

SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE RELACIONADA CON EL
PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
MERCURIO PARA EL DESARROLLO ACTITUDINAL CON ENFOQUE CTS.

MARITZA ANGÉLICA MURCIA HERNÁNDEZ
MELANY ALEJANDRA RUIZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

SECUENCIA DE ACTIVIDADES RELACIONADA CON EL PROCESO DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO PARA
EL DESARROLLO ACTITUDINAL CON ENFOQUE CTS.

MARITZA ANGÉLICA MURCIA HERNÁNDEZ
MELANY ALEJANDRA RUIZ LÓPEZ

TRABAJO DE GRADO

DIEGO ALEXANDER BLANCO MARTÍNEZ
DIRECTOR
MAGISTER EN CIENCIAS- QUÍMICA
RODRIGO RODRÍGUEZ CEPEDA
CO-DIRECTOR
MAGISTER EN QUÍMICA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

Dedicatoria

A Dios,

Por su amor incondicional, su inmensa gracia y rodearnos constantemente con su presencia, ser nuestro guía y refugio en momentos de tristeza y dificultad, pero sobre todo por escribir un plan perfecto para nuestras vidas y permitirnos compartir juntas un camino lleno de amor, risas y buenos momentos al construir esta amistad, siendo este trabajo de grado uno de los mejores frutos.

Melany & Maritza

AGRADECIMIENTOS

A mis amados Padres Ricardo y Johanna por su amor, sus consejos y paciencia, por darme su ejemplo y las mejores enseñanzas, por llenarme de fe y esperanza en medio de los obstáculos, por creer en mí y ser mi impulso para alcanzar mis sueños, por sus palabras de amor y ánimo en los días más grises.

A mis hermanas Natalia y Daniela por su compañía y ánimo, por brindarme su amor y alegrarme cada día, por permitirme aprender de las dificultades y enseñarme a disfrutar de las cosas simples de la vida, llenándome de risas y hermosos momentos.

Melany

A mi madre Gloria Hernández por brindarme su apoyo incondicional, sus consejos y palabras de aliento sin importar donde se encontrará, por enseñarme que las cosas que se consiguen con esfuerzo traen consigo la satisfacción y la recompensa más grande, que con perseverancia y paciencia todo tiene una solución, siendo ella de este modo mi gran ejemplo a seguir.

A mis hermanos Harvey, Mary y Mónica quienes me apoyaron no solo en el proceso de construcción de este trabajo si no durante todo el proceso de formación de distintas maneras. Quienes recordando cada una de mis capacidades lograron que ante cualquier obstáculo creyera en mi misma con mucha fortaleza para poder culminar este proceso

De manera especial a mi novio quién con su compañía, ayuda incondicional y palabras de fortaleza hizo que parte del proceso de formación y del presente trabajo de grado se efectuara con éxito; de igual forma a mis cuñados Diego y Constanza, quien aportando su granito de arena a lo largo de la carrera contribuyeron de igual manera a que mi proceso de formación como licenciada en química pudiera ser finalizado.

A mis gatos quienes se convirtieron en mi compañía noche y día, siendo mi paño de lágrimas ante cada una de las adversidades.

Maritza

Finalmente agradecemos a nuestro director por su apoyo, orientaciones y enseñanzas que permitieron el desarrollo de esta investigación, agradecemos inmensamente su tiempo, compañía y acogimiento.



1. Información General

Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE RELACIONADA CON EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO PARA EL DESARROLLO ACTITUDINAL CON ENFOQUE CTS.
Autor(es)	Murcia Hernández Maritza Angélica y Ruiz López Melany Alejandra
Director	Msc. Blanco Martínez Diego Alexander
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017, 102p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD (CTS), MERCURIO, SECUENCIA DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE (SEA), BIORREMEDIACIÓN

2. Descripción

La Institución Educativa Distrital Veintiún Ángeles en sus principios institucionales resalta la importancia de desarrollar en los estudiantes la criticidad y el cuestionamiento, con el fin de formar hombres y mujeres participativos mediante procesos de aprendizaje significativo y la contextualización en ámbitos sociales, políticos y culturales (I.E.D, 2014). En ese sentido, el estudiante formado bajo estos principios, se encontrará en la capacidad de aplicar sus conocimientos como una alternativa de solución ante problemáticas cotidianas; siendo congruente con lo establecido por el MEN, (2016) en los DBA (derechos básicos de aprendizaje) donde para grado 11 en el área de ciencias debe abordarse de forma sistémica cuestiones ambientales actuales.

Así, el abordaje de la extracción minera de oro como problemática ambiental en la aplicación de la SEA, permitió generar en los estudiantes una visión crítica y reflexiva de la incidencia social de las acciones científicas y tecnologías, así como articular los conocimientos adquiridos en el abordaje de la técnica biorremediación para el planteamiento de soluciones que permiten mitigar los efectos producidos en diversas problemáticas de contextos cercanos y lejanos, favoreciendo la generación de acciones cívicas fundamentadas desde procesos reflexivos permitiendo la construcción de ciudadanos activos en la sociedad.

Además de lo anterior fue posible la promoción de actitudes tanto adecuadas como plausibles hacia las interacciones CyT de incidencia social una vez fue realizado el proceso reflexivo y contextualizado de la problemática mencionada.



