



¿CÓMO SE PUEDE USAR EL CELULAR COMO PRETEXTO PARA ENSEÑAR LA TABLA PERIÓDICA?

Aurora Ramos Mejía¹

Resumen

Taller para profesores, desarrollado para la Jornada de *Enseñanza de la Tabla Periódica, ¿base de datos o piedra filosofal?* Desde la didáctica del Aprendizaje Basado en Problemas, propongo enseñar la Tabla Periódica con una función heurística simbólica, de modo que el alumno desarrolle Habilidades de Pensamiento de Orden Superior (HOTS) y ejercite la argumentación científica. Planteo actividades de aprendizaje, con el apoyo de la taxonomía SOLO, para guiar al alumno a explicar la conductividad eléctrica en los materiales, a partir de una exploración inicial de la electronegatividad.

Palabras clave

Tabla Periódica, habilidades de pensamiento, argumentación, ABP.

How can the cell phone be used as an excuse to teach the Periodic Table?

Abstract

Workshop for faculty, developed for the *Jornada de Enseñanza de la Tabla Periódica ¿base de datos o piedra filosofal?* From a didactic of Problem Based Learning, I propose to teach the Periodic Table with a symbolic heuristic function, so that the student develops Higher Order Thinking Skills (HOTS), and to exercise scientific argumentation. I pose learning activities, supported from the SOLO taxonomy, to guide the student explain the electrical conductivity in the materials, from an initial exploration of electronegativity.

Keywords

Periodic Table, Thinking Skills, argumentation, PBL

¹ Soy Profesora Titular A de Tiempo Completo, PRIDE B, en la Facultad de Química de la UNAM. Soy Consejera Académica de Área Ciencias Físicas, Matemáticas y las Ingenierías (CAACFMI), suplente de la Facultad de Química, a partir del 17-05-2016. Tengo un blog de la EEQ - ABP, que pueden consultar en la dirección: <https://eneqabap.wordpress.com/>, y pueden seguirme en Twitter en la cuenta @armejmx

Este taller lo presenté en el marco de la *Jornada de Enseñanza de la Tabla Periódica, ¿base de datos o piedra filosofal?* Propongo aproximar, al estudiante de bachillerato, al entendimiento del uso de la Tabla Periódica como una herramienta para pensar. A partir de la didáctica de Aprendizaje Basado en Problema (ABP), sugiero llevar al estudiante a utilizarla con una función heurística simbólica (Agudelo, 2015), esto es, como una herramienta para desarrollar Habilidades de Pensamiento de Orden Superior (HPOS).

El ABP es la didáctica que cumple con lo que Eilks y Hofstein (2015) señalan como requisito para la enseñanza relevante de la química desde la dimensión individual, esto es, proveer a los estudiantes con las habilidades requeridas y útiles para enfrentar su vida diaria, ahora y en el futuro, así como contribuir en el desarrollo de sus habilidades intelectuales, pero bajo una premisa fundamental: considerando su curiosidad. También es un medio idóneo para introducir al estudiante al pensamiento lógico complejo.

El ABP es una aproximación didáctica socio-constructivista por indagación, centrada en el aprendizaje del estudiante, que se diseña a partir del contexto. Lo más importante es producir en los estudiantes una experiencia profunda y transformadora del ejercicio del pensamiento científico, a través de un problema real y de su interés. El trabajo es dirigido por los estudiantes con colaboración estructurada, y la calidad del aprendizaje se evalúa de manera multifacética. El ABP debe ser muy riguroso, en el sentido de tener como objetivo el desarrollo de habilidades cognitivas superiores (HPOS), identificando las ideas centrales de la disciplina. A la par, debe ser relevante, en el sentido de aspirar a que los alumnos trabajen y piensen aplicando el conocimiento en situaciones del mundo real. Esto es, debemos conseguir que el alumno se aproxime al aprendizaje desde una perspectiva profunda y compleja.

Cuando se aborda el “tema” de la tabla periódica en clases tradicionales, generalmente se les pide a los alumnos que se aprendan de memoria los grupos, hasta que los reciten. Quizás pueda hacerse más divertido poniéndole ritmo, o incluso cantando las familias de elementos, sin embargo, el truco sirve de poco si no hacen más nada con eso. Uno de los problemas recurrentes en la escuela tradicional actualmente es el *olvido* de lo que supuestamente el estudiante “aprendió” en un tema o ciclo anterior. Lo que sucede es que la memoria es un proceso físico, que se moldea con la experiencia. Cuando aprendemos, nuestro cerebro cambia físicamente, es *neuroplástico*. Las neuronas establecen “camino” de información, con procesos biológicos electroquímicos, que se refuerzan cuando los utilizamos constantemente y en múltiples oportunidades, estableciendo conexiones que le dan sentido. Entonces pasa de la memoria de trabajo a la memoria a largo plazo, y podemos recuperar esa información cada vez que la necesitamos. Por otro lado, si la información no se conecta con otra que la haga relevante para un contexto de aplicación específico, el cerebro literalmente la “corta”. Toda información que no se usa de manera frecuente y que no tiene una red semántica robusta, se olvida *naturalmente* (Bailey & Pransky 2014). Así también, sabemos que es el sistema límbico en nuestro cerebro quien asigna “prioridad” a la información (Bailey & Pransky 2014). Este es el centro del control de emociones, y es aquí donde “decidimos” poner atención. Si no hay interés, una motivación que le produzca al alumno la necesidad de establecer un compromiso emocional y cognitivo, entonces no habrá compromiso conductual, y el resultado es en alumnos pasivos, desenganchados, que probablemente estén en silencio fingiendo que están en clase, cuando en realidad su imaginación corre por lugares más emocionantes, o estén revisando sus chats en el celular.

