

APLICACIÓN DEL MODELO 1 A 1 EN UNA ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA: UN NIÑO, UN INVESTIGADOR

Julia Torres^a, Lucía Otero^a, Marcelo Queirolo^b

^aCátedra de Química Inorgánica, Facultad de Química, Montevideo, Uruguay

^bCentro de Educación Flexible, Facultad de Química, Montevideo, Uruguay

Resumen

Un niño, un investigador fue un proyecto financiado por el programa de Apoyo a Flor de Ceibo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), en el que participaron aproximadamente 2000 niños y 110 maestros de 14 departamentos de nuestro país. Cada niño, con su computadora XO participó recogiendo y enviando datos que fueron utilizados en un trabajo de investigación que llevó a cabo la Facultad de Química con el fin de evaluar la calidad y las formas químicas de los elementos en las fuentes de agua naturales de nuestro país. Para garantizar la calidad del agua superficial en el Uruguay es necesario realizar un monitoreo permanente del recurso. Los niños participaron como investigadores primarios, realizando la colecta y envío de datos de calidad de agua (midiendo temperatura, turbidez, pH y concentración de oxígeno disuelto) en cursos de agua dulce cercanos a sus escuelas.

El empleo de las XO constituyó un objetivo en sí mismo ya que permitió emplear la estructura de computadoras personales existente, aportando además a la capacitación continua de niños y maestros en el uso de las TICs. Se destaca en este sentido que el 95% de las preguntas recibidas por nuestro equipo a posteriori de la capacitación estuvieron relacionadas con la parte informática del proyecto. Además, la comunicación electrónica fue muy fluida recibándose cientos de mensajes, aportes, fotos, comentarios, etc., por medio de la página web creada especialmente para este proyecto un sitio web en dec.fq.edu.uy/analisisdeaguas/. Las computadoras del plan Ceibal resultaron una herramienta indispensable para el éxito de la propuesta ya que permitieron la correcta referenciación geográfica de los puntos de muestreo y el envío en línea de los datos. Se emplearon también como vía de comunicación y de consulta con el equipo universitario. Para la descripción cualitativa de las experiencias por parte de niños y maestros se emplearon también recursos informáticos, enviando comentarios y fotos de las actividades.

Los escolares fueron sin duda la población objetivo principal, ya que el programa estuvo dirigido además a desarrollar el interés por la ciencia y la tecnología en los niños y a la construcción del aprendizaje desde una perspectiva experimental. Para ello, los niños contaron con el apoyo de sus maestros, quienes fueron también actores fundamentales. Los docentes de la Facultad de Química trabajaron en una primera instancia directamente con los maestros. Éstos contribuyeron con su conocimiento del lugar, de los recursos de agua y las zonas de interés. A su vez, recibieron apoyo en los temas científicos involucrados así como todo el material necesario y la capacitación para la realización de las medidas y el envío de los datos mediante la

plataforma web. Luego, los maestros coordinaron las acciones que emprendieron los niños actuando como agentes multiplicadores en la formación necesaria para la correcta toma de datos y manejo de la aplicación web para el envío de datos en línea. Finalmente, se realizó desde la Facultad de Química una devolución de los resultados obtenidos por todos los niños que participaron desde todos los puntos del país.

Introducción

En los últimos años la Universidad de la República y en particular la Facultad de Química han venido desarrollando una política de mayor apertura y relacionamiento hacia la sociedad, tanto desde el punto de vista científico-tecnológico como educativo. En este sentido, la Facultad de Química ha mostrado una política de puertas abiertas hacia el medio, fundamentalmente para divulgar las actividades científicas que desarrolla y para colaborar en problemas puntuales desde el punto de vista ambiental, toxicológico o sanitario. Ha colaborado en forma activa con distintos actores sociales y en particular con los docentes de ANEP en el área química desarrollando gran número de actividades para niños y maestros.

