

Artículo especial

HABILIDADES DEL SIGLO XXI EN EDUCACIÓN EN QUÍMICA. Promoviendo el pensamiento crítico sobre el conocimiento y los métodos en química

Sibel Erduran

Universidad de Oxford, Reino Unido

Email: sibel.erduran@education.ox.ac.uk

Traducción de Teresa Quintero¹ y Germán Hugo Sánchez². ¹Universidad Nacional de Río Cuarto, ²Universidad Nacional del Litoral.

Resumen. En este artículo se transcribe en español la conferencia magistral brindada por la Dra. Sibel Erduran en el marco de la XIX Reunión de Educadores en la Química organizada por la Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina (ADEQRA) y la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) (<https://www.youtube.com/watch?v=jEot8FtLJMs>). En esta conferencia se presentan algunos avances en las investigaciones científicas en el área de la didáctica de las ciencias realizadas en el marco del Proyecto Calibrate focalizando la atención sobre aquellas habilidades que promueven el pensamiento crítico en épocas de desinformación.

Palabras clave. pensamiento crítico, educación de la química, matriz de Brandon, métodos científicos.

21st Century Skills in Chemistry Education: Promoting Critical Thinking about Knowledge and Methods in Chemistry

Abstract. A Spanish transcript of Dr. Sibel Erduran keynote lecture is transcribed in this article. This was a part of the XIX reunion of chemistry educators organized by the Association of Chemistry Educators of the Argentine Republic (ADEQRA) and the Universidad Nacional de Misiones (UNaM) (<https://www.youtube.com/watch?v=jEot8FtLJMs>). In this conference, some research results of the Project Calibrate were presented giving priority to the skills that promote the critical thinking in times of misinformation.

Keywords. critical thinking, chemistry education, Brandon's matrix, scientific methods.

INTRODUCCIÓN

En esta presentación me enfocaré en las habilidades del siglo XXI en la educación en química (figura 1). En particular, me gustaría cuestionar hasta qué punto estamos alentando a los estudiantes a ser críticos sobre el conocimiento y los métodos de la química.

Estoy segura de que no necesito recordarle a nadie que estamos en medio de una pandemia, la que nos demostró la importancia de la ciencia en la vida cotidiana. No solo para el desarrollo de vacunas y medicamentos, sino también para la comprensión pública de aspectos científicos. Hemos visto



que quienes hacen ciencia han estado usando una variedad de métodos científicos para desarrollar estrategias que nos permitan lidiar con la pandemia. Ya sea recopilando datos sobre cómo el virus afecta la respiración de un paciente durante un período de tiempo, produciendo medicamentos o haciendo trabajo experimental con grupos de control.

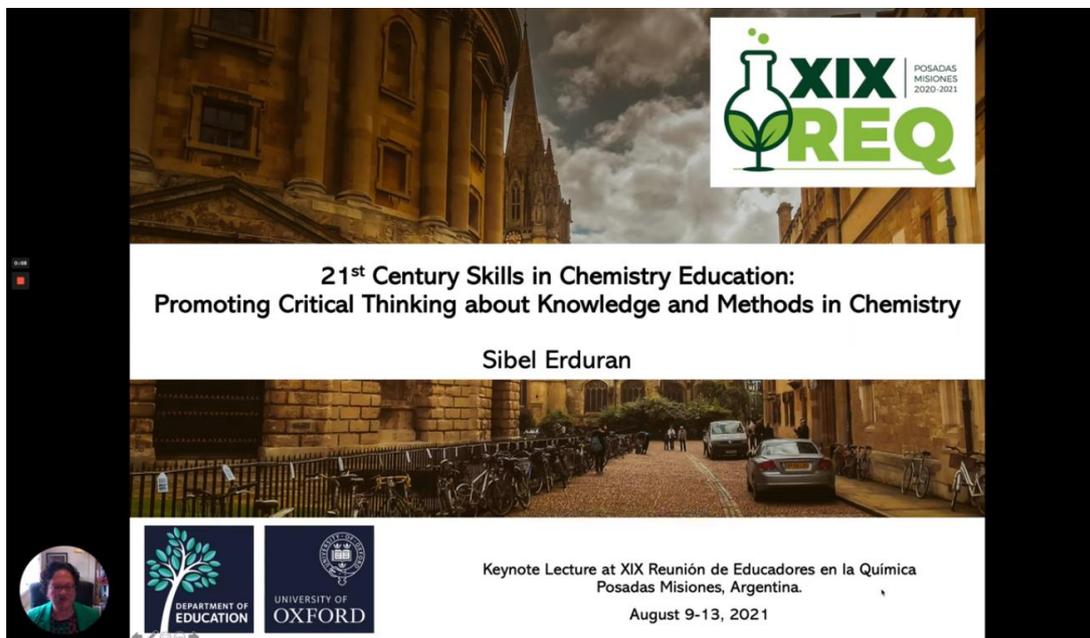


Figura 1. Placa de presentación de la conferencia. Abajo a la izquierda, se puede ver a la conferencista.