Para diseñar una experiencia didáctica de ABP, es importante considerar tres ejes organizadores:

- a) El eje problematizador, que es el que introduce la emoción, contextualizando al individuo en un marco experiencial con el cual puede relacionarse.
- b) La Gran Idea, que es el conocimiento fundamental en una disciplina que nos gustaría que entendieran los estudiantes, por ejemplo: “Los átomos muestran periodicidad cuando se acomodan de acuerdo con su número atómico” (College Board Standards, en Talanquer, 2013). También, para que la Gran Idea no quede solo como información, es fundamental que se introduzca en un contexto complejo, en donde los estudiantes tengan oportunidad de conectar ideas en una red semántica de mayor dimensión, lo que Talanquer (2013) llama las diez facetas del conocimiento químico para su enseñanza. Así, será relevante hacer preguntas esenciales, reconocer conceptos transversales; dimensiones conceptuales; tipos de conocimiento; escalas dimensionales; modos de razonamiento; problemas contextuales; consideraciones filosóficas; y visión histórica.
- c) Los aprendizajes esperados, u objetivos de aprendizaje. Estos deben ser explícitos, claros y concisos, y NO el desarrollo de un tema. Y fundamentalmente, deben considerar al estudiante como al protagonista central de la experiencia. De esta manera pasamos del paradigma de transmisión del conocimiento, centrado en temas, al de centrado en el aprendizaje.

En la práctica cotidiana de la enseñanza, el docente tiene muchos problemas para reconocer que el eje problematizador es el “pretexto que engancha”, y no lo más importante del aprendizaje esperado. En esta propuesta, el eje problematizador es el celular. La relación que guardamos las personas con nuestro teléfono celular en estos tiempos es tan estrecha, que en muchos casos se ha convertido en una extensión de nuestro cerebro. Esta relación es todavía más profunda, adquiriendo connotaciones emocionales, para nuestros estudiantes, que nacieron en una época de pantallas e información instantánea. Con este pretexto, el que aprende puede conseguir una regulación identificada, algo interna (Ryan & Deci, 2000), porque aprueba “desde su corazón” la experiencia que les proponemos. No queremos que aprendan “toda la química” que tiene el celular porque éste sea lo más importante, sino que tomamos solo algunos aspectos de acuerdo con la Gran Idea y los aprendizajes esperados (que es lo que realmente nos interesa desarrollar), que pueden irse trabajando de forma gradual.

Cuando utilizamos la Tabla Periódica como una herramienta para pensar, con una función heurística simbólica (Agudelo, 2015), podemos ir más allá de su propósito clasificatorio para mejor desarrollar habilidades, como el reconocimiento de patrones. Con el pretexto del celular podemos hacer cambios de escala: de lo macroscópico (los componentes del celular) a lo simbólico (la identificación de elementos y su abstracción) a partir de su nomenclatura y descripción de propiedades. También para construir la idea de combinación y formación de compuestos (propiedades químicas), a partir de imaginar y conceptualizar los enlaces químicos y sus implicaciones, al extrapolar a nivel macroscópico para entender propiedades emergentes como la conductividad eléctrica (propiedad física). Se utiliza la información de la tabla para posibilitar el pensamiento químico, como una herramienta para pensar los cambios e intervenirlos mediante manipulaciones.

Una experiencia didáctica de ABP comienza con un problema, que se puede formular como una pregunta abierta y significativa, en un nivel de desafío apropiado. La pregunta que propongo para este ejemplo es:

¿Por qué mi dedo puede controlar cosas en la pantalla táctil de mi teléfono celular?

Si dejáramos al alumno responderla solo, podríamos encontrar resultados en un claroscuro entre una respuesta superficial, que copiaron y pegaron de algún sitio en internet pero que no tiene que ver con el uso de la Tabla Periódica; o bien un texto muy largo y confuso que trata de cumplir, pero que no lo logra cabalmente. En el ABP no dejamos solo al estudiante, sino que le proporcionamos andamiaje. La pregunta es abierta precisamente porque no queremos posicionarnos en el esquema de las “respuestas correctas”, sino mejor propiciar un proceso largo y riguroso de indagación en el cual los estudiantes hacen preguntas, buscan recursos, seleccionan y aplican la información. El docente diseña las actividades de aprendizaje, con un entendimiento lúcido de lo que desea conseguir (aprendizajes esperados), lo que podríamos llamar el “espacio del problema”. Así, el ABP se concreta a partir del modelo de diseño hacia atrás (Wiggins & McTighe, 2005), estableciendo un alineamiento constructivo (Biggs, 1996) entre los objetivos de aprendizaje, las actividades y la evaluación. En la Tabla 1 se muestra el cuadro con los aprendizajes esperados sugeridos.