El presente trabajo se enmarcó además en una línea de investigación que se desarrolla en la Cátedra de Química Inorgánica y que está centrada en el estudio de las especies químicas que forman los elementos en las aguas naturales del Uruguay [1-2]. Las aguas naturales son las principales vías de movilización de los elementos químicos en el ambiente y por lo tanto, sus concentraciones máximas en las fuentes de abastecimiento de agua superficiales y subterráneas han sido reguladas por nuestros organismos nacionales. En realidad, es importante conocer no sólo las concentraciones de estos elementos en las aguas naturales, sino también su movilidad, en la medida que ambos factores son decisivos para determinar su biodisponibilidad y por lo tanto su absorción por parte de los seres vivos. Resulta entonces fundamental conocer la forma química bajo la que se presentan, es decir la especiación química del elemento, pues la toxicidad puede ser muy distinta dependiendo de la especie particular que se forme, la que va a regular no sólo su disponibilidad, sino su grado de toxicidad. Como estrategia eficiente para conocer las especies químicas se plantea la medida de parámetros que influyen marcadamente en las especies químicas que cada elemento forma: pH, temperatura, turbidez y concentración de oxígeno disuelto [3-5].

En este trabajo, los escolares, como investigadores primarios llevan a cabo la medida georeferenciada de cuatro parámetros de calidad de agua en fuentes de agua dulce y superficial cercanas a su escuela, como parte del monitoreo global de las aguas naturales del Uruguay. Se trata de una propuesta de educación no formal en la que el conocimiento se adquiere directamente a partir de la vivencia de ser investigador. La experiencia de llevar a cabo medidas reales, de manejar instrumentos, de expresar las medidas en unidades adecuadas, de compartir datos con otros investigadores, de reflexionar acerca del significado de los valores medidos, etc., genera en los niños una invaluable cercanía con la ciencia y con el método científico. Además, cada niño investigador forma parte real de un equipo científico que trasciende a su escuela y que trabaja en conjunto para lograr los objetivos. La motivación que se genera por el hecho de que cada niño puede aportar sus datos al equipo desde el lugar específico en el que vive, contribuye en gran medida al

aprendizaje. Como consecuencia del trabajo de planificación y dirección, los maestros también profundizan su formación en la disciplina química, adquiriendo asimismo algunas herramientas para futuros trabajos experimentales en ciencias naturales dentro del programa escolar. Esto genera un factor multiplicador que tiende a aumentar la formación en ciencias experimentales en la sociedad.

Finalmente, el empleo de las computadoras existentes en el marco del Plan Ceibal en Uruguay constituye un objetivo adicional, ya que se emplea adecuadamente la estructura existente, aportando además a la capacitación continua de niños y maestros en el uso de las TICs. Mediante el envío en línea de los datos, que requiere la georeferenciación de los mismos, se logra el adecuado manejo de esta herramienta por parte de niños y maestros. Además, se emplean numerosas aplicaciones más para compartir comentarios, fotos, etc. También en esta etapa, cada niño es una parte vital de un gran equipo ya que desde su computadora aporta su vivencia personal compartiéndola con otros, a la vez que puede recibir los aportes de los demás.

Materiales y metodología de trabajo

Se entregó a cada maestro participante un kit “un niño, un investigador” conteniendo los materiales con los que realizar las medidas (figura 1).



Figura 1 – kits un niño un investigador entregados a los maestros.

Para la medida de pH se emplearon tiras comerciales de pH y una escala de color para comparación. Para medir la temperatura se usó un termómetro con protección para la salida de campo. La turbidez se midió mediante el empleo de un disco Secchi que es un disco blanco pintado parcialmente de negro que se sumerge en la fuente de agua. La profundidad a la que debe sumergirse para dejar de verlo es un indicador de la claridad del agua. Se proporcionaron los materiales para que los niños construyeran el disco Secchi

(círculo plástico blanco, trozo de caño con rosca, 2 arandelas, 2 tuercas, una plomada, 1,5 m de cinta de tela, un taco Fisher para sujeción). La concentración de oxígeno se midió empleando tabletas comerciales (adquiridas a la empresa LaMotte) con las que se mide mediante una reacción química de desarrollo de color que se da en presencia de oxígeno y se determina la concentración por comparación con una escala de color. Cada kit “un niño, un investigador” permite realizar la actividad 5 veces, con lo cual cada maestro puede realizarlo con grupos diferentes de niños de una misma escuela o de dos escuelas (en casos de maestros de dos escuelas fue la modalidad elegida), o incluso compartir la experiencia con otros maestros de su escuela, multiplicando nuevamente el alcance de esta actividad.