Existen diferentes formas de hacer ciencia y la química no es la excepción. Las personas que hacen ciencia, las que hacen química, producen observaciones y experimentos, manipulan variables, o a veces, no manipulan variables y simplemente hacen observaciones. Entonces *¿hasta qué punto estamos incluyendo estrategias para que los estudiantes sean críticos en la ciencia escolar?* Esta es una de las preguntas que voy a plantear en esta presentación. La otra tiene que ver con el contexto en el que nos hemos encontrado, que podría decirse que es **la era de la desinformación**. Ha habido una proliferación de noticias falsas en los medios de comunicación sobre el COVID-19, pero también sobre una amplia gama de temáticas, como las redes móviles 5G, que se estarían difundiendo junto al COVID-19, sobre el cáncer, entre otras temáticas. Esta información errónea ha estado propagando conceptos equivocados sobre el conocimiento científico, desconfianza hacia la ciencia y, en conjunto, apuntan a la falta de comprensión de cómo funciona la ciencia. Considero que no estamos haciendo un trabajo lo suficientemente bueno en equipar a la ciudadanía del futuro para que comprenda cómo funciona la ciencia, cómo se desarrolla el conocimiento en la ciencia y cómo funcionan los métodos de la ciencia. Esta situación es alarmante a nivel mundial.

Hoy me he encontrado con esta noticia en el "Buenos Aires Times", un diario en idioma inglés con noticias de Argentina. Allí se presentó un informe sobre unos desechos industriales que convirtieron un lago patagónico en una laguna rosada. Esto muestra que tenemos problemas

ambientales. Hemos sido testigos de muchas consecuencias del cambio climático: inundaciones, incendios y también que necesitamos energía limpia y renovable. Éstos son problemas bastante complejos que requieren una solución multidisciplinaria, como así también habilidades sofisticadas, habilidades de pensamiento de orden superior. Estos son problemas para los profesionales de la comunidad científica y más aún en las comunidades de matemáticas, de ingeniería, de tecnología, de ciencias, pero también son problemas para el público en general. Si no tenemos suficiente alfabetización, es poco probable que tengamos una ciudadanía informada para que podamos tomar acciones colectivas para resolver estos problemas. Entonces *¿cuáles son los objetivos de la educación en química?* Si vamos a resolver estos problemas, debemos ser capaces de producir ingenieras/os y otras/os profesionales de las STEM (Ciencia-Tecnología-Ingeniería-Matemática) del futuro con las habilidades y el conocimiento adecuados, pero también debemos ser capaces de educar ciudadanas/os bien informados con conocimientos científicos sólidos para que la sociedad pueda funcionar de manera efectiva.

LAS HABILIDADES DEL SIGLO XXI EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Las habilidades del siglo XXI, tales como pensamiento crítico, resolución de problemas, son requeridas en la sociedad y en los lugares de trabajo por educadores, líderes empresariales, académicos y agencias gubernamentales. Ha habido un crecimiento del movimiento internacional que se centra en las habilidades que los estudiantes deben dominar para prepararse para el éxito en sociedades digitales y economías del conocimiento que cambian rápidamente.

Ahora, definir el **pensamiento crítico** puede ser bastante complicado porque hay diferentes perspectivas para abordar este concepto. En general ese término se refiere a las estrategias de procesos mentales y representaciones que la gente usa para resolver problemas, tomar decisiones y aprender nuevos conceptos y, nuevamente, puede haber diferentes enfoques de tradiciones educativas, filosóficas y psicológicas (Sternberg, 1986). Está más allá del alcance de mi presentación entrar en las definiciones específicas del pensamiento crítico. Solo quiero presentar una definición, que es la siguiente, "*el pensamiento crítico es un tipo de pensamiento que tiene un propósito razonado y una meta dirigida a resolver problemas, formular inferencias, calcular probabilidades y tomar decisiones, habilidades que son reflexivas y efectivas para el contexto y tipo particular de la tarea de pensar*" (Halpern, 2002, p.5).

Ahora, hay mucho que desandar y en educación tenemos que empezar por algún lado. Debemos enfocar nuestra discusión sobre qué implica ser críticos, para que podamos ser críticos en el contexto de la educación en química. Bueno, podemos ser críticos sobre el conocimiento químico, podemos ser críticos sobre los métodos. Permítanme tomar el conocimiento y estructurar mi presentación en torno a estos dos temas, podemos ser críticos sobre el conocimiento porque el conocimiento se trata de afirmaciones que están justificadas con evidencia y razones.

¿Qué es el conocimiento?

Cualquier **conocimiento** de química es una colección de afirmaciones que tiene alguna base de evidencia. Aquí, referiré a la literatura en la que hemos estado trabajando sobre argumentación e ilustraré algunos ejemplos de estrategias que hemos desarrollado.

También podemos ser críticos sobre cómo los químicos hacen química, cuáles son los diferentes **métodos** que utilizan, para que podamos alentar a los estudiantes a ser críticos y fomentar su razonamiento y pensamiento significativo sobre los diferentes métodos que los químicos utilizan en su trabajo.

