

Enseñando ciencias científicamente

Carl Wieman, Universidad de Stanford, California, Estados Unidos, y Sarah Gilbert, Iniciativa de Educación Científica Carl Wieman en la Universidad de Columbia Británica, en Vancouver, Canadá. ● ● El desarrollo de pericia requiere de una práctica intensa que incluye realizar tareas desafiantes y relevantes que de manera explícita practican el razonamiento y la manera de tomar decisiones utilizadas por los científicos que trabajan en temas relevantes, seguidos de realimentación y reflexión de su rendimiento. Cuando este tipo de prácticas se implementan en clase, se logran grandes mejoras en el aprendizaje en comparación con la enseñanza de manera tradicional.

Los recientes avances importantes en el campo de la psicología cognitiva, la investigación del cerebro y la investigación de educación basada en la disciplina en cursos universitarios de ciencias, están brindando los principios guías para lograr el aprendizaje de conocimientos y habilidades complejas, tales como la pericia en ciencias. En este artículo describimos la naturaleza de la pericia, principalmente basada en los resultados de la psicología cognitiva. También damos ejemplos de estudios en cursos universitarios de ciencias, y los resultados de estos estudiantes en comparación con estudiantes bajo instrucción tradicional.

La naturaleza y el desarrollo de la pericia

El aprender a pensar en las ciencias y utilizarlas en la toma de decisiones en situaciones relevantes más como un científico es una de las metas básicas de la educación en la mayoría de los cursos universitarios de ciencias. Pero ¿qué exactamente significa “pensar como un científico”? o, en otras palabras, ¿qué es la pericia científica?

Los psicólogos cognitivos han estudiado ampliamente la pericia en una variedad de disciplinas, incluyendo historia, ciencias y ajedrez. Ellos encuentran tres componentes comunes en las tres áreas siguientes:

- | | |
|--|---|
| <p>1. Alto volumen de conocimientos especializados</p> | <p>Aun cuando el primer componente no es ninguna sorpresa, el poseer mucha información no le sirve a una persona si no sabe reconocer rápidamente cómo usarla para resolver un problema en particular.</p> |
| <p>2. Marco mental organizacional específico, que es único en el campo de la pericia</p> | <p>Los expertos organizan la información en marcos únicos específicos de la disciplina, para su aplicación eficiente y certera. Esta práctica incluye agrupar la información con base en ciertos patrones y relaciones complejas. Mucho de lo que se conoce como conceptos científicos son la forma en que los expertos en un campo de las ciencias utilizan un marco para unir grandes cantidades de información dentro de una misma categoría, para decidir rápidamente en dónde esta información es relevante.</p> |
| <p>3. Habilidad de monitorear el pensamiento y aprendizaje propio en el campo de la pericia</p> | <p>Mientras trabaja con un problema, el científico regularmente se pregunta: ¿está funcionando este abordaje? ¿y de verdad estoy entendiendo? Los expertos tienen los recursos para contestar estas preguntas y modificar lo que están haciendo respectivamente.</p> |



Carl Wieman es profesor de Física y Educación en la Universidad de Stanford. Anteriormente estuvo en las universidades de Colorado y de Columbia Británica. Ha realizado una amplia investigación tanto en física atómica (Premio Nobel 2001) como en educación de ciencias a nivel universitario. Graduado en Ciencias en la Universidad Tecnológica de Massachusetts MIT (1973) y con un Doctorado (Ph.D.) en la Universidad de Stanford (1977). Recientemente publicó el libro “Improving How Universities Teach Science”(Mejoramiento como universidades que enseñan Ciencias).



Sarah Gilbert se graduó en Ciencias de la Universidad de Hawaii (1978) y obtuvo un Doctorado (Ph.D.) en Física en la Universidad de Michigan (1984). Fue investigadora y posteriormente líder de grupo en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología en Boulder, Colorado (1985-2006). Seguidamente fue nominada Directora Asociada en la Iniciativa de Educación Científica Carl Wieman de la Universidad de Columbia Británica donde se desempeña actualmente como Asesora Sénior de la Facultad de Ciencias.



La pericia requiere de práctica deliberada

La investigación demuestra que para poder alcanzar un alto nivel de pericia se requiere de miles de horas de práctica intensa. Este requisito es impuesto por la biología. El cerebro cambia a través de la práctica intensa. Se modifican las conexiones de las neuronas, y es en este cerebro “reconectado” que se presentan las capacidades del experto. De la misma manera que un músculo se desarrolla como consecuencia del ejercicio intensivo, así el cerebro responde y mejora con este “ejercicio mental” intensivo.