Trabajo con los maestros

El trabajo se centró en el estudio de la calidad del agua dulce superficial de nuestro país. Los problemas ambientales involucran un área de mucho interés para los niños y maestros en la actualidad. Se aprovechó esta motivación ya existente para atraer a los escolares, por intermedio de sus maestros. Los maestros constituyeron un pilar muy importante ya que fueron los encargados de nuclear, organizar y dirigir todas las acciones emprendidas por los niños. Además, su colaboración constituyó un factor multiplicador indispensable para poder llevar la actividad al mayor número posible de niños.

En cada uno de los departamentos se trabajó directamente con los maestros de escuelas públicas o privadas con aulas Ceibal. En cuanto a la localización geográfica de los puntos de muestreo, algunos maestros plantearon la posibilidad de trabajar en recursos de agua en las cercanías de su escuela mientras que otros, debido a situaciones locales que generaban intereses particulares, preferían trasladarse hacia alguna fuente de agua de interés. Se tuvieron en cuenta las realidades locales y las preferencias de los participantes en todo momento para la asignación de los kits y de los lugares de trabajo, de manera de movilizar y motivar adecuadamente a las distintas regiones.

Para poder lograr los objetivos propuestos se organizaron jornadas de capacitación en los diferentes departamentos, de manera de nuclear el mayor número posible de maestros. Por ejemplo, en la visita realizada a la ciudad de Rocha fue posible reunir maestros de tres departamentos de la región este. Se logró además en los casos de los departamentos de Flores y la zona Este reunida en Rocha trabajar sobre todo con maestros rurales. Se cubrieron en total 14 departamentos.

Estas jornadas de capacitación incluyeron:

- a) Descripción breve de la temática de la investigación,
- b) Explicación de qué tipos de muestras son las adecuadas para la investigación: aguas dulces naturales y superficiales (es decir la parte superior de cualquier corriente de agua dulce),
- c) Explicación de la elección de los cuatro parámetros a medir: temperatura, pH, turbidez y concentración de oxígeno disuelto,

- d) Capacitación teórica acerca de la medida de estos cuatro parámetros, qué es lo que nos permiten conocer, cuáles son los valores esperados para ellos y cómo se miden (instrumentos, unidades, cuidados a la hora de medir, forma de expresar los resultados, etc.),
- e) Capacitación práctica de la medida, mediante el uso con los maestros de los materiales,
- f) Demostración del uso de la plataforma para ingreso de datos incluyendo la utilización del programa Google Earth como medio de referenciación geográfica,
- g) Puesta a disposición de material informativo escrito,
- h) Entrega de los kits “un niño, un investigador” conteniendo todos los materiales necesarios para realizar las medidas

Creación del sitio web

Las computadoras del plan Ceibal resultaron una herramienta indispensable ya que permitieron la correcta referenciación geográfica de los puntos de muestreo y el envío en línea de los datos. Se emplearon también como vía de comunicación y de consulta. Para la descripción cualitativa de las experiencias por parte de niños y maestros se emplearon también recursos informáticos, enviando comentarios y fotos de las actividades. Se trabajó fuertemente en la capacitación de niños y maestros en el adecuado empleo de los recursos informáticos. Se destaca en este sentido que el 95% de las preguntas recibidas por nuestro equipo luego de la capacitación estuvieron relacionadas con la parte informática de la propuesta. Además, toda la comunicación posterior que fue muy fluida recibándose cientos de mensajes, aportes, fotos, comentarios, etc., fue totalmente electrónica.

Se creó un sitio web específico en dec.fq.edu.uy/analisisdeaguas/ donde se describe brevemente la propuesta, se ponen a disposición materiales didácticos y se invita a participar. Desde allí se accede por un lado a la plataforma privada que permite el ingreso de datos en línea, y al blog que permite compartir comentarios de las experiencias de los niños, fotos, etc.