Antes de entrar en los detalles de estos dos aspectos: conocimientos y métodos, quiero contextualizar mi discusión en relación con el contexto curricular en el que opero en Inglaterra: estudiantes de la escuela secundaria con 11 a 14 años. En el plan de estudios existe un ítem que se llama "trabajando científicamente" y esto ocurre para las tres disciplinas: biología, química y física. Se espera que los estudiantes desarrollen pensamiento científico, hay un componente sobre habilidades y estrategias experimentales. Las habilidades y estrategias experimentales se centran en el desarrollo de hipótesis, planificación de experimentos y realización de observaciones aplicando conocimiento.

El desarrollo del pensamiento científico se refiere a los métodos científicos, junto con conceptos y modelos y limitaciones de la ciencia. Así como también aspectos sociales y aspectos éticos del conocimiento y los métodos.

Así que permítanme comenzar siendo crítica sobre el conocimiento y cómo la argumentación se articula con el conocimiento. La argumentación es el proceso de justificar las afirmaciones con evidencia y razones, no se trata de guerra, confrontación o conflicto. Se trata de cómo justificamos las afirmaciones en química.

Algunas de las afirmaciones que presentamos a los estudiantes en las escuelas son: *'la materia está hecha de pequeñas partículas y bases indivisibles'*, *'ácidos y bases reaccionan para producir sales neutras'*, *'el enlace covalente implica compartir electrones'*.

Bombardeamos a los estudiantes con muchas de estas afirmaciones y desde el punto de vista de los estudiantes las preguntas que emergen son: *¿cómo sabemos eso que sabés? ¿por qué debería tomar estas afirmaciones como ciertas? ¿cuál es la evidencia? y ¿cómo justificamos lo que sabemos?* Entonces, cuando hablamos de argumentación en el contexto del conocimiento químico, se trata de justificar desde el punto de vista del estudiante cómo es que se forman esas afirmaciones del conocimiento científico. Estamos de acuerdo con que esta es una forma científica de razonar y debe ser incluida en las clases de ciencias. Me refiero a que tanto en clases de secundaria como de universidad, diciéndoles a los estudiantes los resultados, las afirmaciones de las ciencias, o la química en este caso, no es suficiente. Se trata de ver cómo involucrar a los estudiantes en formas de razonamiento y compromiso con la evidencia para que realmente

entiendan porqué ciertas afirmaciones están fundamentadas y otras no, y algunas otras afirmaciones simplemente las descartamos.

Recursos y Experiencias sobre Argumentación en el aula de Química

Hemos producido libros y recursos en el contexto de la química. Algunas investigaciones se han resumido en un libro publicado por la Sociedad Real de Química en 2019 (Erduran, 2019). Tiene doce capítulos que abordan diferentes aspectos de la argumentación y la educación química. Por ejemplo, recursos reales de enseñanza y aprendizaje para promover la argumentación, la argumentación en ramas específicas de la química (química orgánica, físico-química) y también el desarrollo profesional en la enseñanza de la argumentación, el uso de evaluaciones y tecnologías, la argumentación como apoyo, entre otras. También hemos producido algunos recursos sobre argumentación en la química para estudiantes en la escuela secundaria (Erduran y Pabuccu, 2012). Existe un gran número de trabajos de investigación sobre la argumentación en educación científica y, en estos días, también en educación en química.

Permítanme darles un ejemplo que sería relevante para la escuela secundaria. En la figura 2 (izquierda), se muestran dos representaciones gráficas. A veces, presentamos afirmaciones sobre representaciones o representaciones matemáticas, sobre diferentes moléculas, pero la cuestión es que si no hay explicaciones alternativas, no hay nada sobre lo que discutir. Así que en este caso, se presentaron gráficas del calentamiento del hielo en vapor. Por lo que tenemos un cambio de energía y temperatura a medida que se proporciona calor. El segundo gráfico, en la parte inferior, tiene en cuenta los cambios de fase y, por lo tanto, allí no hay aumento de temperatura. Así que esa es la representación correcta. Sin embargo, la pregunta que se presentaba a los estudiantes era ¿con qué gráfico estás de acuerdo? y ¿por qué? e incluso si sabe que *b* es el correcto ¿cómo lo explicás? ¿cómo lo probaste? ¿qué información se puede proporcionar para justificar que ese es el caso correcto? y sobre todo ¿cómo refutás u oponés la primera representación? La capacidad de refutar u oponerse a una idea que con lo que no está de acuerdo es tan importante como la habilidad de ser crítico con la información. En este caso, tuvimos que ayudar a los estudiantes, les dimos algunas declaraciones que podían usar para respaldar la gráfica elegida. En la figura 2 (derecha) se puede observar que el estudiante simplemente pegó las diferentes declaraciones.

Básicamente podría tomar cualquier tema y enmarcar la actividad de manera que haya explicaciones alternativas y algo de apoyo para que los estudiantes usen evidencia, porque podría ser demasiado difícil para ellos generar la evidencia en edades tempranas. Este tipo de actividad promueve la participación y la evaluación crítica de la evidencia, lo que va con este gráfico y lo que va con este otro gráfico. Les da la oportunidad de participar activamente en la toma de decisiones.