3. Fuentes

- Acevedo, J. A., Vasquez Alonso, Á., & Manassero–Mas, M. A. (2002). Actitudes y creencias CTS de los alumnos: su evaluación con el cuestionario de opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología Sociedad E Innovación*, 2. Retrieved from <http://www.oei.es/historico/revistactsi/numero2/varios1.htm>
- Acevedo, J. A., Vázquez Alonso, A., & Manassero Mas, M. A. (2001). El Movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias. *OEI (Avaluació Dels Temes de Ciència, Tecnologia I Societat)*.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., & Acevedo-Romero, P. (2003). Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 2(3), 353–376.
- ACTAF, A. C. de T. A. y F. (2007). Capitulo III las Lombrices.
- Avalezco, E. (2010). Líquido celómico. Retrieved from <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/20830.html>
- Bennássar, A., Vázquez, Á., Manassero, M. A., & García-Carmona, A. (2010). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de la ciencia y la tecnología. Documentos de trabajo.*
- Beschin, a., Bilej, M., Hanssens, F., Raymakers, J., Van Dyck, E., Revets, H., ... Timmermans, M. (1998). Identification and Cloning of a Glucan-and Lipopolysaccharide-binding Protein from Eisenia foetida Earthworm Involved in the Activation of Prophenoloxidase Cascade. *Journal of Biological Chemistry*, 273(38), 24948. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9733802> <http://www.jbc.org/content/273/38/24948.shorrt>
- Calao, C. R., & Marrugo, J. L. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(2015), 139–151. <http://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
- Callejas, R, M. M. E. A. M., & Idárraga, A. Y. (2013). Implicaciones de una Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje en la comprensión de la naturaleza del conocimiento científico, 12–17.
- Camacho, O., Gómez, G., & Leonor, G. (2013). ACTITUDES FRENTE A LA RELACIÓN CTS DE ESTUDIANTES DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES.
- Cerenius, L., & Söderhäll, K. (2004). The prophenoloxidase-activating system in invertebrates. *Immunological Reviews*, 198, 116–126. <http://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.00116.x>
- Clarke, S. F., Murphy, E. F., Nilaweera, K., Ross, P. R., Shanahan, F., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2012). The gut microbiota and its relationship to diet and obesity: new insights. *Gut Microbes*, 3(3), 186–202. <http://doi.org/10.4161/gmic.20168>
- Cornell University. (n.d.). Bacteria de Bajo GC Contenido y Gram Positivo. Retrieved from <https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/espanol/bacteria-de-bajo-gc-contenido-y-gram-positivo>
- Eisenkraft, a. (2003). Expanding the 5E model. *The Science Teacher -Washington-*, 70(6), 56–59. Retrieved from <http://www.its-about-time.com/iat/5e.pdf>
- Flores, B. (2011). Diseño Y Validación De Un Método De Análisis Por Espectrofotometría Uv-Vis Para Cinc (Ii) Y Mercurio (Ii) En Muestras Acuosas, (Ii), 102.
- Garritz, A. (1994). Ciencia-Tecnología-Sociedad: A diez años de iniciada la corriente. *OEI*. Retrieved from <http://www.oei.es/historico/salactsi/quimica.htm>
- Gudbrandsen, M., Sverdrup, L. E., Aamodt, S., & Stenersen, J. (2007). Short-term pre-exposure increases earthworm tolerance to mercury. *European Journal of Soil Biology*, 43(SUPPL. 1),



- 261–267. <http://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.025>
- Hernandez, M. Y. (2015). *RIESGO TOXICOLÓGICO EN PERSONAS EXPUESTAS, A SUELOS Y VEGETALES, CON POSIBLES CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS, EN EL SUR DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA*. Universidad Nacional de Colombia. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hirano, T., & Tamae, K. (2011). Earthworms and soil pollutants. *Sensors*, 11(12), 11157–11167. <http://doi.org/10.3390/s111211157>
- I.E.D, V. A. (2014). Agenda Escolar y Manual de Convivencia. BOGOTÁ, D.C.
- Kensa, V. M. (2011). Bioremediation - an Overview, 27(2), 161–168.
- KHAN, H., AHMED, M. J., & BHANGER, M. I. (2005a). A Simple Spectrophotometric Determination of Trace Level Mercury Using 1,5-Diphenylthiocarbazone Solubilized in Micelle. *Analytical Sciences*, 21(5), 507–512. <http://doi.org/10.2116/analsci.21.507>
- KHAN, H., AHMED, M. J., & BHANGER, M. I. (2005b). A Simple Spectrophotometric Determination of Trace Level Mercury Using 1,5-Diphenylthiocarbazone Solubilized in Micelle. *Analytical Sciences*, 21(5), 507–512. <http://doi.org/10.2116/analsci.21.507>
- Le Roux, S., Baker, P., & Crouch, A. (2016a). Bioaccumulation of total mercury in the earthworm *Eisenia andrei*. *SpringerPlus*, 5(1). <http://doi.org/10.1186/s40064-016-2282-6>
- Le Roux, S., Baker, P., & Crouch, A. (2016b). Bioaccumulation of total mercury in the earthworm *Eisenia andrei*. *SpringerPlus*, 5(1), 681. <http://doi.org/10.1186/s40064-016-2282-6>
- Manassero Mas, M. A., Vasquez Alonso, Á., & Acevedo Diaz, J. (2001). La evaluación de las actitudes CTS. *Organización de Estados Iberoamericanos*.
- Manassero-Mas, M. A., & Vázquez-Alonso, Á. (2001). Instrumentos Y Métodos Para La Evaluación De Las Actitudes Relacionadas Con La Ciencia, La Tecnología Y La Sociedad. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(1), 15–27.
- Martínez, J. A., & Uribe, A. (2015). El Mercurio y la contaminación por actividad extractiva. *Ontare*.
- Martínez-Artero, R. N. y A. de P. B. (2005). *ACTITUDES HACIA LAS CIENCIAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN PRIMARIA DE LA REGIÓN DE MURCIA*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Universidad de Murcia.
- McComas, W. F. (1998). *The Nature of Science in Science Education*. *Cerebrum*. <http://doi.org/10.1007/0-306-47215-5>
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 1(1), 77–99.
- Melorse, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de La Mojana. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Membali, P. (2001). Una Revision del Movimiento CTS en la Enseñanza de las Ciências. *Enseñanza de Las Ciencias Desde La Perspetiva Ciência-Tecnología-Sociedade: Formación Científica Para La Ciudadanía*, 91–103.
- MEN, M. de E. N. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje*. Retrieved from http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA_C.Naturales.pdf
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, M., & Antioquia, U. de. (2010). *Cuantificación de Liberaciones Antropogénicas de Mercurio en Colombia*. BOGOTÁ, D.C.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). *Diagnostico nacional de salud ambiental*. Retrieved from [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
- Ministerio de Minas y Energías. (2011). *Minas y Energía*.
- OMS. (2016). El mercurio y la Salud. Retrieved from



