetivos de aprendizaje (declaraciones explícitas de tareas observables que los estudiantes deberían poder completar si han adquirido el conocimiento y las habilidades que el profesor intenta enseñar) que guían el diseño y las actividades de clase, las asignaciones y las pruebas.
- participación activa de los estudiantes en actividades de clase y tareas y proyectos de equipo.
- diseño instruccional basado en investigación educativa replicable y en ciencia cognitiva
- tecnología educativa que hace uso de breves fragmentos de clases grabadas, tutoriales multimedia, simulaciones de procesos y participación activa de los estudiantes con los profesores y compañeros de clase.

- profesores con experiencia y habilidad sustanciales en investigación disciplinaria y/o pedagogía disciplinaria y/o experiencia pedagógica, todos los cuales han recibido alguna capacitación en enseñanza.

Los elementos del paradigma emergente eran rarezas en la educación en STEM hace medio siglo, pero su incidencia ha ido en constante aumento y cada vez más investigaciones han demostrado su superioridad sobre sus contrapartes tradicionales para promover los resultados de aprendizaje más deseables. Algunos de los elementos ya son comunes en la educación en STEM, sobre todo la participación activa de los estudiantes, sin duda debido en gran medida, a la abrumadora cantidad de investigaciones que respaldan la efectividad de ese enfoque. La eventual inclusión de la mayoría de los elementos restantes en la práctica habitual en la educación en STEM es casi inevitable.

## Referencias

- Ambrose, S. A., Bridges, M. W., DiPietro, M., Lovett, M. C., & Norman, M. K. (2010). *How learning works: Seven research-based principles for smart teaching*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Arbaugh, J., Godfrey, M., Johnson, M., Pollack, B., Nien-dorf, B., & Wresch, W. (2009). Research in online and blended learning in the business disciplines: Key findings and possible future directions. *Internet and Higher Education*, 12, 71-87.
- Association of American Colleges and Universities. (2015). Falling short? College learning and career success. Retrieved from <https://www.aacu.org/leap/public-opinion-research/2015-survey-falling-short>
- Bernard, R. M., Borokhovski, E., Schmid, R. F., Tamim, R. M., & Abrami, P. C. (2014). A meta-analysis of blended learning and technology use in higher education: From the general to the applied. *Journal of Computing in Higher Education*, 26(1), 87-122.
- Boice, R. (1992). *The new faculty member*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Boice, R. (2000). *Advice for new faculty members*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Brennan, J. (2021). *Engaging learners through Zoom: Strategies for virtual teaching across disciplines*. Hoboken, NJ: Jossey-Bass.
- Brent, R., & Felder, R. M. (1998). The new faculty member. *Chemical Engineering Education*, 32(3), 46-47. Retrieved from <https://tinyurl.com/NewFacMember>
- Brent, R., Felder, R. M., & Rajala, S. A. (2006). Preparing new faculty members to be successful: A no-brainer and yet a radical concept. *Proceedings of the 2006 Annual ASEE Meeting*. Washington, DC: ASEE. Retrieved from <https://tinyurl.com/NewFacPrep>

- Brown, P. C., Roediger, H. L., & McDaniel, M. A. (2014). *Make it stick: The science of successful learning*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Bruff, D. (2020). Active learning in hybrid and physically distanced classrooms. Nashville, TN: Vanderbilt Center for Teaching and Learning. Retrieved from <https://cft.vanderbilt.edu/2020/06/active-learning-in-hybrid-and-socially-distanced-classrooms/>
- Felder, R. M. (2006). A whole new mind for a flat world. *Chemical Engineering Education*, 40(2), 96–97. Retrieved from <https://tinyurl.com/r-WholeNewMind>
- Felder, R. M., & Brent, R. (n.d.-a) Introduction to learning objectives (online tutorial on learning objectives and self-test on its contents). Retrieved from <https://tinyurl.com/LearningObjectivesIntro>
- Felder, R. M., & Brent, R. (n.d.-b) Active learning: An introduction (online tutorial on active learning and self-test on its contents). Retrieved from <https://tinyurl.com/ActiveLearningIntro>
- Felder, R. M., & Brent, R. (2007). Cooperative learning. In P. A. Mabrouk (Ed.), *Active learning: Models from the analytical sciences*, ACS Symposium Series 970, Chapter 4. Washington, DC: American Chemical Society. See <https://tinyurl.com/CooperativeLearningChapter>
- Felder, R. M., & Brent, R. (2010). Hard assessment of soft skills. *Chemical Engineering Education*, 44(1), 63–64. Retrieved from <https://tinyurl.com/SoftSkillsAssessment>
- Felder, R. M., & Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM: A practical guide*. San Francisco: Jossey-Bass. See <https://educationdesignsinc.com/book/>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. Retrieved from <http://www.pnas.org/content/111/23/8410>
- Hart Research Associates. (2015). *Falling short: College learning and career success*. Washington, DC.: AACU. Retrieved from <https://www.aacu.org/sites/default/files/files/LEAP/2015employerstudentsurvey.pdf>
- Herman, A. (2019). America's STEM crisis threatens our national security. *American Affairs*, 3(1). Retrieved from <https://americanaffairsjournal.org/2019/02/americas-stem-crisis-threatens-our-national-security/>
- Hodges, L. C. (2015). *Teaching undergraduate science: A guide to overcoming obstacles to student learning*. Sterling, VA: Stylus.
- Jaggars, S. M., & Xu, D. (2016). How do online course design features influence student performance? *Computers and Education*, 95, 270–284.
- Kauffman, H. (2015). A review of predictive factors of student success in and satisfaction with online learning. *Research in Learning Technology*, 23, Retrieved from <https://journal.alt.ac.uk/index.php/rlt/article/view/1648>
- Ko, S., & Rossen, S. (2017). *Teaching online: A practical guide* (4th ed.). New York: Routledge.
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Baki, M., & Jones, K. (2010). *Evaluation of evidence based practices in online learning: A meta analysis and review of online learning studies*. Washington, DC: U.S. Department of Education.
- Nilson, L. B., & Goodson, L. A. (2018). *Online teaching at its best: Merging instructional design with teaching and learning research*. San Francisco: Jossey Bass.
- Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138. Retrieved from <https://tinyurl.com/2006-InductiveTeaching>
- Prince, M. J., Felder, R. M., & Brent, R. (2020). Active student engagement in online STEM classes: Approaches and recommendations. *Advances in Engineering Education*, 8(4). Retrieved from <https://advances.asee.org/active-student-engagement-in-online-stem-classes-approaches-and-recommendations/>
- Sun, A., & Chen, X. (2016). Online education and its effective practice: A research review. *Journal of Information Technology Education: Research*, 15, 157–190. Retrieved from <http://www.informingscience.org/Publications/3502>
- Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., . . . & Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476–6483. Retrieved from <https://www.pnas.org/content/117/12/6476>
- Weimer, M. (2013). *Learner-centered teaching: Five key changes to practice* (2nd ed.). San Francisco: Jossey-Bass.

## SOBRE EL AUTOR:

**Richard M. Felder.** Hoechst Celanese Professor Emeritus of Chemical Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA. Email: [rmfelder@mindspring.com](mailto:rmfelder@mindspring.com). Web site: [https://www.ncsu.edu/effective\\_teaching](https://www.ncsu.edu/effective_teaching).

## SOBRE EL TRADUCTOR:

**Uriel R. Cukierman.** Profesor e investigador en la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina. Email: [uriel@cukierman.name](mailto:uriel@cukierman.name). Sitio web: <https://www.cukierman.name>