Aunque un curso individual no conlleva la suficiente práctica para que un individuo se convierta en experto, debería estar diseñado para que lo mueva hacia la pericia.

Además de identificar los componentes genéricos de la pericia, la investigación psicológica cognitiva también identificó un proceso común requerido para desarrollar pericia, llamado práctica deliberada (Ericsson, Krampe and Tesch-Romer 1993). La misma envuelve muchas horas de práctica intensiva, pero con características muy específicas. Debe incluir tareas complejas para los estudiantes, que demanden su total atención y su mayor esfuerzo para resolverlas, pero que aun así sean realizables. Las tareas deben exigir la práctica específica de los componentes de la pericia a aprender; en otras palabras, practicar los procesos de decisión de los expertos en su trabajo. Finalmente, debe haber una realimentación específica y oportuna, generalmente de un coach o un profesor, sobre el resultado del estudiante y cómo mejorar, seguida de una reflexión del estudiante respecto a cómo aplicar esta guía para esfuerzos futuros.

Componentes de la pericia científica

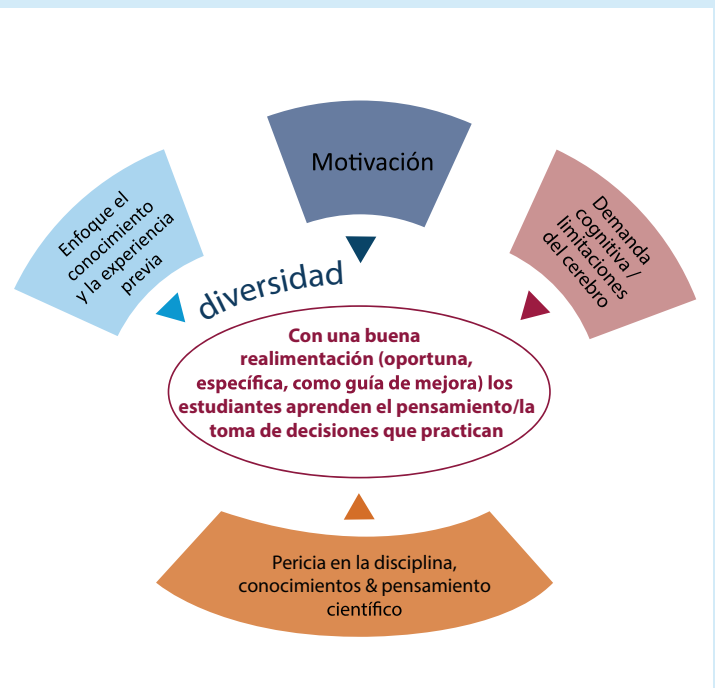
Algunos ejemplos de componentes específicos de la pericia en cualquier campo de la ciencia son, entre otros:

- Reconocer y utilizar conceptos y modelos mentales para la solución de un problema específico, y desarrollar criterios de selección sofisticados para decidir cuándo son aplicables ciertos modelos específicos y cuándo no.
- Distinguir entre información relevante e información irrelevante para la solución de un problema.
- Conocer y aplicar una serie de criterios para evaluar si tiene sentido un resultado o una conclusión.
- Moverse de manera fluida entre representacio-

nes especializadas ya sea en forma de gráficas, ecuaciones o diagramas especializados para obtener nuevos puntos de vista.

- Tener una serie de criterios para evaluar si tiene sentido cierto resultado o conclusión.

Seleccionamos estos ejemplos en particular porque casi no se practican con realimentación en los típicos cursos universitarios de ciencias.



Gráfica 1: el diseño de tareas de práctica requiere de pericia en la disciplina y pericia en la enseñanza

Gráfica 1. El ovalo en el centro representa la práctica con realimentación del pensamiento experto, en el cual debe estar sumido el estudiante. Sin embargo, la investigación demuestra que, para el diseño y el soporte apropiado de esta práctica, es necesario considerar una serie de elementos. Entre estos se incluyen los conocimientos y creencias anteriores del estudiante, su motivación para realizar la tarea (que dependerá de la naturaleza de la tarea y de lo que ellos consideren interesante y valioso) y las limitantes del cerebro de prestar atención y recordar solamente un pequeño número de cosas nuevas a la vez. Por último, el diseño de las tareas de práctica debe estar guiado por la manera en la cual los científicos piensan y resuelven problemas.