- <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- Orozco, J. M., & Macías, M. D. P. C. (2010). Determinación de mercurio en formulaciones farmacéuticas utilizando un sistema de flujo continuo y ditizona en medio micelar. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 41(1), 37–43.
- Paisio, C. E., González, P. S., Talano, M. A., & Agostini, E. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiente Y Algal*, 3(2), 119–146.
- Perez, F., & Perez, D. (1983). *Análisis de elementos-traza por espectrofotometría de absorción molecular ultravioleta-visible*.
- Porras Vallejo, O. A. (2012). Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de la región de La Mojana, 90.
- Posada, R. (2012). Procesos de bioremediación. Retrieved October 23, 2016, from http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358025/Modulo_FINAL_358025.pdf
- Programa Nacional de Riesgos Químicos. (2007). Mercurio: Cartilla de Información. *Movimiento Mundial Para El Cuidado de La Salud Libre de Mercurio*.
- RAE. (2016). Microcosmos. Retrieved from <http://dle.rae.es/?id=PBsa4YG>
- Rieder, S. R., Brunner, I., Daniel, O., Liu, B., & Frey, B. (2013). Methylation of Mercury in Earthworms and the Effect of Mercury on the Associated Bacterial Communities. *PLoS ONE*, 8(4), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0061215>
- Rodriguez, P. A. (2013). *TRANSFORMACIÓN DE LAS CONCEPCIONES SOCIOLOGICAS SOBRE NATURALEZA DE LA CIENCIA (NdC) EN ESTUDIANTES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA TÉCNICA FABIO LOZANO Y LOZANO PIEDRAS - TOLIMA*.
- Rom, L. R. (2014). Determinación de los niveles de mercurio en suelo en San Martín de Loba, sur de Bolívar - Colombia, 143–149.
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*.
- Sanabria, T. I. A., & Callejas, R. M. M. (2012). LAS RELACIONES CTS: ESTUDIO. *Praxis Y Saber*, 3(5), 103–125.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and Quasi-Experimental for Generalized Designs Causal Inference. *Handbook of Industrial and Organizational Psychology*, 223, 623. <http://doi.org/10.1198/jasa.2005.s22>
- Simco. (2015). Historico de producción de oro. Retrieved from http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=355
- Solomon, J. (1989). *Development and dilemmas in science education - Fensham, P. Chapter 13 The Dilemma of Science. Technology and Society Education. Journal of Education and Teaching* (Vol. 15).
- Spurgeon, D. J., & Hopkin, S. P. (1996). The effects of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: Quantifying species effects. *Applied Soil Ecology*, 4(2), 147–160. [http://doi.org/10.1016/0929-1393\(96\)00109-6](http://doi.org/10.1016/0929-1393(96)00109-6)
- Vásquez, Á., & Manassero, M. A. (2009). La relevancia de la educación científica: Actitudes y valores de los estudiantes relacionados con la ciencia y la tecnología. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33–48.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: una revisión conceptual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 13(3), 337–346. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/22626>
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). Secuencias de enseñanza-aprendizaje CTS contextualizadas en química del proyecto EANCYT. *Educació Química EduQ*, 11, 32–39.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2014). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia*,



Tecnología y Sociedad (COCTS). Unidades Didácticas del proyecto EANCYT.
<http://doi.org/10.13140/2.1.4221.0242>

Vázquez Alonso, Á., & Manassero–Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica.

Vázquez-Alonso, Á., Aponte, A., Manassero-Mas, M. A., & Montesano, M. (2014). Una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre un tema socio-científico: Análisis y evaluación de su aplicación en el aula. *Educacion Quimica*, 25(E1), 190–202. [http://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70558-0](http://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70558-0)

Vázquez-Alonso, Á., Manassero–Mas, M. A., & Benassar, A. (2013). *Enseñanza y aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y tecnología (EANCYT): una investigación experimental y longitudinal*. Palma de Mallorca. <http://doi.org/10.1590/S1678-31662006000300009>

Vijver, M. G., Vink, J. P. M., Miermans, C. J. H., & Van Gestel, C. A. M. (2003). Oral sealing using glue: A new method to distinguish between intestinal and dermal uptake of metals in earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 125–132. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00245-6](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00245-6)

Villarejo Doadrio, A. L. (2000). Ecotoxicología y acción toxicologica del mercurio, 1–25.

Zapata, I. C., Saldarriaga, J. F., Posada, E., Martinez, L., & González, M. E. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina* 77, 27–1, 77–91. <http://doi.org/10.18359/rcin.1911>

4. Contenidos

Este trabajo de investigación nace como una iniciativa para la comprensión de la NdCyT (Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología) y la búsqueda del favorecimiento de actitudes adecuadas frente a la temáticas de la sociología externa de la Ciencia (IOS), teniendo en cuenta la problemática nacional de contaminación por mercurio observada principalmente en la región de la Mojana; a partir de ello, se lleva a cabo la construcción e implementación de una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) incluyéndose las siguientes temáticas:

- **Definición de actitud y tipos de actitudes:** El objetivo principal en la inclusión de la enseñanza de las relaciones CTS en los procesos de educación en ciencias es generar interés y promover valores hacia la ciencia, en este sentido es relevante el desarrollo de actitudes hacia las diversas acciones del sistema tecno científico. Las actitudes de este modo se convierten en acciones evaluables dentro de la enseñanza CTS al estar compuestas por tres elementos (conductual, afectivo y cognitivo); definiéndose de este modo la actitud como el conjunto de conocimientos, predisposiciones, conductas afectivas y comportamentales que emergen de un individuo hacia un objeto social determinado. (Manassero Mas, Vasquez Alonso, & Acevedo Diaz, 2001).

Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos mencionados y en relación al conocimiento de la NdCyT las actitudes son clasificadas en:

Adecuada: si presenta una postura informada acerca de la NdCyT

Plausible: la proposición presenta contenido aceptable sobre la NdCyT



Ingenua: la frase expresa una opinión desinformada de la NdCyT

- **Contaminación por mercurio:** La contaminación por el uso de mercurio como técnica principal de extracción de oro, ha generado diversas problemáticas socio-ambientales, como la contaminación de ríos, la infertilidad de suelos y la incorporación de mercurio en la cadena trófica produciendo directamente enfermedades, el desarrollo de mutaciones y efectos neuromusculares; de tal forma que es indispensable la creación de nueva técnicas menos contaminantes así como de alternativas para la recuperación de las matrices ambientales perjudicadas.
- **Proceso de biorremediación:** Es un proceso fundamentado en las bases fisicoquímicas de la sorción, por medio de la incorporación del uso de biomasa vida o muerta para la estabilización, transformación o degradación de contaminantes ambientales, mediante procesos controlados (Mejía, 2006) (Kensa, 2011); entre estos procesos se encuentra la fitorremediación, rizorremediación o la ficorremediación. Este proceso es llevado a cabo por medio de la adsorción y la metabolización de los contaminantes en diferentes matrices ambientales.