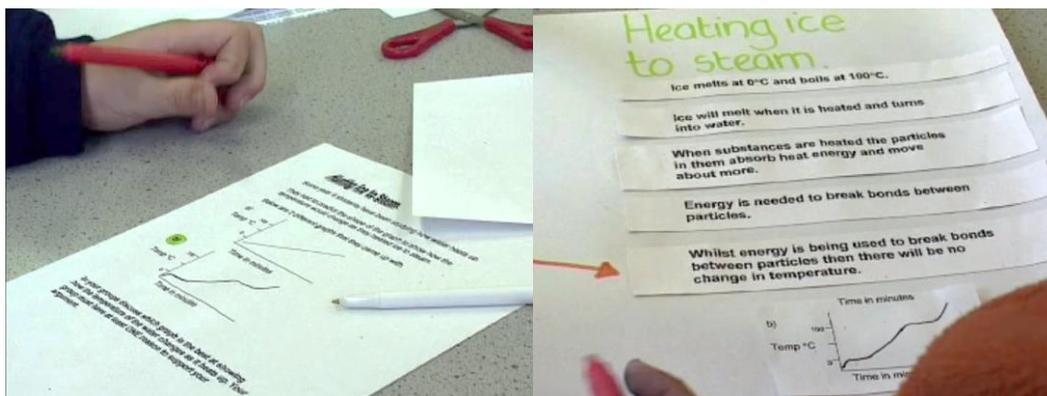


Figura 2. Izquierda: Estudiante resolviendo una consigna donde se muestran dos representaciones gráficas. Derecha: argumentos otorgadas a los estudiantes para poder acompañar su explicación.

También hemos desarrollado estrategias en las que podríamos ayudar a los estudiantes a escribir argumentos. Se proporciona el comienzo de oraciones para que puedan completarlas con sus ideas (ver ejemplos en la Tabla 1). Participar y sumergirse en este tipo de escritura repetidamente, fomentaría esencialmente el pensamiento crítico. Pudo verse que no solo brindan razones para sus ideas, sino que pueden anticipar ideas en contra de sus ideas y producir más justificaciones. Este es un marco que ha sido diseñado para promover que los estudiantes sean críticos tanto con sus ideas como la de los otros.

Tabla 1. Diferentes ejemplos que pueden utilizarse para ayudar al estudiante a escribir sus argumentos.

Ejemplos de comienzo de oraciones
Mi idea es...
Mis razones son...
Creo en mis explicaciones porque...
Las ideas en contra de mis argumentos son...
Convencería a alguien que no me cree diciéndole...

Las y los profesores tenemos una misión muy importante que cumplir al fomentar el aprendizaje activo y el pensamiento crítico en las clases a través de preguntas. Por lo que les presento algunos ejemplos que se pueden hacer (ver tabla 2): ¿Por qué pensás que tal idea es interesante? ¿cómo sabés cuál es la evidencia que promovería la discusión y la argumentación?

Tabla 2. Ejemplos de preguntas para la discusión.

Ejemplos de preguntas para la discusión
¿Por qué pensás eso?
¿Cuál es tu justificación?
¿Podés pensar en otro argumento para esa postura?
¿Podés pensar en un argumento contra tu postura?
¿Cómo sabés eso?
¿Cuál es tu evidencia?
¿Hay algún otro argumento para eso que creés?

Los métodos de hacer ciencia

El segundo componente de mi charla trata sobre los métodos. Con mucha frecuencia en las clases de química tenemos un problema, que es el llamado "*libro de cocina*", en donde los estudiantes llevan a cabo recetas y no se involucran en la resolución de problemas. Por lo general, se abordan conceptos en las clases de aula, luego hacen investigaciones y, esencialmente, en las prácticas experimentales siguen las recetas al pie de la letra.

En términos de los métodos que se presentan a los estudiantes, existe un modelo lineal del método científico. Donde comenzás con una pregunta, hacés una investigación de antecedentes, construís una hipótesis, se prueba la hipótesis con un experimento, analizás los datos, sacás conclusiones e informás los resultados para luego reflexionar sobre si tu hipótesis era correcta o no. No sé cómo será en las escuelas en Argentina, pero en muchas escuelas inglesas este modelo del método científico está presente, incluso hasta en forma de carteles en las paredes de las aulas. Se anima a los niños a pensar en variables dependientes y variables independientes. Se los lleva a pensar al método científico como una prueba de hipótesis.

Ahora bien, el tema que surge en esta presentación sobre el método científico es que en las actividades experimentales los estudiantes siguen recetas y es posible que no necesariamente se involucren en comprender por qué están haciendo lo que están haciendo. Por lo que la pregunta que debemos hacernos es si es posible tener las manos (*hands on*) y la cabeza (*minds on*) involucradas en nuestras clases y ¿cómo podemos ayudar a los estudiantes a pensar creativamente en los experimentos e investigaciones, pero también manipular los equipos?