La persona instructor debe contar con amplia pericia en su disciplina

Un(a) profesor(a) altamente eficiente maximiza la cantidad y la efectividad de práctica deliberada realizada por sus estudiantes. Este papel les exige tener sustancialmente más experticia en contenido que una enseñanza tradicional por clases. Los profesores deben contar con amplia pericia en sus respectivas disciplinas, para diseñar tareas que ofrezcan una auténtica práctica de habilidades de experticia, a un nivel apropiado de desafío para sus estudiantes.



Clase con un grupo grande, con aprendizaje activo.

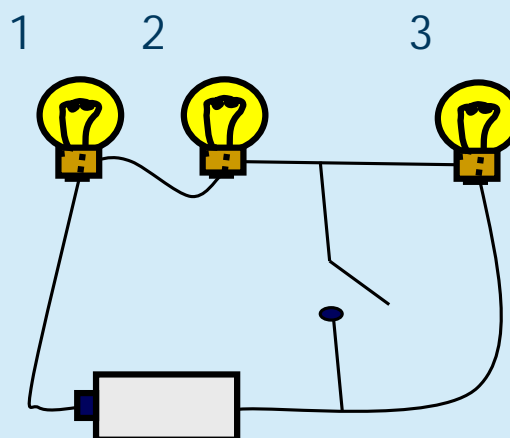
La persona docente, además, debe contar con experticia sustancial en contenido, para ofrecer una realimentación específica acerca del rendimiento de sus estudiantes en la solución de las tareas y de cómo mejorar ese rendimiento. Y, por último, dado que este tipo de práctica conlleva un arduo trabajo, requiere de mucha motivación.

Una persona experta en el tema tiene una posición única para brindar esta motivación, transmitiendo la importancia y la emoción de la materia. La Gráfica 1 muestra elementos importantes que el profesor necesita incorporar en una tarea para promover la práctica deliberada.

Ejemplo de implementación de práctica

¿Cómo se puede implementar en el salón de clases esta “práctica de pensar como científico con realimentación específica oportuna para mejorar el pensamiento”? Mostraremos el caso de una clase de introducción a la física impartida a un grupo grande (300 estudiantes), en un auditorio. Primero, a los estudiantes les es asignada una corta lectura específica, previa a la clase. La intención es proveerles con anticipación cierta información básica sobre fenómenos y terminología, para dedicar el tiempo de la clase a actividades más útiles. Se practica un corto quiz en línea, para valorar si realizaron la lectura y premiarles por ello. La clase gira en torno a su tra-

bajo con una serie de preguntas. La primera serie se presenta en la Gráfica 2. En el orden de los bombillos y la batería se les pide predecir lo que sucede cuando el interruptor está apagado.



Cuando se cierre el interruptor, el bombillo 2:

- Se mantiene con el mismo brillo
- Irradia más brillo
- Irradia menos brillo
- Se apaga

Gráfica 2. La primera de una serie de preguntas sobre circuitos eléctricos que deben resolver los estudiantes de un curso introductorio de física. Los estudiantes contestan individualmente, luego discuten con los demás y vuelven a valorar su respuesta.

Cada estudiante tiene un dispositivo de respuesta personal (un clicker o una aplicación en el celular) que le permite realizar su elección, y mi computadora registra quién fue y qué respondió. En una clase tan grande como esta, la tecnología amplifica la capacidad del instructor, asegurando la participación de todos los estudiantes y dando al instructor una realimentación inmediata de lo que están pensando. El exigir a los estudiantes una respuesta que pueden argumentar, los hace pensar más intensamente que si no se registra ninguna de sus respuestas, lo cual los prepara mejor para aprender de las actividades siguientes.

Sin mostrarles el resultado de la votación, el profesor les dará la instrucción de intercambiar respuestas y argumentos con el estudiante a su lado, y luego volver a votar. Mientras realizan estas conversaciones, el instructor camina entre los pasillos del aula y escucha a los estudiantes, dándose cuenta de lo que sucede en sus cerebros, e identificar cuáles aspectos en sus razonamientos son de físicos y cuáles no.