1.- Que el estudiante reconozca que los elementos químicos que existen en el celular tienen electronegatividades que exhiben un patrón de acuerdo con su número atómico, y así puede extraer dicha información de una tabla periódica.
2.- Que el estudiante analice las electronegatividades de los elementos químicos que ubica en el celular, y aplique el análisis de esta propiedad para dibujar las dos líneas de tendencia en la Tabla Periódica.
3.- Que el estudiante relacione al tipo de compuesto formado entre dos elementos químicos, a partir del cálculo de la diferencia de electronegatividades y el tipo de enlace químico resultante, con sus propiedades de conductividad eléctrica.
4.- Que el estudiante relacione la propiedad de conductividad eléctrica del material formado con la ubicación de cada elemento simple en la tabla periódica, su electronegatividad y el enlace que producen al unirse, de tal forma que pueda explicar y hacer predicciones de conductividad eléctrica para materiales similares.

Tabla 1. Objetivos de aprendizaje (o aprendizajes esperados).

Fuente: Elaboración propia

En el caso de esta propuesta, las Grandes Ideas que abordamos son: “los elementos están compuestos por átomos” (Atkins, en Talanquer, 2013), “los átomos muestran periodicidad cuando se acomodan de acuerdo con su número atómico” y “las fuertes fuerzas electrostáticas de atracción que mantienen unidos a los átomos en una unidad se denominan enlaces químicos” (College Board Standards, en Talanquer, 2013). Las preguntas esenciales, que nos llevan a una aproximación teórica en este caso, son: de análisis, ¿qué es la conductividad eléctrica?, en el contexto de los elementos químicos que puedo reconocer forman parte de un celular; y de modelado, ¿cómo la explico a partir de la electronegatividad?, cuando identifico que los átomos de elementos químicos no exhiben por sí solos la propiedad de conductividad eléctrica. Esta propiedad emerge al nivel macroscópico, cuando varios átomos se estructuran para formar compuestos elementales como los metales, ya que requiere de la corriente eléctrica para manifestarse. Un átomo no tiene conductividad, un conjunto de átomos en una red cristalina elemental metálica, puede conducir la corriente eléctrica por las características propias del enlace metálico. Si consideramos al material metálico, y en particular a los electrones que forman parte del enlace metálico, como una “alberca” de electrones, que es una analogía que puede funcionar como modelo explicativo, entonces al aplicar una perturbación adecuada (del tipo eléctrica o magnética, es decir, de carga) a este sistema, este responde exhibiendo un fenómeno emergente de transporte de carga al que llamamos conductividad eléctrica, y que es característico del material. Los

electrones en la “alberca” se pueden mover libremente de un átomo a otro sin cambiar las características químicas de la sustancia.

Entonces, cuando aproximamos al estudiante al uso de la Tabla Periódica para pensar, tenemos que asegurarnos de que el trabajo que ellos realicen los conduzca a establecer las particularidades de las propiedades mostradas en ella. El radio atómico, por ejemplo, es una propiedad que se indica para un átomo elemental en el nivel nanoscópico; mientras que la electronegatividad es algo que se define desde la interacción entre dos átomos elementales; y la densidad es una propiedad que resulta, en el nivel macroscópico, de la unión de N átomos elementales conformando una estructura particular.

Para resolver el problema de por qué podemos manipular con el dedo las opciones que aparecen en la pantalla táctil del celular, solo abordaremos la naturaleza conductora de la electricidad de los materiales que la componen. Para lo cual es indispensable que los estudiantes reconozcan que los metales son conductores de la electricidad, y los óxidos metálicos no lo son (son semiconductores). Que el enlace metálico solo puede formarse entre dos elementos “metálicos”; y los óxidos metálicos se forman entre elementos metálicos y el oxígeno (que es no metálico), y tienen un enlace que puede definirse como covalente polar que tiende a iónico. Y finalmente, que, para reconocer dicho enlace, podemos ayudarnos estableciendo la diferencia de electronegatividades ($D\chi$) de los elementos que participan del enlace, pero considerando las simplificaciones que se introducen a usarla. Debemos recordar que todo modelo tiene limitaciones, y es el caso de la potencialidad de uso de la diferencia de electronegatividad para predecir tipos de enlace químico (Sproul, 2001). En particular, cuando se divide a los compuestos iónicos de los covalentes, e incluso para conceptualizar al enlace metálico, de la manera en que se propone en este trabajo, se hacen generalizaciones demasiado amplias y esquematizadas (dividir con un valor específico de $D\chi$ en la escala de tipificación de enlace como se observa en la Tabla 5), lo que tiene que manejarse con tiento. Si tomamos la definición que hace Pauling de la electronegatividad: la capacidad de un átomo en una molécula para atraer electrones hacia sí, la mitad de la información inherente a los dos valores de electronegatividad se pierde con la $D\chi$, y esto también genera problemas cuando se unen más de dos átomos elementales distintos. Sin embargo, se usará como una primera aproximación con el afán de simplificar un concepto tan complejo como es el del enlace químico.