NUESTRAS INVESTIGACIONES Y EL PROYECTO CALIBRATE

En nuestras investigaciones hemos utilizado la "Matriz de Brandon" que es básicamente un marco que desafía el tradicional método científico como proceso lineal de prueba de hipótesis (Culliname, Erduran y Wooding, 2019). Si recuerdan el ejemplo de COVID que di antes, dije que a veces, los científicos hacen investigaciones donde hacen observaciones, descripciones y no manipulan ninguna variable. En otras ocasiones manipulan variables, cambian variables, observan o prueban hipótesis. Pensar en el método científico como un proceso lineal de prueba de hipótesis no es correcto. Brandon fue un filósofo que desafió este modelo lineal del método científico y produjo una matriz de 2X2 (tabla 3), que se basa en dos preguntas básicas:

- ¿Estamos probando una hipótesis? o ¿estamos haciendo observaciones o midiendo parámetros?
- ¿Estamos manipulando variables? ¿o no lo estamos haciendo?

Permítanme darles un ejemplo de química usando la cromatografía en papel. Imaginen que están probando la hipótesis de que todas las tintas verdes están compuestas de pigmentos azules y amarillos. Tienen una hipótesis, que es lo que pensás, entonces tus variables serían tintas

diferentes. Este sería un ejemplo de probar una hipótesis manipulando diferentes variables, en las que se probarían diferentes situaciones. Podría probar la hipótesis sin manipular las variables, por lo que, por ejemplo, podría tener la hipótesis de que un trozo de tinta que fue encontrado en algún lugar es el mismo que el de una escena de un crimen, pero en realidad no está manipulando ninguna variable para probar la hipótesis. Allí, la hipótesis no implica ninguna manipulación o cambio de variables

Tabla 3. Ejemplo de matriz de Brandon.

	Manipulación de variable(s)	Sin manipulación de variable(s)
Prueba de hipótesis		
Mediciones y observaciones		

En algunos casos, podría estar manipulando variables pero no probando hipótesis, por ejemplo, podría estar midiendo los valores de frente cromatográfico o el rango de tintas y podría haber tres tintas diferentes. O también, simplemente colocando el papel de cromatografía y haciendo observaciones, no hay hipótesis, pero hay manipulación de las tintas. En otra actividad, puede clasificarse una variedad de tintas en pigmentos puros o mezclas, simplemente observando y haciendo clasificaciones, no hay manipulación. Solo estamos categorizando los diferentes tipos de investigaciones que podría haber.

Así que lo que esto muestra es que, dependiendo del enfoque de la cromatografía usted podría estar poniendo a prueba una hipótesis o podría hacer observaciones o medición de parámetros. O puede ser al mismo tiempo que podría estar manipulando variables o no.

Hemos usado la matriz de Brandon para ver cómo son los exámenes de química en Inglaterra (Culliname, Erduran y Wooding, 2019) en términos de los diferentes métodos que aparecen en las categorías de Brandon, es decir las cuatro categorías de la matriz: prueba de hipótesis manipulativa, medición de parámetros manipulativos, prueba de hipótesis no manipulativa y medición de parámetros no manipulativos.

Hemos analizado diferentes exámenes de secundaria cuyos resultados son tenidos en cuenta en el acceso a las universidades, exámenes de alto riesgo que son tomados a los estudiantes de las escuelas secundarias. En Inglaterra existen diferentes juntas que administran los exámenes, para ese estudio, consideramos tres juntas de examen diferentes (A, B y C) y miramos dos conjuntos de preguntas de examen diferentes, que son tomados en diferentes momentos. Mostraré cómo estas preguntas del examen capturan las diferentes categorías de la matriz de Brandon. Veremos que la mayoría de las preguntas del examen se centran en la medición de parámetros no manipulativos. Casi no hay pruebas de hipótesis manipulativas en la primera actividad de uno de los exámenes.

Existió una representación desproporcionada de las diferentes preguntas en estos exámenes ¿qué significa eso? Bien, el modelo de método científico lineal con prueba de hipótesis no está siendo examinando. Así que aunque se sigue promoviendo el método científico para que se trate de probar hipótesis, las preguntas del examen no enfatizan tanto las pruebas de hipótesis. Sin embargo, cuando miramos las calificaciones que se asignan a las diferentes preguntas de exámenes, encontramos que, a pesar de que las preguntas de prueba de hipótesis con manipulación de variables no estaban tan representadas, es decir, había menos de ellas, se les asignaron más puntos. Esto sugiere que se le da más valor a las preguntas de prueba de hipótesis manipulativas.

Lo que estoy tratando de mostrar con datos es que existe una variación en lo que se enseña potencialmente en las clases y lo que se evalúa en los exámenes. Puede ser que en las actividades prácticas de las clases de química no se enseñe de la misma manera, por lo que dependiendo del énfasis de los métodos utilizados, ya sea que se trate de pruebas de hipótesis manipulativas o pruebas de hipótesis no manipulativas, algunos de los estudiantes podrían estar más favorecidos hacia métodos particulares que aparecerán en el examen. Lo que esto nos ha demostrado, es que existe un desajuste potencial entre la enseñanza y las preguntas del examen.