Explicar algo a otra persona implica aprendizaje

Muchos instructores piensan que este tipo de discusiones solamente promueve que los estudiantes más preparados transmitan sus conocimientos a los menos preparados, pero esto no es correcto. El proceso de explicarle algo a otra persona (o inclusive prepararse para enseñarle a otra persona) envuelve otro tipo de procesamiento cognitivo del material, que a su vez implica un aprendizaje. Este aprendizaje a través de la enseñanza ha sido estudiado ampliamente por científicos en preparación (Schwartz, Tsang and Blair 2016, Chap. T). El proceso de criticar la explicación de otros provee también una práctica valiosa

de otros procesos cognitivos. Después de la segunda votación, el instructor dará a los estudiantes una demostración de lo que pasó y luego dirigirá una discusión abierta entre todos. La discusión brindará realimentación sobre cuáles modelos y argumentos eran correctos, cuáles incorrectos y el porqué. Esto último es particularmente importante. Los estudios demuestran que simplemente aprender que se está equivocado y cuál es la respuesta correcta, no genera ningún aprendizaje. El aprendizaje es mayor cuando se entiende qué estuvo incorrecto en el modo de analizar y cómo efectuar un cambio para mejorar.

¿Cómo están practicando pensar como físicos los estudiantes en esta actividad?

Están formulando, aplicando y probando modelos conceptuales de electricidad y de cómo éstos hacen que el bombillo se ilumine. Están viendo con ojo crítico sus argumentos físicos y a la vez los de sus compañeros, lo cual son procesos cognitivos de un físico. Mientras lo realizan, reciben diferentes formas de realimentación que mejora su pensamiento: viene de los demás estudiantes, de su comparación entre su propia predicción y lo que actualmente se revela en la demostración, y del instructor, quien está bien informado acerca de su forma de pensar – mucho más que alguien dictando una clase tradicional.



● ● Seminario de **Formación de equipos**



Clima laboral y mejora de servicios



Liderazgo situacional y articulación



Soluciones que solo se logran en conjunto

Para mayor información del Seminario de Formación de Equipos, comunicarse

☎ + (506) 2102-0199 o 2292-7054 ✉ info@metaaccion.com 🌐 metaaccion



Evidencias científicas de cursos

Los investigadores de educación de ciencias de la física, biología, química y otras disciplinas, han realizado más de 1000 estudios con estos métodos de aprendizaje activo con clases tradicionales, midiendo el aprendizaje que se lleva a cabo. Ellos han concluido que hay una constante de mayor aprendizaje; especialmente en aquellas preguntas dirigidas a qué tan bien están aprendiendo los estudiantes a tomar decisiones como expertos en la disciplina, hay menor escala de fracaso. Por último, aunque todos los estudiantes se benefician, son aquellos con mayor riesgo de fallar quienes, por varias medidas, tienden a beneficiarse más. El meta-análisis por Freeman y otros (Freeman, et al. 2014) indica que los beneficios son muy similares en todas las disciplinas, como ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM disciplines, por sus siglas en inglés), y en todos los niveles.

Curso de introducción a la física de la Universidad Politécnica Estatal de California

Aquí hay varios ejemplos de estudios en relación con el aprendizaje de estudiantes de cursos de ciencias a nivel de bachillerato universitario. El primero viene de un estudio conducido por Chance Hoellwarth y Matthew Moelter en un curso de introducción a la física de la Universidad Politécnica Estatal de California. El estudio abarca varios profesores de física a lo largo de varias secciones, y se enfocó en la cantidad de aprendizaje antes y después de que estos mismos profesores cambiaran sus métodos de enseñanza (Hoellwarth and Moelter 2011).

Hoellwarth y Moelter utilizaron una prueba de inventario de conceptos, validada y comúnmente utilizada para medir la ganancia en aprendizaje de los conceptos básicos abarcados en el curso. La ganancia en aprendizaje es una medida del monto fraccional que un estudiante mejora entre su calificación del curso previo y el curso posterior, en una prueba. Una ganancia de 1 significa una nota perfecta en la prueba posterior. Hoellwarth y Moelter coleccionaron este tipo de datos para estudiantes durante un sinnúmero de años, mientras los cursos se dictaban utilizando la instrucción tradicional. La ganancia promedio de aprendizaje fue poco menos de 0.3, lo cual era típico para un curso bien dado de introducción a la física.