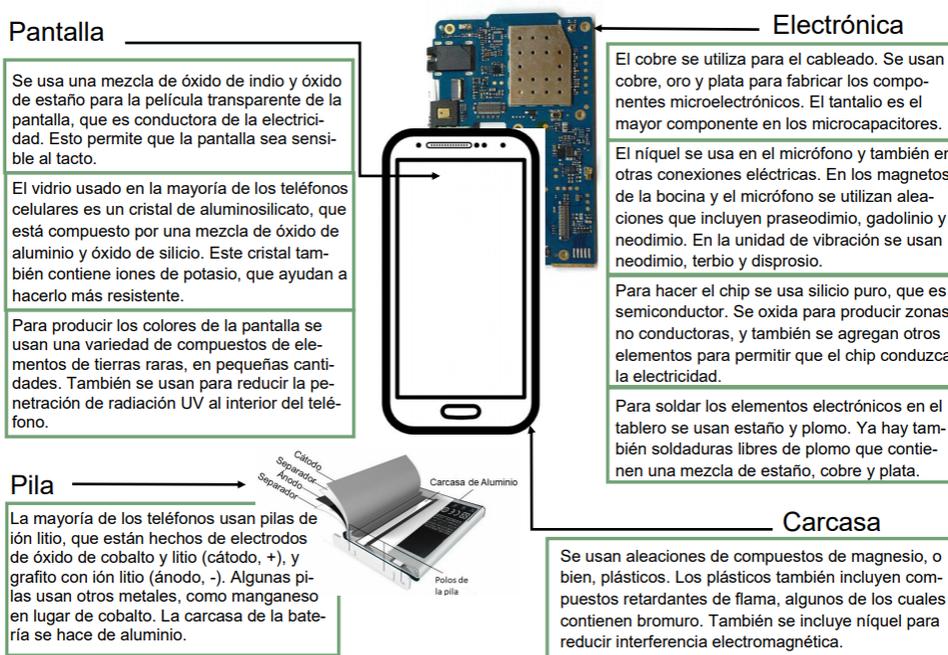
Las actividades de aprendizaje y el uso de las TIC para interactuar con la clase

Debemos considerar que para llevar a cabo un buen planteamiento de actividades en el ABP existen etapas y condiciones en el espacio del problema. Primero, el estudiante trabaja individualmente para que contextualice en su esquema cognitivo. Luego, formamos equipos pequeños (3-4 alumnos) de trabajo colaborativo, para que puedan establecer negociaciones de significados, y que éstas sean efectivas porque las conciertan a partir de sus zonas de desarrollo próximo (ZDP). Los docentes actuamos como facilitadores del aprendizaje, dándoles a los estudiantes el espacio, el tiempo y los instrumentos adecuados para que actúen reflexiblemente. Si usamos la taxonomía SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome) (Collis & Biggs, 1982), podemos proponer actividades de aprendizaje de acuerdo con la complejidad del aprendizaje esperado. La pregunta propuesta requiere de una respuesta con explicación, que relacione causas con efectos. El nivel relacional

es una HPOS compleja que se consigue transitando tres niveles iniciales (obviando el preestructurado, pero que es importante explorar con una evaluación diagnóstica), para dirigir a los estudiantes desde la incompetencia hacia la competencia: uniestructurado, multiestructurado, y relacional. En Tabla 2 se muestra el cuadro de actividades sugeridas de acuerdo al nivel. Para realizarlas, se utilizan diferentes recursos y el apoyo de una plataforma de aprendizaje (por ejemplo Edmodo, Google Classroom, o Moodle). De ésta manera, podemos establecer una comunicación más efectiva, sobre todo para grupos grandes.

En la Tabla 3 se presentan los recursos que se piden en las actividades de la Tabla 2, su liga para los que están disponibles en línea, y una breve descripción. El primer recurso es la presentación que engancha (Video 1 de la Tabla 3). A partir de un video que muestra, de manera atractiva, cómo funcionan las pantallas capacitivas de los dispositivos móviles, se introduce al alumno a que enfoque la atención en la conductividad eléctrica. Después se le pide que analice la infografía que se muestra en la Figura 1. En el documento original de COMPOUND INTEREST (2014) se señalan los elementos químicos del teléfono celular; pero en esta reformulación, quitamos los elementos químicos porque es lo que queremos que los alumnos vayan consiguiendo, y solo presentamos las partes del teléfono: pantalla, carcasa, pila, electrónica; y se describe de qué compuestos está hecha cada parte.

Elementos de un teléfono celular



Tomado de COMPOUND INTEREST 2014-WWW.COMPOUNCEM.COM. Creative Commons. Traducido al español y modificado para efectos didácticos, sin fines de lucro, por Aurora Ramos.

Figura 1. Infografía de los elementos del teléfono celular. Tomado de COMPOUND INTEREST (2014), traducido al español y modificado para esta propuesta.