Teniendo en cuenta los principales ejes presentados anteriormente, se construye e implementa una SEA para promover visiones informadas acerca de la NdCyT, así como la comprensión del proceso de biorremediación llevado a cabo por las lombrices, en situaciones simuladas como prácticas de laboratorio desarrolladas con los estudiantes de grado undécimo, con el uso de hidrogeles y carbón activado; allí mismo los estudiantes evalúan la viabilidad y plantean nuevas metodologías para problemáticas de entornos más lejanos como la contaminación en el Río Bogotá.

La secuencia de actividades diseñada SEA, hace parte del proyecto “Educación de las competencias científica, tecnológica y pensamiento crítico mediante la enseñanza de temas de naturaleza de ciencia y tecnología”, (CYTPENCRI) apoyado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad 2015) desde la Universidad de las Islas Baleares y en cual participan profesores del departamento de Química, del grupo Didáctica y sus Ciencias

5. Metodología

La presente investigación fue desarrollada bajo un enfoque mixto teniendo en cuenta un diseño del tipo cuasi-experimental, el cual permite la investigación en la psicología, fundamentalmente al evaluar las causas y efectos de un tratamiento, en este caso, la intervención didáctica.

De esta forma, la investigación fue orientada en tres fases metodológicas:

- **Fase de iniciación:** La cual consistió en la caracterización de las actitudes de los estudiantes frente las cuestiones del instrumento COCTS en la forma pre-test, seguido de la construcción de la SEA.
- **Fase de desarrollo:** Mediante la cual se llevó a cabo la implementación de todas las actividades de la SEA, incluyendo, prácticas de laboratorio contempladas en el ciclo de



aprendizaje 7E; además de ello se realizó el desarrollo del diseño experimental en el cual se evaluó la eficacia del proceso de biorremediación de suelos contaminados con Mercurio por medio de *Eisenia Foetida*.

- **Fase de finalización:** Finalmente, se realiza la evaluación del impacto de la secuencia de enseñanza-aprendizaje en torno al favorecimiento de actitudes adecuadas frente a cuestiones de la sociología externa de la Ciencia y la Tecnología.

A partir de las fases metodológicas de la investigación se realizó la comparación y se establecieron las relaciones correspondientes entre los cambios y el impacto de la implementación de la SEA: Lombrices: una solución al problema del mercurio.

6. Conclusiones

A partir de esta investigación, se caracterizó la población con visiones diversas frente concepciones de la NdCyT, además de ello fue posible el desarrollo y construcción de la SEA facilitando la promoción de actitudes adecuadas y plausibles frente a la relación entre la ciencia, tecnología y sociedad así como de fomentar la motivación y participación social ante problemáticas socio-ambientales desde una postura activa y reflexiva desde la cual los estudiantes se situaron como agentes de cambio generando diversas alternativas de solución, observándose los mayores desempeños en categorías como el impacto social del conocimiento científico y tecnológico; sin embargo debido al carácter mayoritariamente social de la SEA, los estudiantes presentaron dificultad al establecer relaciones directamente entre la tecnología y la ciencia, comprendiéndolas así, como un todo.

El componente conceptual (proceso de biorremediación) y el desarrollo de las actividades relacionadas tales como los laboratorios posibilitaron la comprensión de los conocimientos científicos como herramientas y técnicas para la solución de las problemáticas ambientales, permitiendo la adquisición de actitudes adecuadas frente a la NdCyT y la promoción de visiones más informadas acerca de las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

En este sentido, el empleo de *Eisenia foetida* como agente biorremediador, constituye una técnica alternativa para la remoción de mercurio, demostrando viabilidad y eficacia para recuperación de suelos contaminados con mercurio en concentraciones de hasta 9ppm al presentar remociones mayores al 80%.

Elaborado por: Murcia Hernández Maritza Angélica y Ruiz López Melany Alejandra

Revisado por: Blanco Martínez Diego Alexander

**Fecha de elaboración del
Resumen:**

20

08

2017

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	JUSTIFICACIÓN	3
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
4.	OBJETIVOS	5
4.1.1.	OBJETIVO GENERAL	5
4.1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
5.	ANTECEDENTES.	6
6.	MARCO TEÓRICO	9
6.1.	Relaciones CTS en procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.	9
6.2.	Enfoque IOS: Problemas Científicos y tecnológicos de interés social	10
6.3.	Actitudes CTS	11
6.4.	Contenidos CTS en el currículo en ciencias	12
6.5.	Mercurio: Una problemática Socioambiental	13
6.5.1.	Toxicología del Mercurio	14
6.6.	Extracción Aurífera en Colombia	15
6.6.1.	Contaminación por mercurio en Colombia	15
6.7.	Proceso de Biorremediación	17
6.7.1.	<i>Eisenia fétida</i> en los estudios de Biorremediación en suelo.	18
6.7.1.1.	Condiciones de vida óptima para la <i>Eisenia foetida</i>	19
7.	METODOLOGÍA	21
7.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
7.2.	POBLACIÓN.	21
7.3.	INSTRUMENTOS	21
7.4.	FASES METODOLÓGICAS DE INVESTIGACIÓN.	23
7.4.2.	Fase de desarrollo	24
7.4.2.1.	Fase de Aplicación de la SEA	24
7.4.2.2.	Fase de Diseño Experimental.	25
7.4.2.2.1	Prácticas experimentales	26
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
8.1.	Resultados experimentales	30
8.1.1.	Curva de calibración	30
8.1.2.	Proceso de biorremediación	32
8.1.3.	Desintoxicación de la <i>Eisenia foetida</i>	36
8.2.	Resultados actitudinales y aplicación de la SEA	39
8.2.1.	Evaluación de actitudes frente a la CyT con incidencia social	39