Luego, todos los profesores se pasaron a un planteamiento tipo “estudio”, en el cual los estudiantes trabajaban en grupos pequeños para desarrollar una serie de tareas minuciosamente escogidas, con los instructores como facilitadores y coaches. Este cambio provocó que aumentara la ganancia de aprendizaje al doble (0.6). Queremos enfatizar en que

este cambio ocurrió en el mismo grupo de instructores al modificar sus métodos de enseñanza, después de lo cual sus estudiantes habían aprendido muchos más de los conceptos abarcados.

El estudio de Hoellwarth y Moelter observó los resultados finales de los estudiantes que matricularon cursos completos. Sin embargo, mucho del aprendizaje ocurre fuera de clase mientras se hacen tareas o se estudia para exámenes, por ejemplo. Esto genera las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuánta diferencia hacen los métodos de enseñanza basados en investigación, en el aprendizaje que sucede solo en clase? ¿Cuál es el foco más importante de atención de la mayoría de los instructores?

Comparación científica de rendimiento de aprendizaje en Universidad de Columbia Británica

Este componente del aprendizaje durante la clase fue medido (por uno de nosotros [CW] y los colaboradores) en dos secciones grandes (270 estudiantes cada una de un curso de introducción a la física, matriculado por todos los estudiantes de ingeniería de la Universidad de Columbia Británica. L. Deslauriers y E. Schelew (Deslauriers, Schelew and Wieman 2011). Este estudio también valoró la preocupación creciente de que es imposible cubrir tanto material en un curso de aprendizaje activo como en uno de instrucción tradicional.

Antes de este experimento, se midieron cuidadosamente los rendimientos de los estudiantes en dos secciones separadas y se determinó que el resultado fue casi idéntico. De esta manera, dentro del marco de error estadístico mínimo dentro de estos grupos tan grandes, los resultados de las pruebas sobre su conocimiento de conceptos, actitudes ante la física, participación y compromiso en clase fueron casi idénticas.

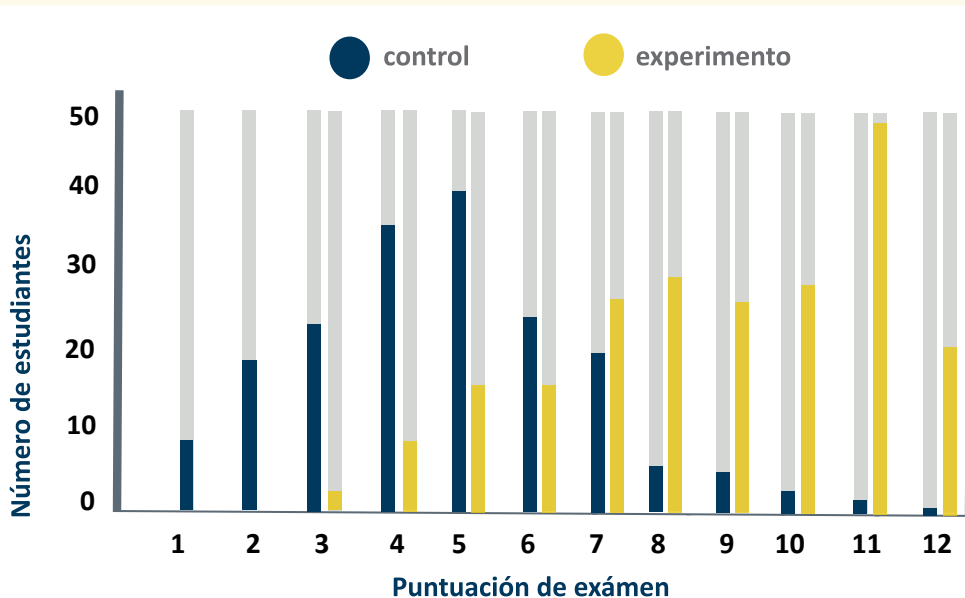
Una clase tuvo como instructor a un profesor experto de muchos años de experiencia quien muchas veces obtuvo buenas evaluaciones de sus estudiantes. Otro grupo, a manera de experimento fue instruido durante una semana por alguien con un doctorado en física con poca experiencia en la enseñanza, pero entrenado en los principios del aprendizaje y prácticas de enseñanza del programa que ofrecíamos.

Ambos profesores se pusieron de acuerdo en la misma serie de objetivos a cubrirse en el mismo periodo de clases. Se determinó el tiempo para el experimento de tal manera que los estudiantes tuvieran poco tiempo para estudiar fuera de la clase durante la semana del experimento.