Actividades en el nivel uniestructurado	Actividades en el nivel multiestructurado	Actividades en el nivel relacional
Son realizadas de manera individual. Se desarrolla en el estudiante un aspecto relevante: identifica, nombra, sigue un procedimiento simple. Se les pide:	Se desarrollan, en el estudiante, algunos aspectos relevantes independientes: combina, describe, enumera, desempeña una serie de habilidades. Esta se hace ya en equipos de 3-4.	En equipos: analiza, aplica, argumenta, compara, contrasta, critica, explica causas, relaciona, justifica. El estudiante desarrolla el conocimiento integrado en una estructura. Se les pide que:
<p>a) Reconocer los elementos que están en alguna parte de la infografía de elementos del teléfono celular (Figura 1) Anotarlos en el documento organizador. Poner su nombre en español y en inglés. Identificar su número.</p> <p>b) Decir cómo se selecciona al elemento (cómo se decide que algo es elemento, y no compuesto u otra cosa), Se puede usar una lista de opción múltiple en formularios de Google (evaluación diagnóstica). El docente colecta la información para formar grupos de 3. (Clasificamos las respuestas desde el inicio, para formar equipos con estudiantes que dieron respuesta distinta).</p> <p>c) Anotar el elemento en el lugar que le corresponde en la hoja con la tabla periódica en blanco de acuerdo al número que tiene señalado. (Puede consultar la TP interactiva).</p> <p>d) Registrar en cada elemento los usos que tiene de acuerdo a la tabla Tabla Periódica de los usos (Ver Tabla 3)</p> <p>e) Identificar y anotar para cada elemento, la característica que le corresponde de acuerdo a las que se señalan en la Tabla interactiva Ptable, o RSC (Ver Tabla 3): temperatura de fusión, reactividad química-relacionado con la electronegatividad, y conductividad eléctrica.</p> <p>f) Hacer una tarjeta con la información poniendo alguna identificación acerca de cómo ha relacionado cada propiedad con las tendencias de la tabla.</p>	<p>a) Se forman equipos. Comparten sus trabajos. Discuten las semejanzas, diferencias, y llegan a acuerdos, con un párrafo de justificación del acuerdo (en una plantilla ex profeso), para llegar a una propuesta común.</p> <p>b) Hacen de nuevo la tarjeta.</p> <p>c) Consultan la infografía del celular (Figura 1), y pegan las tarjetas de los elementos en el lugar de la infografía que cumplan con la función descrita.</p> <p>d) Agrupan los elementos de acuerdo a la función en la infografía de elementos del teléfono celular. Se pondrán los nombres de los compuestos, por ejemplo: óxido de indio y estaño, para que identifiquen al indio y al estaño.</p> <p>e) Si encuentran que hay cosas que no son elementos, pero tienen que ver con ellos, investigan en línea para encontrarlos, a partir de la tabla interactiva que mejor entiendan de la Tabla 3. Ésta no es una actividad en la cual se enseñe investigación en línea, por lo que las opciones de indagación deben estar dirigidas.</p> <p>f) Registran en el documento organizador (Tabla 4) todo lo que encuentren. Esta tabla irá dirigiendo hacia la idea de reactividad (entre elementos con propiedades características), y la formación de compuestos.</p> <p>g) Describen con sus palabras lo que entienden por compuesto. Lo anotan en la tabla organizadora.</p> <p>h) Se les pide que encuentren la electronegatividad de cada elemento, y luego que calculen la diferencia de electronegatividades para los elementos que participan del compuesto, para saber qué tipo de compuesto es (Tabla 5).</p>	<p>a) Señalen, con una línea de tendencia, el aumento de la electronegatividad en la plantilla de tabla periódica en blanco.</p> <p>b) Comparen y relacionen los datos de elemento y tipos de compuestos formados con los datos de conductividad y con los de tipo de material conductor.</p> <p>c) Produzcan una explicación. Se les dará un esquema organizador de argumentación (Tabla 6).</p>

Tabla 2. Actividades de aprendizaje, se hacen en la secuencia: uniestructurado – multiestructurado – relacional. Los estudiantes usan la Tabla 4 (documento organizador) para apoyarse en el registro.

Actividades en el nivel uniestructurado. Los estudiantes las hacen individualmente, y lo que pretendemos con ellas es desarrollar en ellos un aspecto relevante: identifica, nombra, sigue un procedimiento simple. En la actividad a) de la Tabla 2 pedimos al alumno que reconozca elementos de la pantalla del teléfono móvil, a partir de inspeccionar lo que dice la infografía mostrada en la Figura 1. Esta actividad es el primer peldaño, y se ubica como una habilidad de pensamiento de orden inferior (HPOI). Es importante subrayar que para que se desarrollen HPOS, siempre partimos de HPOI. Para la actividad b), se intenta hacer visible la noción que tiene de elemento, cada estudiante, en su esquema mental antes de pasar por las demás actividades. En estas dos primeras situaciones los estudiantes estarían en realidad funcionando en el nivel preestructurado, pero las actividades los va conduciendo para ir estructurando un aspecto. Les preguntamos qué saben de esos elementos antes de que investiguen más de ellos, para hacer una evaluación diagnóstica que nos muestre ideas previas. También, sabemos cómo se “ven” los aprendizajes esperados, así que en puntos intermedios de logro podemos ir conduciéndoles hacia ellos, por ejemplo, por medio de cuestionamientos. Así, podemos hacer la evaluación formativa y la realimentación, necesarias para el ciclo de mejora del aprendizaje.

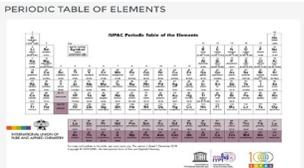
De esta manera es que vamos planteando las demás actividades que necesitan solo de HPOI, y que intentan ir estructurando el pensamiento individual.