8.2.2. Implementación y evaluación de la SEA	49
9. CONCLUSIONES	68
10. RECOMENDACIONES	71
11. BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Orientaciones en relaciones CTS para el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias tomado y adaptado de (Solomon, 1989; p 267-272)</i>	9
<i>Figura 2 Enfoques CTS tomado y adaptado de: (Manassero Mas, Vasquez Alonso, & Acevedo Diaz, 2001), (Acevedo Diaz, Vasquez Alonso, & Manassero–Mas, 2001)</i>	10
<i>Figura 3 Componentes de las actitudes tomado y adaptado de (Manassero Mas et al., 2001)</i>	12
<i>Figura 4. Dimensiones para la enseñanza de la NdCyT tomado y adaptado de (Vázquez Alonso & Manassero–Mas, 2012;p 33)</i>	13
<i>Figura 5. Fases metodológicas de la investigación. Elaboración propia</i>	23
<i>Figura 6. Proceso de limpieza intestinal propuesto por (Vijver et al., 2003)</i>	26
<i>Figura 7. Metodología de preparación de lombrices propuesto por (Vijver et al., 2003)</i>	26
<i>Figura 8. Curva de calibración para determinación de Hg²⁺ por método de ditizona en medio micelar.</i>	28
<i>Figura 9. Evaluación del proceso de biorremediación por medio de cinéticas de biosorción</i>	28
<i>Figura 10. Metodología de desintoxicación. Elaboración propia</i>	29
<i>Figura 11. Barrido espectral obtenido a través de Uv-probe</i>	31
<i>Figura 12. Método de determinación de ion mercúrico con Dz</i>	31
<i>Figura 13. Fotografías de Lombriz en Microcosmos</i>	33
<i>Figura 14. Muestras obtenidas de proceso de biorremediación previamente digeridas</i>	36
<i>Figura 15. Formación del complejo glutatión-Hg. Adaptado a partir de (Gudbrandsen et al., 2007)</i>	36
<i>Figura 16. Lombriz desintoxicada y lombriz blanco.</i>	37
<i>Figura 17. Ítems adecuados e ingenuos para cuestión 30111</i>	43
<i>Figura 18. Comparativo de afirmaciones actividad Ciclo del mercurio -Ponencias</i>	56
<i>Figura 19. Comparativo de afirmaciones entre actividad Ciclo del mercurio y ponencias</i>	58
<i>Figura 20. Comparativo de afirmaciones actividades: Noticias-Ponencia</i>	61
<i>Figura 21. Comparativo de afirmaciones por actividades: Caso simulado- ponencias</i>	63
<i>Figura 22. Comparativo afirmaciones por actividades: Ciclo del mercurio-Noticias- Ponencias</i>	66

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de calibración de Hg ²⁺	32
Gráfica 2. Capacidad remediadora de la especie Eisenia Foetida	34
Gráfica 3. Cinéticas de Biosorción por Eisenia foetida.....	35
Gráfica 4. Puntuaciones medias globales.....	41
Gráfica 5.Comparativo pre test/post-test por índices medios por cuestión	42
Gráfica 6. Índice medio para afirmaciones adecuadas comparación pre-test/post-test	44
Gráfica 7. Índice medio para afirmaciones plausibles comparativo pre-test/post-test	45
Gráfica 8. Índice medio para afirmaciones ingenuas comparativo pre-test/ post-test.....	49
Gráfica 9. Desempeño por categoría: Impacto social del conocimiento científico- responsabilidad ambiental	55
Gráfica 10. Desempeño por categoría: Impacto social del conocimiento científico- impacto social del quehacer científico	57
Gráfica 11. Desempeño por categoría: Consecuencia de la CyT- consecuencias de los productos científicos y tecnológicos.....	60
Gráfica 12. Desempeño por categoría: Consecuencia de la CyT- cobertura de los productos científicos y tecnológicos.....	62
Gráfica 13. Desempeño por categoría: Participación social.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de mercurio en relación a la minería del oro sin amalgamación tomado de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Antioquia, 2010; p 36)	16
Tabla 2. Concentración de Mercurio en suelo en región de la Mojana tomado y adaptado de (Hernandez, 2015; Melorose et al., 2015; Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012; Porras Vallejo, 2012; Rom, 2014)	17
Tabla 3 Parámetros de vida óptima para la supervivencia de la Eisenida foétida. Tomado y adaptado de (ACTAF, 2007; p 11)	19
Tabla 4. Relación tipo de frase y cuestión	22
Tabla 5 Fases del ciclo 7E para la construcción de una SEA adaptado de: (Vázquez-Alonso, Manassero–Mas, & Benassar, 2013).....	24
Tabla 6. Categorías de análisis para la evaluación de la SEA, Fuente: Investigadoras.	25
Tabla 7. Adecuación de microcosmos. Elaboración propia	27
Tabla 8. Curva de calibración Hg ²⁺ con método de D _z en medio micelar.....	31
Tabla 9. Cuantificación de mercurio en blanco de suelo y lombriz.....	32
Tabla 10. Masa aproximada de lombriz.....	33
Tabla 11. Porcentaje de remoción de Hg por Eisenia foetida.....	33
Tabla 12. Masa lombriz después de 5 días del proceso de descontaminación	38
Tabla 13. Relación código COCTS, temática y enunciado tomado de (Vázquez-Alonso et al., 2013)	39
Tabla 14. Matriz evaluativa de desempeño	51
Tabla 15. Actividades de la SEA fundamentada en el ciclo 7E	53

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la ciencia y la tecnología (CyT) se encuentran inmersas en la vida cotidiana de manera tal, que hoy en día es bastante simple conocer los desarrollos y avances adelantados; en general la sociedad ha estado impregnada por una rápida inclusión de los productos científicos y tecnológicos, de tal manera que la educación no ha estado exenta a estas dinámicas, sin embargo los alcances de la educación frente a la comprensión de la CyT han sido escasos, lo que ha impedido que los ciudadanos posean una visión informada sobre la naturaleza de la CyT generando actitudes ingenuas y visiones desinformadas.

Es por esta razón, que nace la necesidad de una educación que sea capaz de formar ciudadanos conscientes y preparados para la toma de decisiones, la incorporación de conceptos y contenidos disciplinares en la vida cotidiana, es un reto imprescindible; la corriente CTS (Ciencia Tecnología y Sociedad) es un enfoque de enseñanza de las ciencias que surge como una reforma educativa en los años ochenta y en continuo desarrollo, con un objetivo fundamental: Generar un aprendizaje de la ciencia en el contexto de la experiencia humana para producir acciones (personales) derivadas de la información y el conocimiento (Garritz, 1994).

Mediante el enfoque CTS se busca la generación de actitudes adecuadas frente a la CyT y la naturaleza de la ciencia y la tecnología (NdCyT), entendidas como la comprensión de que son y cómo funcionan la CyT en el mundo actual (Sanabria. T & Callejas. R, 2012), de esta manera surge como alternativa evaluativa de los conocimientos CTS, la apreciación de las actitudes otorgadas por los estudiantes como un factor superior a los conocimientos netamente conceptuales.