Por otro lado, hemos utilizado la Matriz de Brandon para desarrollar algunas estrategias con profesores y con quienes están a cargo de las evaluaciones para ver cómo podemos fomentar el pensamiento acerca de los métodos científicos. Así que hemos trabajado con profesores donde les presentamos la Matriz de Brandon, les presentamos algunas tareas de evaluación y entrevistamos a docentes sobre sus puntos de vista. Les mostraré algunos de los datos de los docentes.

También hemos producido algunos recursos de aprendizaje y de enseñanza que están basados en videos y están disponibles gratuitamente en nuestro sitio web (<https://projectcalibrate.web.ox.ac.uk>). Podrán encontrar videos que presentan a los estudiantes la matriz de Brandon y también tenemos diferentes ejemplos para química, biología y física.

Cuando le preguntamos a docentes lo que pensaron sobre la matriz de Brandon, la respuesta en general fue bastante positiva. Este fue un comentario de una de las docentes: *"creo que es una muy buena forma de organizar las prácticas que ya tenemos dentro de nuestro plan de estudios. Deja muy claro qué es lo que evaluamos y en qué nos enfocamos y dónde están nuestras debilidades. 110%. Tan pronto como presentamos todo, estaba como 'wow', mirá, es tan claro lo que falta y lo que no. Pensé que era un muy buen modelo, un modelo muy claro y muy fácil de entender."* Esto fue muy prometedor para nosotros. Este trabajo fue realizado antes de la pandemia, donde aún podíamos reunirnos en persona, y pertenece al Proyecto Calibrate, que ha sido cofinanciado por Welcome Trust Royal Society y la Fundación Gatsby. Ha sido un proyecto de tres años buscando evaluar la enseñanza de las ciencias experimentales en las escuelas de Inglaterra (Erduran y Wooding, 2021; Ioannidou y Erduran, 2021).

Tenemos un próximo artículo (Ioannidou, Finch y Erduran, 2021) donde hablamos sobre las experiencias de los docentes en el uso de la matriz de Brandon en el aula. Nuevamente, los profesores que han usado la matriz ellos mismos en las aulas valoraron su uso para promover un enfoque de zona mental. Se trata de comprender por qué estás haciendo lo que estás haciendo. Éstas son algunas de las citas de los profesores, uno de ellos *“sintió que hizo que la práctica fuera mejor porque hizo que los jóvenes pensaran sobre lo que estaban haciendo”*. Otro docente dijo que *“los estudiantes sentían que tenían más para decir y que en realidad lo estaban haciendo. Entendieron la lógica detrás de esto”*. Pero los profesores fueron cautelosos acerca de cómo incorporar esto en el plan de estudios y tener un elemento de las categorías de la matriz de Brandon y la diversidad de los métodos representados en el plan de estudios.

Como dijimos anteriormente, también trabajamos con los examinadores para cambiar el conjunto de preguntas del examen utilizando la matriz de Brandon como marco de referencia, por lo que hemos producido diferentes preguntas de examen para cada categoría de la matriz de Brandon sobre diferentes temas (electromagnetismo, circuitos, mezclas y destilación, cromatografía, crecimiento y distribución vegetal, osmosis). Para cada una de las actividades de cada uno de los temas hay una quinta pregunta en la que se anima a los estudiantes a comparar y contrastar los diferentes métodos. Creo que posibilita habilidades de pensamiento de orden superior y pensamiento crítico sobre el uso de diferentes métodos, en química en este caso. Hemos realizado algunas investigaciones sobre estas evaluaciones para probar su confiabilidad y validez. Nuestro proyecto involucró a expertos en evaluación educativa que trabajaban con los examinadores.

Cuando la pandemia nos golpeó, no pudimos seguir trabajando directamente con los docentes en las escuelas, por lo que, recurrimos a un entorno en línea para recopilar algunos datos de docentes y estudiantes en el Reino Unido (Erduran, Ioannidou y Baird, 2021). Distribuimos una encuesta y usamos los videos en línea como una forma de atraer a los profesores que estaban buscando recursos durante los primeros días de la pandemia. Logramos incluir en la investigación a 152 profesores y 969 estudiantes, a quienes les enviamos encuestas y los recursos. En cuanto a los resultados obtenidos, hubo una diferencia significativa en la comprensión de los estudiantes de los métodos científicos, les hicimos preguntas sobre métodos científicos (antes y después de ver los videos) y encontramos que existía evidencia de que los recursos ayudaron los estudiantes a entender mejor los métodos científicos.

Otro hallazgo importante fue que los estudiantes indicaron que los recursos del proyecto les ayudó a entender los métodos científicos: *“Antes de ver los videos, pensé que todas las investigaciones científicas requieren una hipótesis de algún tipo que estos videos refutaron de una manera fácil de entender, gracias por abrirme los ojos”*. También confirmaron que los videos trataban de ciencia experimental, esto era importante para nosotros porque, por razones de validez, los videos eran indicativos de actividades experimentales. Por otro lado, se encontró que los estudiantes no

disfrutaron mucho viendo los videos y esto podría deberse a que estaban siendo bombardeados repentinamente con muchas actividades de aprendizaje en línea al inicio de la pandemia, que fue cuando recopilamos estos datos. Pero no estamos realmente seguros del porqué ellos no disfrutaron viendo los videos. También indicaron que los videos eran similares a lo que habían hecho en sus clases normales. Esto fue alentador, porque cuando los estudiantes no podían hacer ningún trabajo práctico en las escuelas, esta era una de las formas de hacer que observaran algunas experiencias.