El instructor de la sección experimental utilizó una serie de medidas propias de la enseñanza basada en investigación. A los estudiantes les fueron asignadas lecturas breves antes de clase y se les realizó un quiz sobre la lectura. Durante la clase se les indicó responder ciertas preguntas, con marcadores o rellenando hojas de trabajo. Este proceso envolvió a cada estudiante en trabajo individual y en discusiones con sus vecinos, mientras el instructor pasaba entre las filas, escuchando las conversaciones. El instructor habló también algo, pero más durante la discusión siguiente, no antes. Por lo tanto, los estudiantes estaban practicando el pensamiento científico y recibiendo realimentación de sus compañeros y luego de un instructor informado.

Después de este experimento de una semana, se aplicó un quiz sin previo aviso a los estudiantes, al inicio de la siguiente clase, desarrollado en conjunto por ambos profesores para probar el dominio de los objetivos de aprendizaje de la semana del experimento. La diferencia de rendimiento entre la sección de control y la de experimento fue muy grande – variaciones estándar de 2.5 – y se evidencia en toda la distribución ascendente (gráfica 3). Este resultado refleja también que estos métodos de enseñanza no benefician solo a un subgrupo de estudiantes, sino son un beneficio mayor para

todos los estudiantes. Esta amplitud de aplicación no es de sorprender, ya que los métodos de enseñanza están basados en investigación sobre cómo aprende el cerebro humano. En este estudio también se midió el nivel de compromiso de los estudiantes, y, como es de esperar, fue mucho más alto (85%) en la sección experimental que en la sección de control (45%). Hay muchos otros estudios que muestran resultados de compromiso



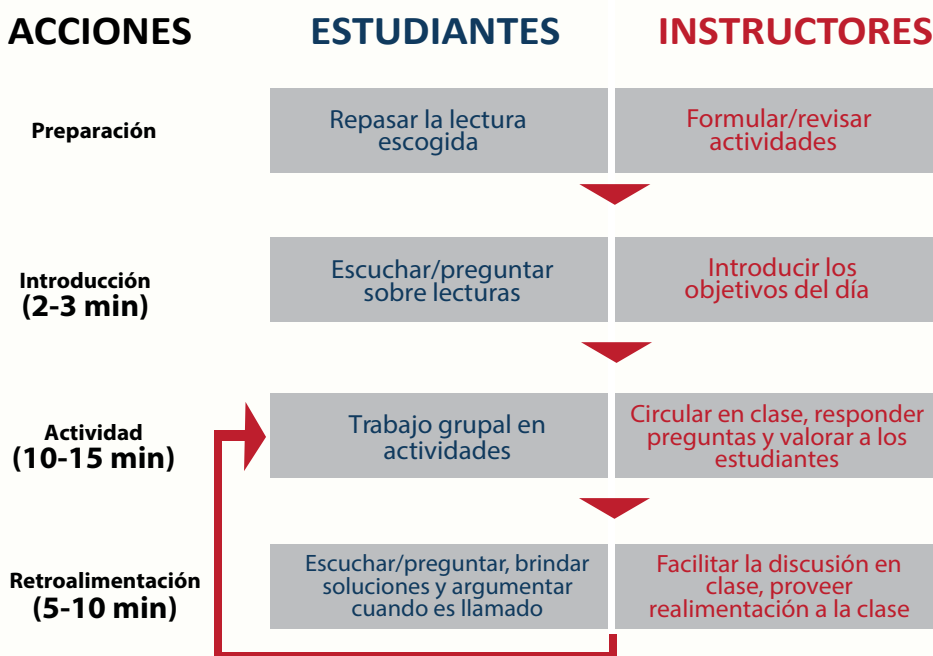
Gráfica 3. Resultados de los exámenes de estudiantes de un curso de introducción a la física, utilizando el método de enseñanza tradicional (control), contra estudiantes instruidos bajo técnicas de compromiso interactivo (experimento). Adivinar les hubiera dado una nota de 3. (Adaptado de L. Deslauriers et al., Science 332:862–864, 2011.)

similares.