El sitio que permite el ingreso de datos en línea consiste de una aplicación en la que los usuarios luego de ingresar con una clave que se les proporciona, pueden localizar el punto en el que realizaron la toma de muestra empleando la herramienta Google Earth. Una vez posicionado el punto, colocan un marcador en su punto de muestreo e ingresan el nombre de la escuela, la fecha, y los cuatro valores medidos. Una vez ingresados, el mismo usuario u otro con la misma clave proporcionada a todos los participantes puede, haciendo click sobre el marcador, ver los valores ingresados. Así cada niño, puede ver sus datos así como los datos ingresados por los demás. En la figura 2 se muestra el sitio de ingreso de datos.



Figura 2- Vista global del sitio de ingreso de datos.

Resultados educativos y sociales

El retorno para los niños y maestros de distintos puntos del país fue en primer lugar educativo, ya que obtuvieron una adecuada capacitación en cuanto a la observación de aguas naturales, tomas de muestra, medidas de cuatro parámetros de calidad, forma correcta de manejar la información científica, referenciación geográfica adecuada, y empleo de recursos informáticos. En segundo lugar, el involucramiento de los diferentes actores en la propuesta, trascendió la educación formal promoviendo la participación de la sociedad en la generación primaria de conocimiento y estimulando el estudio de la ciencia en los niños. Asimismo, enfatizó la concientización social acerca de temas ambientales en nuestro país, dando especial relevancia a las realidades locales relacionadas con problemáticas ambientales.

Luego de nuestra visita a los distintos departamentos, los maestros realizaron con los niños un proyecto de aula que constituye un trabajo de aproximadamente un mes incluyendo: una clase en la que introducen los conceptos a trabajar, una segunda instancia de conocimiento de los materiales de trabajo incluyendo la construcción por parte de los niños del disco Secchi y la organización de equipos de trabajo, luego una salida de trabajo de campo que incluye no sólo la toma de muestra sino observaciones del lugar, encuestas, etc, y una clase posterior de aprendizaje a partir de los resultados, las formas de expresarlos y entregarlos por vía electrónica y finalmente una instancia de comparación de los resultados con los que hayan obtenido otros niños de otras escuelas, que obtienen de la página web.

Resultados científicos

Este trabajo permitió vincular el trabajo de investigación en Especiación Química y Ambiente que se está realizando desde hace varios años, con niños y maestros de todo el país. Estos datos georreferenciados constituyen un banco de información, que permite hacer un barrido del estado general de las aguas dulces

naturales en el Uruguay desde el punto de vista ambiental. Posibilitan además predecir aproximadamente la especiación y destino de los elementos químicos presentes en esas aguas. Se recabaron 110 puntos diferentes de muestreo.

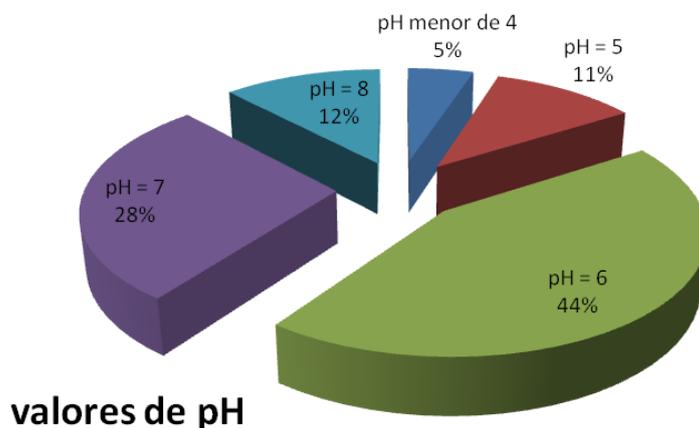


Figura 3 – Valores de pH obtenidos en el muestreo realizado por los niños.

Para la determinación de la especiación química, la medida de la acidez dada por la concentración hidrogeniónica libre, es decir el pH, es un factor esencial. El pH, es sin dudas el parámetro más importante para definir por ejemplo la movilidad de los metales pesados en las aguas naturales [4,6]. Además es un parámetro que por sí mismo provee de información respecto al grado de contaminación de un medio acuático. Los medios acuáticos ácidos se relacionan generalmente con medios con altos grados de contaminación, por lo que esta medida en diferentes puntos del país permite realizar una estimación y mapeo del grado de contaminación general.