Otro hallazgo fue que la mayoría de los estudiantes asociaron los recursos con la ciencia experimental. No disfrutaron del todo al completar las preguntas de la encuesta, lo que es comprensible porque les pedimos que también completaran algunas de las preguntas que estaban asociadas con la evaluación. Por lo que eran las preguntas del examen que los profesores usaban al final de los videos. Los estudiantes se manifestaron favorablemente sobre la mayoría de los videos e indicaron que los ayudaron a responder las preguntas ya que eran similares a las preguntas que normalmente hubieran encontrado. El contexto de esta recolección de datos fue en medio del inicio de la pandemia, aproximadamente desde marzo a junio del año pasado, en 2020. Así que nos estimula que en medio de todo esto, los estudiantes y los docentes estuvieran realmente dispuestos a comprometerse con nosotros.

Los mismos docentes tuvieron una actitud positiva hacia los recursos de enseñanza y aprendizaje en línea y consideraron que los videos eran útiles para enseñar ciencia experimental y métodos científicos en particular. La mayoría de ellos pensaba que eran similares a lo que enseñan normalmente y que los usarían de nuevo. La primera sesión, que fue sobre la introducción a la matriz de Brandon, fue menos fácil de entender para ellos, ya que no habían participado de instancias de desarrollo profesional docente. Solo les enviamos los recursos y con los docentes que habían estado colaborando con nosotros en el proyecto antes de la pandemia, producimos algunos recursos de desarrollo profesional. Por lo que estos profesores habían pasado por algún desarrollo profesional que les permitió comprender los diferentes tipos de investigaciones y métodos, creemos que este último grupo de docentes pudo haber encontrado más fácil hacer estas actividades.

También les pedimos a los docentes que nos hablaran sobre las evaluaciones sumativas que habíamos producido y fueron bastante favorables. Creo necesario enfatizar que estas preguntas de evaluación integraron no solo las habilidades prácticas manipulativas, sino también las habilidades de pensamiento en términos de las categorías de la Matriz de Brandon, tomando en cuenta si hay o no una hipótesis, qué tipo de investigación es, alentando el pensamiento crítico sobre el tipo de investigación y los métodos que se están utilizando. Fue bastante alentador para nosotros que las evaluaciones mismas diseñadas con estas ideas en mente fueron percibidas como útiles. Además, los profesores indicaron que utilizarían las evaluaciones, lo que fue otro resultado positivo para nosotros.

En este proyecto tuvimos un enfoque sistémico e integrador (Erduran y Wooding, 2021). Se puso en marcha con una revisión de la literatura de

referencia sobre evaluaciones nacionales e internacionales (Childs y Baird, 2020; Erduran, El Marsi, Cullinane y Ng, 2020), gracias a lo cual nos dimos cuenta de que la forma en la que se enseñan los métodos científicos en las escuelas es parte del problema, tanto en lo mencionado respecto a las recetas de cocina, como al hecho de que no hay mucha innovación en la evaluación. Si las evaluaciones no son innovadoras, la enseñanza no será innovadora porque sabemos que los docentes enseñan para los exámenes.

Cuando hay innovación en la educación, los profesores se involucran con estas innovaciones hasta cierto punto, pero no completamente, porque necesitan volver a las viejas formas de evaluar a los estudiantes en los exámenes. Luego, encontramos la matriz de Brandon que nos ayudó a ver el panorama de las preguntas de examen existentes y cuántos sesgos hay hacia ciertas categorías y menos hacia otras. Hemos trabajado con los examinadores para producir una representación más equilibrada de las diferentes categorías de la matriz. Nuestra intención aquí era que si no vamos a poder cambiar los exámenes y hacer que la evaluación sea innovadora, al menos podemos cambiar el contenido de los exámenes para que valga la pena enseñar para su resolución. Por lo que hemos rediseñado las evaluaciones para incorporar este componente de pensamiento crítico en torno a los métodos utilizados y hemos trabajado con el desarrollo profesional de los docentes analizando las reflexiones y percepciones de los docentes.

Tenemos un artículo publicado en la revista *Journal Research in Science and Technological Education* donde reflexionamos sobre las actitudes y percepciones de los estudiantes sobre la matriz de Brandon y sobre la ciencia experimental en general. Hemos desarrollado estos videos en línea y el equipo que los produjo fueron formadores de docentes, por lo que estaban bastante familiarizados con las actividades experimentales escolares. Finalmente, les he comentado algunos de los resultados de la encuesta nacional con docentes y estudiantes para probar la efectividad de estos recursos de aprendizaje y evaluaciones.