Desde esta perspectiva, y tomando en consideración los postulados presentados anteriormente, en la siguiente investigación se estructuró e implementó una secuencia enseñanza-aprendizaje orientada al desarrollo de actitudes CTS con enfoque IOS (issue oriented science), relacionada con el proceso de Biorremediación de suelos contaminados con mercurio a través *Eisenia Foetida*, con estudiantes de grado undécimo del Colegio Veintiún Ángeles.

Este documento presenta inicialmente, una justificación en la cual se presenta la importancia de la implementación de problemáticas reales y actuales en la enseñanza de las ciencias para el favorecimiento de la comprensión de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT) desde una visión más

contextualizada. Posteriormente se introducen los objetivos de la investigación y la pregunta problema que orientó la investigación.

Más adelante son presentados los antecedentes que describen los resultados de las investigaciones más pertinentes en cuanto a la implementación de lombrices como agentes remediadores, así como la influencia de la implementación de las SEA (secuencia de enseñanza-aprendizaje) para la promoción de actitudes adecuadas frente a la CyT, adicionalmente se incluye el marco conceptual en el cual es presentado el proceso de biorremediación y su alcance frente a la problemática de contaminación por mercurio debida a la extracción de oro.

Después de ello, se describe la metodología que estuvo orientada en tres fases principalmente; la primera consistió en el diagnóstico de las actitudes CTS y la construcción de la SEA, posteriormente se efectuó el diseño experimental y la implementación de la SEA, de este modo, para evaluar la progresión en el desarrollo actitudinal se aplicó nuevamente el instrumento COCTS.

La secuencia de actividades diseñada SEA, hace parte del proyecto “Educación de las competencias científica, tecnológica y pensamiento crítico mediante la enseñanza de temas de naturaleza de ciencia y tecnología”, (CYTPENCRI) apoyado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad 2015) desde la Universidad de las Islas Baleares y en cual participan profesores del departamento de Química, del grupo Didáctica y sus Ciencias

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos y son formuladas las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones que incorporen la construcción de la SEA, como herramienta para favorecer una visión más informada de la CyT, además de la optimización de variables para mejorar la eficacia del proceso de biorremediación.

2. JUSTIFICACIÓN

La Institución Educativa Distrital Veintiún Ángeles en sus principios institucionales resalta la importancia de desarrollar en los estudiantes la criticidad y el cuestionamiento, con el fin de formar hombres y mujeres participativos mediante procesos de aprendizaje significativo y la contextualización en ámbitos sociales, políticos y culturales (I.E.D, 2014). En ese sentido, el estudiante formado bajo estos principios, se encontrará en la capacidad de aplicar sus conocimientos como una alternativa de solución ante problemáticas cotidianas.

Acorde al programa de formación en ciencias naturales para grado 11 propuesto por el Ministerio de Educación Nacional, el cual establece en los derechos básicos de aprendizaje, la necesidad de analizar cuestiones ambientales actuales desde una visión sistémica (económico, social, ambiental y cultural) (MEN, 2016) con el fin de fomentar una comprensión de los conceptos disciplinares aplicados a entornos cercanos en los cuales los estudiantes se desenvuelven. De esta forma, es pertinente la integración de la educación CTS en la enseñanza de las ciencias, abordando tanto problemáticas socio ambientales de actualidad, como la incorporación de acciones participativas desde miradas críticas y reflexivas derivadas del conocimiento.

Así, problemáticas ambientales como lo son los procesos de extracción minera de oro que afectan al país, permiten la concientización y alfabetización de la población para la generación de alternativas de solución para mitigar los impactos de este oficio a partir de saberes sociales, tecnológicos y científicos.

Con base en lo anterior y desde la perspectiva de la sociología externa de la NdCyT, es posible llevar a cabo en los estudiantes la estructuración de actitudes e interacciones con base en las relaciones existentes entre la sociedad y el sistema científico-tecnológico, para comprender las aplicaciones e implicaciones científicas y tecnológicas en contextos de experiencia y participación social (Bennássar, Vázquez, Manassero, & García-Carmona, 2010); posibilitando que al abordar temáticas como el proceso de biorremediación como alternativa de solución a la contaminación por mercurio, se presente en los estudiantes una visión integra e informada de la ciencia, en la cual puedan identificar y comprender las relaciones causa y efecto entre la CyT sobre la sociedad así como fomentar el aprendizaje de conceptos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La extracción de oro en Colombia es una actividad económica de alta producción, siendo entonces que para el año 2015, se registró la extracción de 59.201.933,98 g en el país (Simco, 2015), sin embargo dicho oficio es realizado de forma ilegal o en minas sin título minero, por un gran número de mineros, llevando a cabo la técnica de amalgamación con mercurio y el uso de retortas, con la cual son generadas grandes cantidades de desechos derivados del mercurio que no reciben una correcta disposición, observándose vertimientos a los cauces de ríos, la formación de lodos mercúricos, emisiones atmosféricas e infiltraciones subterráneas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Antioquia, 2010); dichos residuos sufren especiación química por medio comunidades bacterianas que aumentan su partición y movilidad en el ecosistema y por ende su biodisponibilidad aumenta generando problemáticas técnicas, ambientales, de salubridad y sociales, ya que se ha evidenciado una correlación directa entre el aumento de enfermedades y síntomas de intoxicación con mercurio tanto en humanos como en animales, la disminución de la vegetación y las enfermedades ocupacionales debidas a la poca parametrización y seguridad con la que es realizada la extracción (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007).

Es por ello por lo que surge la necesidad de realizar un tratamiento o desarrollo de técnicas que permitan recuperar y detener dichos procesos altamente contaminantes con el objeto de formular soluciones hacia los ecosistemas damnificados y mejorar las condiciones de vida de las comunidades afectadas.

Con base en la problemática mencionada anteriormente es necesario promover una formación ciudadana contextualizada y reflexiva por medio de estrategias didácticas que permitan modelar el conocimiento y alfabetizar a la los ciudadanos, acerca de las implicaciones del quehacer científico, sus relaciones sociales y ambientales para que adquieran principalmente esa postura crítica hacia las ciencias durante su proceso de aprendizaje. De esta manera, la pregunta de investigación que orientó este trabajo de grado es:

¿Cuál es el impacto que tiene una secuencia de enseñanza-aprendizaje fundamentada en las 7E y en el proceso de biorremediación de suelos contaminados con mercurio por *Eisenia Foetida*, para el desarrollo de actitudes adecuadas sobre las interacciones ciencia y tecnología con incidencia social (IOS) en estudiantes de grado undécimo?