Cursos avanzados en la Universidad de Columbia Británica (UBC) y Stanford

Durante los últimos 30 años, varios estudios han demostrado los beneficios de la enseñanza basada en investigación en los cursos de introducción de las materias de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), pero mucho menos investigación se ha realizado en los cursos más avanzados. En los últimos años esta tendencia ha ido cambiando, siendo nuestro

grupo de investigación uno de los principales contribuyentes. Nosotros, y otros varios, hemos adoptado estos



Gráfica 4. Línea de tiempo de un curso de física avanzada en una clase de aprendizaje activo.

mismos principios en algunos cursos de la carrera de física en las universidades de Colorado y Columbia Británica, y en 8 diferentes cursos en la Universidad de Stanford. Estos cursos son más pequeños (20 a 80 estudiantes) y envuelven actividades altamente matemáticas típicas de la física avanzada. El formato más sencillo ha sido que los estudiantes trabajen con hojas de trabajo, lo cual les obliga a realizar cálculos y análisis en pequeños grupos de dos o cuatro, mientras que el instructor circula por el aula como un coach. Regularmente, el instructor reúne a la clase para una discusión entre todos, dar realimentación y mantener a los estudiantes razonablemente sincronizados. Una descripción detallada del diseño y la orquestación de una clase de este tipo se encuentra en Jones et al.

(Jones, Madison and Wieman 2015), y la línea de tiempo para una clase típica se muestra en la **Gráfica 4**.

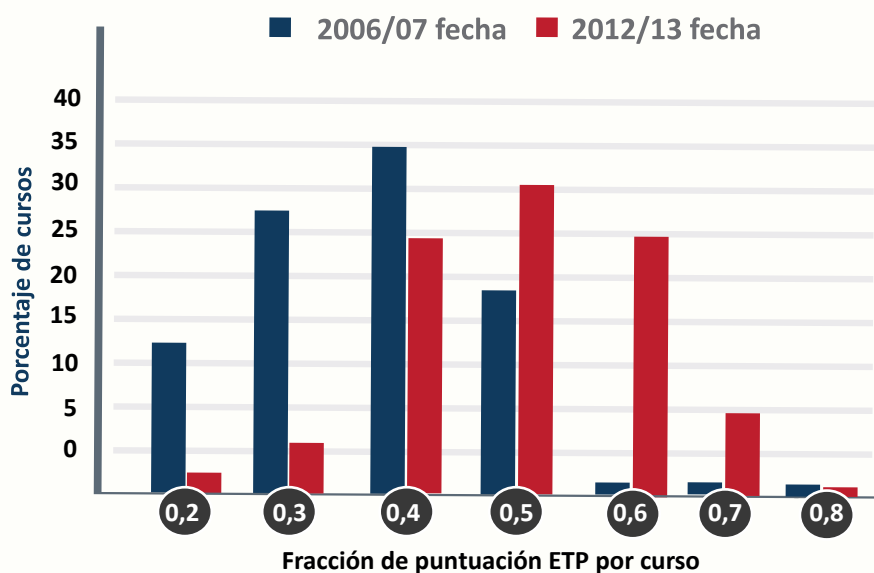
Esta manera de enseñanza es por mucho más satisfactoria

Estas clases han demostrado una mejora en el aprendizaje, y particularmente en Stanford observamos resultados adicionales muy interesantes. Primero, la participación en clase subió marcadamente de un promedio usual de 50-60% a un 90% por todo el periodo. Segundo, los estudiantes aprobaron de forma vehemente este tipo de enseñanza. En una encuesta anónima, el 90% de los comentarios fueron favorables, a veces extremadamente favorables, solicitando que todos los cursos de física se enseñaran de esta forma, con solamente un 4% de comentarios negativos. En estos cursos, así como con los más de 200 profesores que transformaron su método de enseñanza en los programas que ofrecimos en la Universidad de Colorado y en la Universidad de Columbia Británica, la gran mayoría de la facultad encontró que esta manera de enseñanza es por mucho más satisfactoria, y dijeron que no iban a regresar a la manera tradicional de impartir sus clases.

Estos son solo algunos ejemplos. Existe amplia literatura sobre estudios similares a través de las disciplinas de las ciencias e ingenierías, las cuales brindan evidencia devastadora

sobre como el planteamiento de una enseñanza interactiva es mucho más efectiva que la instrucción tradicional para lograr el aprendizaje de sujetos complejos.