Con el propósito de ir guiando la información que van obteniendo, siempre es necesario que tengamos en mente un *documento estructurador*, como el presentado en la Tabla 4. Allí, los estudiantes van registrando los “elementos químicos” que reconocen en la pantalla, los asocian a su nombre en español y en inglés (siempre es recomendable para que se acostumbren al inglés), su número, y que investiguen el significado de dicho número. Todas estas son actividades de indagación dirigida.

En las actividades también se propone el uso de varios tipos de Tablas Periódicas (Tabla 3), que muestran información desde divertida y general, hasta específica disciplinar. Todas se pueden consultar en línea, o se pueden imprimir para que los estudiantes las consulten físicamente, por ejemplo, si no hay internet o no disponen del dispositivo móvil. Se les pide que identifiquen usos, y que busquen información acerca de sus propiedades. Se les pide que vayan haciendo tarjetas individuales con toda esta información para cada elemento. A partir de una Tabla Periódica que solo tiene números atómicos, se les pide a los estudiantes que vayan poniendo algunos elementos de los que ya investigaron su electronegatividad (χ).

Materiales de apoyo	Descripción
Video 1. 	Video de YouTube en español: una cápsula acerca de “Cómo funcionan las pantallas táctiles”. Narración corta, dinámica y atractiva. Esta es la narrativa de enganche: “Pantallas capacitivas”, del minuto 3:32 al 4:10 (Xpress TV, 2018).
Video 2. 	Video de YouTube en español: Cómo Funciona una Pantalla Táctil Capacitiva (Piñones, 2019). Para saber más.

Tabla 3. Recursos que se piden en las actividades de la Tabla 2, su liga para los que están disponibles en línea, y una breve descripción de los mismos.

<p>Video 3. Los elementos químicos en el teléfono celular:</p> 	<p>Video de YouTube en inglés (subtítulos en español): What's in your Smartphone? (ACS, 2014) Narración de 3 minutos, asociada a la infografía de COMPOUND INTEREST (2014).</p>
<p>Infografía “Los elementos del teléfono celular” Figura 1.</p>	<p>Infografía de los elementos del teléfono celular. Tomado de COMPOUND INTEREST (2014), traducido al español y modificado para esta propuesta.</p>
<p>Hoja de papel carta con la Tabla Periódica en blanco.</p>	<p>Tabla Periódica larga en blanco, que solo tiene números atómicos.</p>
<p>Tarjetas en papel blanco (3”x5”).</p>	<p>Una tarjeta en blanco por elemento, en la que los alumnos identificarán un elemento y anotarán sus propiedades.</p>
<p>La Tabla Periódica interactiva 1: Ptable</p> 	<p>Tabla Periódica interactiva versión en español. Tiene enlaces a Wikipedia, y presenta una sección de compuestos. (Dayah, 1997).</p>
<p>Tabla Periódica interactiva 2: RSC</p> 	<p>Tabla Periódica interactiva en inglés, de la Royal Society of Chemistry. Presenta opciones de: historia, alquimia, podcast, videos, y tendencia de propiedades (densidad, radio atómico, electronegatividad, punto de fusión y de ebullición, energía de la primera ionización). Disponible en aplicación para dispositivos móviles (RSC, 2019).</p>
<p>Tabla Periódica de los usos (en imágenes):</p> 	<p>Tabla Periódica interactiva con versión en español. Presenta imágenes en caricatura, usos, y se pueden imprimir elementos en tarjetas (en inglés). (Enevoldsen, 2005-2016).</p>
<p>Tabla Periódica IUPAC:</p> 	<p>Tabla Periódica de la IUPAC en la última versión (1° de diciembre del 2018), en inglés, con una versión imprimible. (IUPAC, 2019)</p>

Actividades en el nivel multiestructurado. Se desarrollan, en el estudiante, algunos aspectos relevantes independientes: combina, describe, enumera, desempeña una serie de habilidades. Este nivel ya requiere que los aprendices interactúen entre sí,

habiendo formado con anterioridad un esquema individual de entendimiento acerca de lo que planteamos en los objetivos de aprendizaje. Son ocho actividades de aprendizaje, señalados en la Tabla 2, que intentan reconfigurar dicho esquema mental inicial. Uno de ellos considera, por ejemplo, que discutan en equipo y propongan líneas de tendencia para la electronegatividad. En este nivel todavía se trabaja con HPOI, pero como se requieren de muchas de ellas, el trabajo en equipo colaborativo disminuye la dificultad de la tarea, y permite la discusión de las ideas en las ZDP.

Elemento	Símbolo	Número	Antes de buscar información	Anota usos de los elementos	Anota usos de los elementos	Propiedades. Busca información.	Los compuestos que se mencionen en la infografía	Tipo de compuesto	Propiedades que se pueden asociar al compuesto			
Nombre en español	Nombre en inglés	Según la Tabla Periódica	Anota aquí qué es ese número y cómo se reconoce en la TP	¿Qué sabes del elemento?	Según la infografía de elementos del celular Figura.1	Según la Tabla Periódica de usos de los elementos	Conductividad eléctrica	Tipo de material según conductividad	χ Electronegatividad	Anota nombre y fórmula química.	de acuerdo con la diferencia de electronegatividad $D\chi$	Según lo que dice las infografía y TP de usos de los elementos

Tabla 4. Documento organizador.