Los valores de pH esperados para muestras de agua natural están comprendidos entre 5 y 9. En particular, para aguas dulces este intervalo es de 5 a 8. La mayor parte de los resultados (figura 3) presentan un valor muy adecuado desde el punto de vista ambiental, comprendidos entre 6 y 8. Una muy baja proporción de los resultados aparece fuera de estos intervalos. Se debe tener en cuenta que los valores informados, al ser recabados por operadores no expertos, deben ser verificados, lo cual es posible gracias a la georreferenciación realizada.

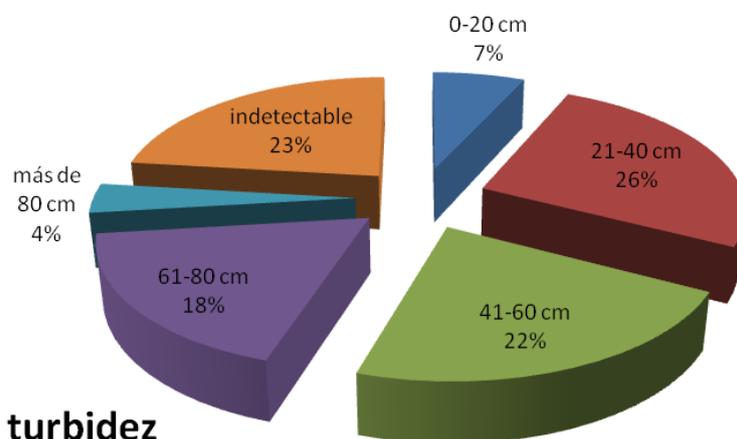


Figura 4 – Valores de turbidez obtenidos en el muestreo realizado por los niños.

La turbidez es también un importante indicador de la calidad de agua. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. Estas partículas sólidas bloquean la luz solar y evitan que las plantas acuáticas obtengan la energía solar que necesitan para la fotosíntesis. Una elevada turbidez de origen inorgánico (normalmente asociada a una alta concentración de oxígeno disuelto) indica el grado en el que las especies menos solubles pueden estar presentes en forma de suspensión. Los valores de turbidez medidos (figura 4) se obtuvieron mediante empleo del disco Secchi con en el que se registra la longitud sumergida en cm hasta perder contacto visual con el disco. Dicha longitud es inversamente proporcional a la turbidez. Este parámetro resulta el más disperso. La mayor parte de las muestras indicaron la presencia de agua medianamente clara a clara. La turbidez puede relacionarse con la presencia de gran cantidad de materia orgánica (ácidos húmicos y otros compuestos provenientes de la descomposición de seres vivos), biológica (por sobre desarrollo de fitoplancton) o bien inorgánica (arenas, limos, material arcilloso). De acuerdo a los valores obtenidos de concentración de oxígeno en las muestras que presentan mayor turbidez (la cual disminuye en los casos en que se encuentra una elevada concentración de materia orgánica o biológica) se infiere la presencia buena cantidad de material arcilloso inorgánico en los casos de elevada turbidez (valores en longitud inferiores a 40 cm).

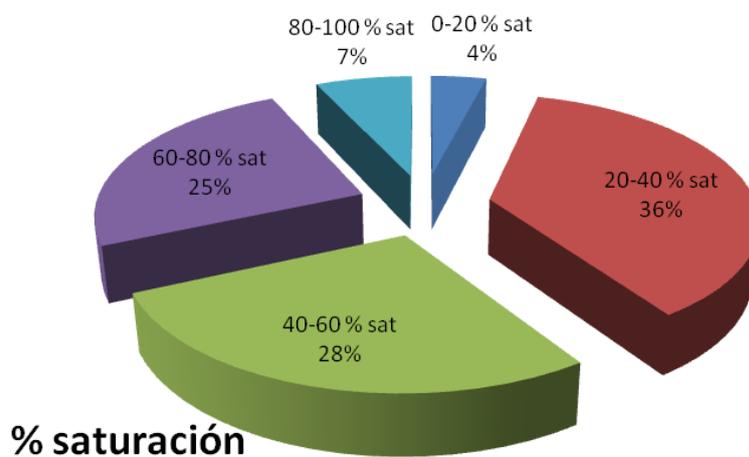


Figura 5 – Valores de porcentajes de saturación de oxígeno obtenidos en el muestreo realizado por los niños.