4. OBJETIVOS

4.1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto que tiene una secuencia de enseñanza-aprendizaje fundamentada en el ciclo de aprendizaje 7E sobre el proceso de biorremediación de suelos contaminados con mercurio por *Eisenia Foetida*, para el desarrollo de actitudes frente a las cuestiones acerca de la sociología externa de la ciencia y la tecnología.

4.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las actitudes de los estudiantes de grado undécimo del colegio Veintiún Ángeles del énfasis de sistemas frente a las cuestiones acerca de la sociología externa de la ciencia y la tecnología.
- Determinar la efectividad del proceso de Biorremediación con *Eisenia Foetida* en suelo contaminado con mercurio, para definir el componente conceptual y procedimental de la secuencia.
- Estructurar una secuencia de enseñanza-aprendizaje fundamentada en las 7E y el proceso de biorremediación de suelos contaminados con mercurio a partir de *Eisenia Foetida*.
- Analizar los alcances de la SEA, en términos de los desempeños alcanzados y la progresión en el desarrollo actitudinal frente a las cuestiones IOS, por los estudiantes de grado undécimo.

5. ANTECEDENTES.

Para el desarrollo de actitudes con enfoque CTS, es necesario el abordaje de investigaciones que permitan conocer la manera en cómo son favorecidas, las metodologías y estrategias didácticas que permiten dicho desarrollo. Para la presente investigación el desarrollo del concepto de biorremediación es el componente conceptual, por lo cual es pertinente la revisión de investigaciones ya realizadas para la selección de variables y condiciones para el análisis.

Es importante resaltar una de las investigaciones sobre la evaluación de actitudes CTS, realizada por Acevedo, Vasquez Alonso, & Manassero–Mas (2002) en la ciudad de Mallorca, España donde la muestra corresponde a un grupo de 4132 alumnos seleccionados de manera aleatoria, de los distintos niveles educativos comprendiendo así estudiantes de educación media y estudiantes universitarios.

El objetivo de la investigación consistió en evaluar las actitudes y creencias de los estudiantes acerca de la NdCyT, empleando el instrumento COCTS donde fueron evaluadas todas las cuestiones abarcando así todas las temáticas que lo compone, es importante mencionar que la aplicación fue realizada bajo en modelo (MRU)¹. Para efectos de aporte a la presente investigación se relatan los resultados obtenidos en la categoría influencia de la ciencia y la tecnología en la sociedad y algunos aspectos en general del proceso de evaluación de actitudes.

Dentro de la categoría de interés se encuentra que visiones adecuadas obtienen un mayor porcentaje de elección por los estudiantes donde las temáticas se ubican en torno a los efectos colaterales de la CyT y la responsabilidad de la sociedad en intervenir en temas de este tipo, entre otras.

A modo de conclusiones es importante resaltar primero la influencia que posee el currículo implícito bajo el cual son fundamentadas algunas de las actitudes de los estudiantes siendo estas adquiridas a partir de actividades fuera del aula y desligadas del aprendizaje de las ciencias, además de aquellas obtenidas a través de los procesos formativos de carácter formal que brindan una visión de ciencia completamente teórica lo que conlleva a encontrar en los estudiantes visiones simultaneas (adecuadas-ingenuas) ante una misma temática.

A partir de los resultados los investigadores resaltan la importancia de desarrollar este proceso evaluativo no solamente en individuos formados en ciencia, ya que a futuro todos los ciudadanos deberán tener una responsabilidad cívica para la toma de decisiones en temas CyT de incidencia

¹ MRU: Modelo de respuesta única

social; de este modo la planificación de la enseñanza de las ciencias plantearse bajo objetivos que permitan ligar el conocimiento científico con los ideales y propuestas realizadas por el movimiento CTS ser permeabilizados por los del movimiento CTS.

El desarrollo de secuencias de enseñanza aprendizaje para el cambio actitudinal o la comprensión de la NdCyT es una de las metodologías que maneja y propone el proyecto EANCYT². De acuerdo a la investigación realizada por Callejas, R & Idárraga (2013) quienes desarrollan y aplican una SEA en estudiantes de sexto grado de bachillerato del Colegio Agustiniانو Norte, con el fin de: favorecer el aprendizaje de conceptos básicos en física y el método científico para la comprensión de la NdCyT, e identificar si la SEA permite la promoción de las actitudes, empleando instrumentos COCTS con cuestiones correspondientes al método científico; Al analizar y comparar los resultados obtenidos en la aplicación pre-test y post test en grupo experimental de cada una de las cuestiones identifican que algunas de estas presentan una promoción positiva no muy significativa y por el contrario en algunas cuestiones el cambio evidenciado es negativo, de este modo concluyen que el alcance de cambios a partir de la SEA es limitado, ya que ha sido ejecutada bajo una modalidad tradicionalista de enseñanza por lo cual sugieren que para obtener un mayor impacto la secuencia debe realizarse en un contexto controversial y reflexivo para modificar las concepciones y actitudes hacia la ciencia y la tecnología que se encuentran arraigadas en los modelos de enseñanza tradicional.

Una investigación que permite complementar los resultados obtenidos en la aplicación de las SEA enmarcadas bajo el proyecto EANCYT y que posee relación significativa con la SEA a emplear en la presente investigación, es la desarrollada por Vázquez-Alonso, Aponte, Manassero-Mas, & Montesano (2014), quienes a partir de un tema socio-científico sobre la explotación de minerales aplican una SEA que reúne actividades reflexivas y contextualizadas en torno a las implicaciones que presentan la ciencia y la tecnología sobre la sociedad y viceversa en 16 estudiantes del primer curso de ciencias químicas en una Universidad Centro Americana siendo éste el grupo experimental.

En el análisis de los resultados pre-test y post- test de la aplicación de los cuestionarios COCTS observaron que 2 cuestiones adecuadas consideradas como puntos fuertes mantuvieron una cualificación positiva, para cuestiones consideradas negativas o ingenuas (2) evidenciaron una movilidad hacia la zona positiva en la aplicación post-test, siendo éstas un porcentaje menor en el total de las cuestiones analizadas por los investigadores (total 9 cuestiones), así las cuestiones restantes (5) encontradas en el pre-test se ubican en una

² Enseñanza y aprendizaje de la naturaleza de la ciencia y la tecnología.

zona intermedia que puede asociarse a la plausibilidad. Luego de la aplicación post-test tres de éstas presentan una promoción hacia la zona positiva y dos un descenso cercano a cero.