Tipo de enlace	Covalente no polar	Covalente polar	Iónico
Diferencia de electronegatividad ($D\chi$)	Entre 0.0 - 0.4	Entre 0.5 - 1.6	Mayor a 1.6
Ejemplo	Ejemplo $3.44 - 3.44 = 0$ O_2	Ejemplo $3.44 - 1.90 = 1.54$ CuO	Ejemplo $3.44 - 0.93 = 2.51$ NaO

Tabla 5. Tipo de enlace formado de acuerdo con la $D\chi$ entre dos elementos químicos, de acuerdo con la propuesta de Pauling. La electronegatividad (χ) se define como la capacidad de un átomo en una molécula para atraer electrones hacia sí (Pauling). En la literatura existen diferentes acotamientos para identificar al enlace a partir de $D\chi$, para que el docente entienda mejor este planteamiento se sugiere consultar a Salas-Banuet et al (2010 y 2011).

Finalmente, los estudiantes empiezan a construir la idea de los compuestos a partir de asociar dos elementos, para calcular su diferencia de electronegatividades como se propone en la Tabla 5. Deben identificar el tipo de compuesto formado, y que asocien este compuesto con el tipo de material conductor, semiconductor o aislante que forma.

Actividades en el nivel relacional. Los estudiantes deben analizar, aplicar, argumentar, comparar, contrastar, criticar, explicar causas, relacionar, justificar. Desarrollan el conocimiento integrado en una estructura, esto es, consiguen HPOS. Las actividades deben diseñarse para que haya discusión, entre los aprendices, que posibilite la negociación de significados y la compartición de estrategias, de tal forma que puedan identificar los procesos metacognitivos que involucraron los resultados exitosos. La explicación científica es una de las habilidades de pensamiento más difíciles y complejas, así que no es trivial pedir a los estudiantes que expliquen y esperar que lo hagan en el nivel de expertos solo por pedirselos.

La explicación científica como una forma de argumentación

Un mundo conocible debe tener alguna estructura causal, y la explicación se da cuando nos llevamos a conocer los hechos que nos demandan explicación. Se requiere de explicación cuando se requiere de entendimiento o comprensión (Edington, 1990). Explicar

“científicamente” no es algo que puedan hacer los individuos sin entrenamiento específico. La argumentación científica no es una narración, ni tiene que ver con el dominio de una lengua, el español por ejemplo. El lenguaje científico es una herramienta epistemológica (Kelly et al, 2000). De la misma forma que los científicos se sumergen simultáneamente en prácticas argumentativas y el avance del conocimiento, los estudiantes pueden entender la ciencia al involucrarse en estas prácticas argumentativas y usarlas como herramientas básicas para aprender los conceptos. El lenguaje científico contiene símbolos matemáticos, gráficos y declaraciones. En particular, el lenguaje escrito es una herramienta importante para la organización discursiva y la consolidación de ideas rudimentarias en un conocimiento más coherente y bien estructurado (Norris y Phillips, 2003). Permite, al que la ejercita, establecer asociaciones detalladas entre la evidencia (datos, hechos, resultados de investigación), las garantías o justificaciones (modelos, teorías, conceptos, principios), y las afirmaciones (hipótesis). Escribir científicamente no es una habilidad genérica y transferible, sino una *práctica específica de la disciplina*, que permite conectar, construir, y dar sentido; es, por sí mismo, un proceso metacognitivo. El lenguaje científico se convierte en una herramienta de resolución de problemas que utiliza patrones de argumentación únicos y un género específico de función y forma para evidenciar las relaciones y causalidades (Yore, Hand, y Florence, 2004). En resumen, explicar es una práctica epistémica, culturalmente embebida, de la disciplina. Es algo que debemos enseñar deliberadamente, requiere de ejemplos contextuales, ejercicios de modelado y mucha práctica. Si los estudiantes logran producir una explicación que cumpla con los criterios expuestos en la Tabla 6, la evaluación es positiva.

Pasos de la argumentación	Desarrollo
Hechos.	Anota las observaciones descriptivas que hace, y los datos que proporciona alguna referencia (autoridad en el área). Anota resultados.
Conceptos, principios o modelos que se puedan usar para explicar (relevantes).	Responde las preguntas: ¿Qué dicen? ¿En qué parte de los hechos se pueden utilizar?
Explicación argumentada.	Redacta un párrafo para responder la pregunta original, en forma de una afirmación, que vincula los resultados con los conceptos, principios o modelos identificados relevantes, y tomando como base las observaciones y los datos.
Referencias consultadas	Anota todas las fuentes en formato APA.

Tabla 6. Esquema de argumentación simplificada.