CONCLUSIONES Y AGRADECIMIENTOS

En general, lo que he hecho en esta presentación es ilustrar cómo hemos tratado de hacer que la química experimental sea más significativa desde el punto de vista de los estudiantes, en términos de comprensión de cómo se construye el conocimiento a través de la argumentación, cuál es la naturaleza de la evidencia, cómo promovemos el razonamiento y las justificaciones basándonos en la evidencia. Les he dado algunos ejemplos de estos temas, pero les animo a ver más de la investigación que hemos hecho. En términos de los métodos que hemos reunido, los enfoques prácticos y de la zona mental de la química experimental mediante el uso de este marco de la matriz de Brandon, que extiende el modelo lineal tradicional de método científico como prueba de hipótesis. Hemos diversificado la forma en que pensamos sobre los métodos en química e incluimos una variedad de enfoques diferentes para hacer química, hemos visto cómo las preguntas del examen involucran estos diferentes métodos y

hemos diseñado nuevos enfoques para mejorar la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de los métodos de química.

Todos estos enfoques son innovaciones educativas a través de la práctica e investigación en las escuelas y, en última instancia, lo que nuestra investigación está mostrando es que la educación en química necesita una nueva visión para mantenerse al día con los desafíos de la era de la desinformación y equipar a los futuros químicos, así como a los ciudadanos, con habilidades de pensamiento crítico, involucrando a los estudiantes en procesos como argumentación, razonamiento y discusión sobre diferentes métodos. Esperamos que los estudiantes obtengan este tipo de habilidades de pensamiento y habilidades de pensamiento crítico que son útiles no solo para el profesional sino también para el público en general para que puedan navegar en esta época realmente complicada que estamos viviendo en el momento de una pandemia, cuando todavía hay personas que niegan su existencia y creen que el virus es un engaño. No creo que deba convencer a esta audiencia de que éstas son habilidades de importancia crítica para fomentar la educación química.

Necesitamos dedicar más tiempo a reorientar el énfasis acerca del conocimiento y los métodos desde una manera declarativa, donde usualmente decimos a los estudiantes cuál es el conocimiento o cuáles son los experimentos a través de recetas de una manera simple, hacia una visión renovada donde los estudiantes estén más activamente involucrados en la construcción de conocimiento, en los métodos de análisis y colectivamente evaluando cómo se hace química de una forma crítica.

Espero que los pocos ejemplos que les he comentado les den algunas pautas y algunos recursos prácticos para convencerlos sobre cómo lo hemos hecho. Les dejo el enlace a nuestro sitio web que incluye nuestras publicaciones académicas (<https://projectcalibrate.web.ox.ac.uk>). Allí, se incluyen todas las publicaciones que hemos producido para el desarrollo profesional de profesoras y profesores. Y también los videos y preguntas de examen que he mencionado están en ese sitio web.

Para dar por finalizada la conferencia, quería agradecerles por escucharme. Me gustaría agradecer al Comité Organizador de la REQ y a la Dra. Gabriela Lorenzo por haberme invitado a dar esta Conferencia. Es una lástima que no pude visitar la hermosa Argentina, pero espero que haya otras ocasiones en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Cullinane, A., Erduran, S. y Wooding, S. J. (2019). Investigating the diversity of scientific methods in high-stakes chemistry examinations in England. *International Journal of Science Education*, 41(16), 2201-2217. DOI: 10.1080/09500693.2019.1666216
- Childs, A. y Baird, J. A. (2020). General Certificate of Secondary Education (GCSE) and the assessment of science practical work: an historical review of assessment policy. *The Curriculum Journal*, 31(3), 357-378.

- Erduran, S. (2019). *Argumentation in Chemistry Education: Research, Policy and Practice*. Londres: Royal Society of Chemistry.
- Erduran, S., El Masri, Y., Cullinane, A. y Ng, Y. P. D. (2020). Assessment of practical science in high stakes examinations: a qualitative analysis of high performing English-speaking countries. *International journal of science education*, 42(9), 1544-1567.
- Erduran, S., Ioannidou, O. y Baird, J. A. (2021). The impact of epistemic framing of teaching videos and summative assessments on students' learning of scientific methods. *International Journal of Science Education*.
- Erduran, S. y Pabuccu, A. (2012). *Bonding Chemistry and Argument: Teaching and Learning Argumentations through Chemistry Stories*. Bristol: Bristol University.
- Erduran, S. y Wooding, S. (2021). A Project Calibrate approach to summative assessment of practical science. *School Science Review*, 102(381), 71-77.
- Ioannidou, O. y Erduran, S. (2021). Beyond hypothesis testing. *Science & Education*, 30(2), 345-364.
- Ioannidou, O., Finch, K. y Erduran, S. (2021). Secondary teachers' views about teaching and assessing the diversity of scientific methods in practical science. *Journal of Education for Teaching*.
- Halpern, D. F. (2002). *Thought and knowledge: an introduction to critical thinking*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sternberg, R. J. (1986). *Critical Thinking: Its Nature, Measurement and Improvement*. Washington DC: National Institute of Education.