El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y de cuán bien puede dar soporte a la vida vegetal y animal. A la misma temperatura, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Desde el punto de vista químico, el oxígeno disuelto es otro parámetro fundamental a monitorear ya que permite conocer el valor de pE que se relaciona directamente con el estado redox de cada muestra, indicando si cada elemento se encuentra predominantemente en sus formas oxidadas o reducidas, lo que puede también afectar la movilidad, toxicidad y biodisponibilidad de un elemento. La concentración máxima de oxígeno disuelto depende de su solubilidad en las condiciones de cada muestra. Tanto la temperatura como la concentración de sales influyen en la solubilidad de oxígeno. De acuerdo a los valores esperados de solubilidad para cada muestra se puede calcular el porcentaje de saturación de oxígeno que

representa cuánto oxígeno disuelto hay en cada muestra respecto al máximo valor esperado a la temperatura de medida. Los porcentajes de saturación calculados muestran en general altos porcentajes de saturación. A pesar de que los valores de concentración de oxígeno medidos fueron bajos, los porcentajes de saturación no lo son. Esto se debe a que en general, las temperaturas medidas hasta ahora fueron bajas ya que la mayor parte de las salidas de campo se realizaron en invierno.

Conclusiones

El trabajo realizado permitió emplear las facilidades existentes en el Plan Ceibal para realizar un trabajo de educación no formal en el área científica. Esta experiencia involucró a un amplio número de participantes en todo el territorio del país, que no sólo incluyó a niños y maestros sino a estudiantes, docentes e investigadores de la Facultad de Química y otros actores sociales. De acuerdo a las encuestas realizadas a todos los participantes, la propuesta fue considerada a la vez muy divertida y altamente adecuada al nivel de los niños por el 83 % de los maestros. Asimismo, el 92 % de ellos consideró que la capacitación recibida fue adecuada y suficiente. Además de la evaluación cuantitativa, un enorme número de mensajes de agradecimiento y de apoyo a la propuesta dan cuenta del éxito cualitativo del mismo.

Desde el punto de vista de la investigación, los datos obtenidos en relación con la calidad del agua natural fueron, en general, buenos, requiriéndose en muy pocos casos la repectición de las medidas en los puntos de muestreo.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica en la convocatoria Ad Hoc de Apoyo a Flor de Ceibo. Participaron en este trabajo varios docentes de la Facultad de Química: Micaella Cipriani, Carolina Pejo, Florencia Tissot, Valery Bühl, Jessica Santander, Natalia Álvarez, Soledad Machado y Patricia Acosta. La página web fue diseñada por María Rita Chiappetta y la aplicación web para el envío de datos en línea fue realizada por Guillermo Nater.

Referencias

- 1) "Selenium chemical speciation in natural waters", J. Torres, V. Pintos, L. Gonzatto, S. Domínguez, C. Kremer, E. Kremer, *Chemical Geology*, **288**, 32-38 (2011)
- 2) "Selenite and selenate speciation in natural waters: interaction with +2 metal ions", J. Torres, V. Pintos, S. Domínguez, C. Kremer, E. Kremer, *Journal of Solution Chemistry* **39**, 1-10 (2010)
- 3) "La hidrólisis del Fe(III) y su importancia en aguas naturales y potables", J. Torres, C. Kremer, E. Kremer, *ALDEQ XXIII*, 80 (2008)

- 4) "Diagramas pE-pH: un atajo hacia la especiación del selenio", J. Torres, C. Kremer, E. Kremer, ALDEQ **XXII**, 15 (2007)
- 5) "Diagrama de distribución de especies: su aplicación a sistemas acuosos conteniendo Pb(II)", J. Torres, C. Kremer, E. Kremer, ALDEQ **XIX**, 22 (2005)
- 6) "Cationes que forman aniones, metales que parecen no metales", J. Torres, C. Kremer, E. Kremer, enviado para su publicación en ALDEQ **XXVII** (2012).