Así, los estudiantes pueden llegar a responder la pregunta inicial ¿Por qué mi dedo puede controlar cosas en la pantalla táctil de mi teléfono celular?, identificando los elementos y compuestos que reconocen forman parte de la pantalla del celular, como el óxido de indio, el óxido de estaño, los aluminosilicatos, los iones potasio, y las tierras raras. En la infografía de la Figura 1 se afirma que una parte de la pantalla es “conductora de la electricidad”, y que esto permite que sea “sensible al tacto”, a diferencia de las otras dos partes que son el vidrio y lo que “produce los colores” y protege al aparato de la radiación UV. De esta manera, si el estudiante reconoce que son los compuestos de óxido de indio (In_2O_3) y óxido de estaño (SnO_2), de los que se tiene que hacer el análisis sugerido, obteniendo para ellos un $\text{D}\chi(\text{O-}$

In)= 1.66 y un $D\chi(\text{O-Sn})= 1.48$, y los ubica como materiales con enlace covalente polar casi iónico; si puede reconocer que en general los óxidos metálicos son semiconductores, pero que en particular estos óxidos de indio y estaño son los que forman parte de la película “conductora de la electricidad”, entonces tendrá que discutir mucho con los pares, y realizar un proceso largo y riguroso de indagación para resolver y explicar cómo este compuesto puede funcionar como conductor. Probablemente los lleve a introducir otros modelos que no se mencionaron en las actividades, como el de la Teoría de Bandas, o solo apoyarse en alguna fuente en la cual se expliquen las características de los óxidos conductores transparentes, y en particular del ITO, que es el material que forman el óxido de indio y estaño. La respuesta no es sencilla, y puede conducirlos a diferentes niveles de profundidad conceptual, pero, sobre todo, a entramar un mapa conceptual complejo en su representación mental del uso de la información que contiene la Tabla Periódica, del enlace químico, y de las propiedades de los compuestos.

Conclusiones

En este trabajo he propuesto usar a la Tabla Periódica como una herramienta para *pensar*. A partir de una pregunta inicial que puede motivar al estudiante, desde la perspectiva del ABP, los llevamos a sumergirse en la argumentación de ideas complejas, como la conductividad eléctrica, de la misma forma que los expertos disciplinares lo hacen -como una práctica epistémica. Este es un ejercicio deseable que puede llevarlos a desarrollar HPOS, y a usar la argumentación como una herramienta para aprender conceptos y resolver problemas.

Referencias

- ACS Chemistry for life [Reactions]. (2014, sept. 15). What's in your Smartphone? [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=66SGcBAs04w&feature=youtu.be>
- Agudelo Carbajal Guillermo. (2015). La función de la TP en la enseñanza de la química. Clasificar o aprender. Tesis doctoral (Tutora Merce Izquierdo). U. Autónoma de Barcelona.
- Bailey F. & Pransky K. (2014). Memory at Work in the Classroom. Strategies to Help Under-achieving Students. ASCD: Alexandria, Virginia
- Biggs, J. (1996). Enhancing Teaching through Constructive Alignment. Higher Education, 32 (3), 347-364.
- Collis and Biggs. (1982). Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy. New York: Academic Press.
- COMPOUND INTEREST (2014). Última consulta 14 de Agosto del 2019. Tomado de: <https://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/>
- Dayah, M. (1997-2019). Ptable: The Interactive Periodic Table. Recuperado el 15 de agosto de 2019, de Ptable: <https://ptable.com>
- Edington D. (1990). Explanation, causation and laws. CRÍTICA, Revista Hispanoamericana de Filosofía. XXII (66): 55-73.
- Enevoldsen, Keith. (2005-2016). Interactive Periodic Table of the Elements, in Pictures and Words. Creative Commons. Recuperado de <https://elements.wlonk.com> el 15 de Agosto del 2019.
- Ingo Eilks and Avi Hofstein Eds. (2015) Relevant Chemistry Education. From Theory to Practice. Sense Publishers: The Nethendarls.

- Kelly, G. J., Chen, C., and Prothero, W. (2000). The epistemological framing of a discipline: writing science in university oceanography. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 691–718.
- Norris, S.P. & Phillips, L.M. (2003). How literacy in its fundamental sense is critical to scientific literacy. *Science Education*, 87, 222–240.
- Piñones, E. [Bunker Maker]. (2019, marzo 31). Cómo Funciona una Pantalla Táctil. Cómo Funciona una Pantalla capacitiva. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=s240voFFcMg>
- Ryan, R.M. and Deci, E.L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25: 54–67.
- Salas-Banuet G. y Ramírez-Vieyr J. (2010). Iónico, covalente y metálico. *Educación Química*. 21(2), 118-125.
- Salas-Banuet G., Ramírez-Vieyra J. y Noguez-Amaya M. E. (2011). La incomprendida electronegatividad (trilogía) III. Comprendiendo a la electronegatividad. *Educación Química*, 22(3), 224-231.
- Sproul, B. (2001). Electronegativity and Bond Type: Predicting Bond Type. *Journal of Chemical Education*. 78(3): 387-390.
- Talanquer, V. (2013). Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us. *Journal of Chemical Education*. 90, 832-838.
- Wiggins G. P. & McTighe J. (2005). *Understanding by Design*. 2nd Ed. Alexandria, Virginia, USA: ASCD.
- Xpress TV. (2018, junio 2). Cómo funcionan las pantallas táctiles [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=OXm1YXD6Xq0>
- Yore, L. D., Hand, B. M., and Florence, M. K. (2004). Scientists' Views of Science, Models of Writing, and Science Writing Practices. *Journal of Research in Science Teaching*. 41 (4), 338–369.