Hemos trabajado para implementar a mayor escala este modelo de enseñanza basada en investigación, a través de las Iniciativas de Educación Científica en la Universidad de Colorado y la Universidad de Columbia Británica. Estos programas sobre un cambio en la enseñanza a gran escala, y cómo se llegó hasta ahí, se discuten en detalle en el libro de Wieman “Improving How Universities Teach Science” (Mejorando cómo las universidades enseñan ciencias) (C. Wieman 2017).



Gráfica 5. Fracción de puntuación de prácticas basadas en investigación, en un departamento de ciencias en la Universidad de Columbia Británica en los periodos académicos 2006-2007 y 2012-2013. El puntaje es la fracción de la puntuación máxima posible basada en una sub-serie de 40 preguntas comunes en ambas versiones del inventario de prácticas de enseñanza. (Adaptado de Wieman y Gilbert, 2014)

Inventario de prácticas de enseñanza

Uno de los resultados clave de este trabajo fue la necesidad de encontrar una mejor manera de evaluar la enseñanza – una manera que reconociera y apoyara las prácticas de enseñanza que la investigación comprobó que generaban un mayor aprendizaje. En respuesta a esta demanda

desarrollamos el [“Inventario de Prácticas de Docencia” \(CVSEI 2018\)](#). Solo requiere unos diez minutos llenarlo para un curso y provee una caracterización de cómo enseñar un curso, mucho más detallada de la que ninguna otra universidad está obteniendo. Aunque esto es altamente informativo, también permite medir el grado en que mejora el aprendizaje con el uso de las prácticas de enseñanza demostradas por la investigación (Wieman and Gilbert 2014). La gráfica 5 muestra cómo las prácticas de enseñanza cambiaron durante la Iniciativa de Educación de Ciencias. El inventario puede ser igualmente aplicado a todo tipo de tamaños o niveles de cursos, y puede guiar y medir la mejora. Por lo tanto, consideramos que su adopción, o algo equivalente, es un paso necesario para apoyar la aceptación de más métodos efectivos basados en investigación por parte de colegios y universidades. Al alcanzar una amplia implementación, los estudiantes tendrán la posibilidad de aprender de manera más efectiva y profunda, cambiando de manera importante la educación que reciben.

REFERENCIAS

CWSEI. 2018. Inventario de Practicas de Docencia. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

CWSEI. 2018. Inventario de Practicas de Docencia. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Deslauriers, Louis, Ellen Schelew, and Carl Wieman. 2011. "Improved Learning in a Large Enrollment Physics Class." *Science* 332 (6031): 862-864. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Ericsson, K A, R T Krampe, and C Tesch-Romer. 1993. "The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance." *Psychological Review* 100 (3): 363-406. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Freeman, Scott, Sarah L Eddy, Miles McDonough, Michelle K Smith, Nnadozie Okoroafor, Hannah Jordt, and Mary Pat Wenderoth. 2014. "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (23): 8410-8415. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Hoellwarth, Chance, and J. Matthew Moelter. 2011. "The implications of a robust curriculum in introductory mechanics." *American Journal of Physics* 79 (5): 540-545. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Jones, David J, Kirk W Madison, and Carl E Wieman. 2015. "Transforming a fourth year modern optics course using a deliberate practice framework." *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 11 (020108): 1-16. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Schwartz, Daniel L, Jessica M Tsang, and Kristen P Blair. 2016. *The ABCs of How We Learn*. New York: W.W. Norton & Company. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Wieman, C, and S Gilbert. 2014. "The Teaching Practices Inventory: A New Tool for Characterizing College and University Teaching in Mathematics and Science." *CBE-Life Sciences Education* 13 (3): 552-569. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Wieman, Carl. 2017. *Improving How Universities Teach Science: Lessons from the Science Education Initiative*. Cambridge: Harvard University Press. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

RECURSOS ADICIONALES

Ambrose, S., M. Bridges, M. DiPietro, M. Lovett, and M. Norman. 2010. *How Learning Works: Seven Research-Based Principles for Smart Teaching*. San Francisco: Wiley. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

Carl Wieman Science Education Initiative (CWSEI). Instructor resources, references, effective clicker use booklet, and videos. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

D. Schwartz, J. Tsang, and K. Blair. 2016. *The ABCs of How We Learn*. New York: W.W. Norton & Company. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)

A. Ericsson and R. Poole. 2016. *Peak: Secrets from the New Science of Expertise*. New York: Eamon Dolan/Houghton Mifflin Harcourt. [Acceso nov 19, 2018. >>](#)