De este modo concluyen que la SEA genera un impacto en la promoción de las actitudes, promoviendo una mejora ante las mismas; dichos resultados son considerados por los investigadores producto de la innovación de la secuencia al plantear actividades reflexivas, donde los estudiantes argumentan y debaten en el tema socio-científico evidenciando así, interés en la temática lo que impide que factores externos influyan en los cambios actitudinales haciendo que la comprensión de la NdCyT se presente con mayor facilidad.

Frente al aspecto conceptual es pertinente la revisión del estudio realizado por (Le Roux, Baker, & Crouch, 2016a) que evalúa la bioacumulación que presenta la especie *Eisenia andrei* en microcosmos, siendo estos: en fase acuosa y en suelo seco, este proceso de evaluación tiene como variable principal la adición de humus ácido a cada uno de los microcosmos el cual al ser analizado con los blancos, el cual permite una mayor asimilación de mercurio dentro de la lombriz. Varían las condiciones de pH y temperatura teniendo como constante la concentración de ion Hg_2^{2+} (0,5 ppm), obteniendo como condiciones favorables el acondicionamiento con un pH de 7 y una temperatura de 293,15 K (20 °C) donde el porcentaje de remoción es del 84% en el microcosmos de suelo seco; de esta manera los anteriores parámetros permitieron seleccionar los rangos de concentración a emplear y las condiciones bajo las cuales deben estar ambientados los microcosmos para obtener porcentajes similares en el proceso de bioacumulación con la especie *Eisenia foetida*.

En Colombia se han adelantado estudios sobre Biorremediación de suelo y sedimentos contaminados por medio de agentes remediadores tales como: plantas, hongos o lombrices; uno de ellos fue desarrollado por ingenieras ambientales de la Universidad Militar, por medio del cual se evaluó la efectividad remediadora de lombrices en el crecimiento de hongos en suelos contaminados con Mercurio, obtenidos del municipio de Segovia, Antioquia. Fueron preparados a partir de 3 mezclas de suelo contaminado (30-70, 50-50 y 70-30) y suelo fértil, posteriormente se realizó la dilución de los hongos y durante 90 días fue realizado el seguimiento del crecimiento de los mismos (Zapata, Saldarriaga, Posada, Martínez, & González, 2017). Se observó un aumento en las unidades formadoras de colonias de las levaduras, mesofilos y enterobacterias (10^3 UFC/g inicial) a partir del día 15 y asimismo ocurrió con las lombrices, en donde alcanzaron mayor adaptación y tolerancia al mercurio aumentando su tasa de reproducción, presentando una interacción directa entre la estimulación producida por las lombrices y el desarrollo de los microorganismos, promoviendo una mayor fertilidad del suelo, disponibilidad de nutrientes y condiciones fisicoquímicas del mismo

6. MARCO TEÓRICO

Los procesos de avance de la ciencia y la tecnología hacen necesaria la inclusión de una formación dirigida a la sociedad mediante la cual sea posible la comprensión de dichas interacciones sobre el medio; en este marco es de vital importancia el trabajo realizado por la corriente CTS la cual tiene como objetivo principal la alfabetización en ciencia y tecnología para los ciudadanos, promoviendo acciones encaminadas a la resolución de problemas que interrelacionan la ciencia, la tecnología y la sociedad (Membiela, 2001). Para el desarrollo de este enfoque es fundamental establecer relaciones directas con los procesos educativos para los ciudadanos.

6.1. Relaciones CTS en procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

La inclusión de la corriente CTS en los currículos en ciencias se ha evidenciado de una manera no planeada y desordenada producto del rápido y necesario desarrollo de reflexiones sobre las acciones científicas y tecnológicas con incidencia social (Solomon, 1989).

Las políticas educativas han obligado a los docentes a innovar en el currículo de ciencias con la introducción de la corriente CTS en los procesos de enseñanza aprendizaje, sin embargo debido a la diversidad de enfoques se presentan dilemas entorno a la forma en que pueden ser organizados, aplicados y evaluados tales contenidos (Solomon, 1989) .

Trabajos de Ziman (1980) citados por (Solomon, 1989) presentan 5 orientaciones mediante las cuales es posible desarrollar la enseñanza de las ciencias con enfoque CTS, la figura 1 permite conocer el enfoque dichas orientaciones.

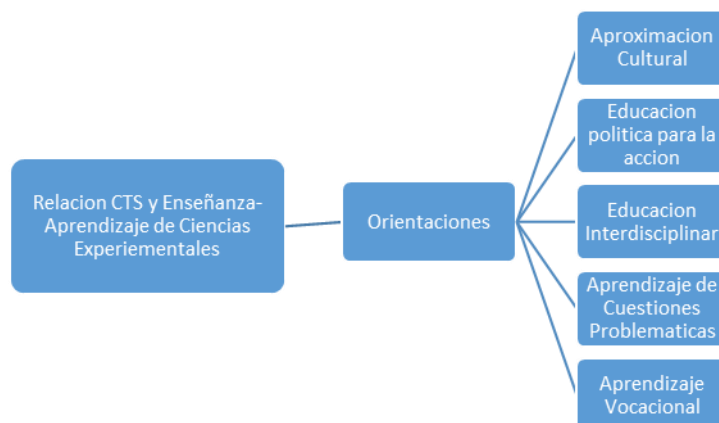


Figura 1. Orientaciones en relaciones CTS para el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias tomado y adaptado de (Solomon, 1989; p 267-272)

Sin embargo, (Vázquez Alonso & Manassero–Mas, 2012) señalan necesario la inclusión de la NdCyT (Naturaleza de la ciencia y la Tecnología) al currículo de ciencias, para los procesos de alfabetización CTS con el fin de promover el aprendizaje a partir de conocimientos innovadores en la relación CyT.

La naturaleza de la ciencia y la tecnología siendo entendida como el conjunto de meta-conocimientos sobre CyT permite que surjan reflexiones interdisciplinarias del ¿Cómo?, ¿Qué?, ¿Para qué? de las actividades científicas (Vázquez Alonso & Manassero–Mas, 2012), por lo cual es fundamental en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

6.2. Enfoque IOS: Problemas Científicos y tecnológicos de interés social

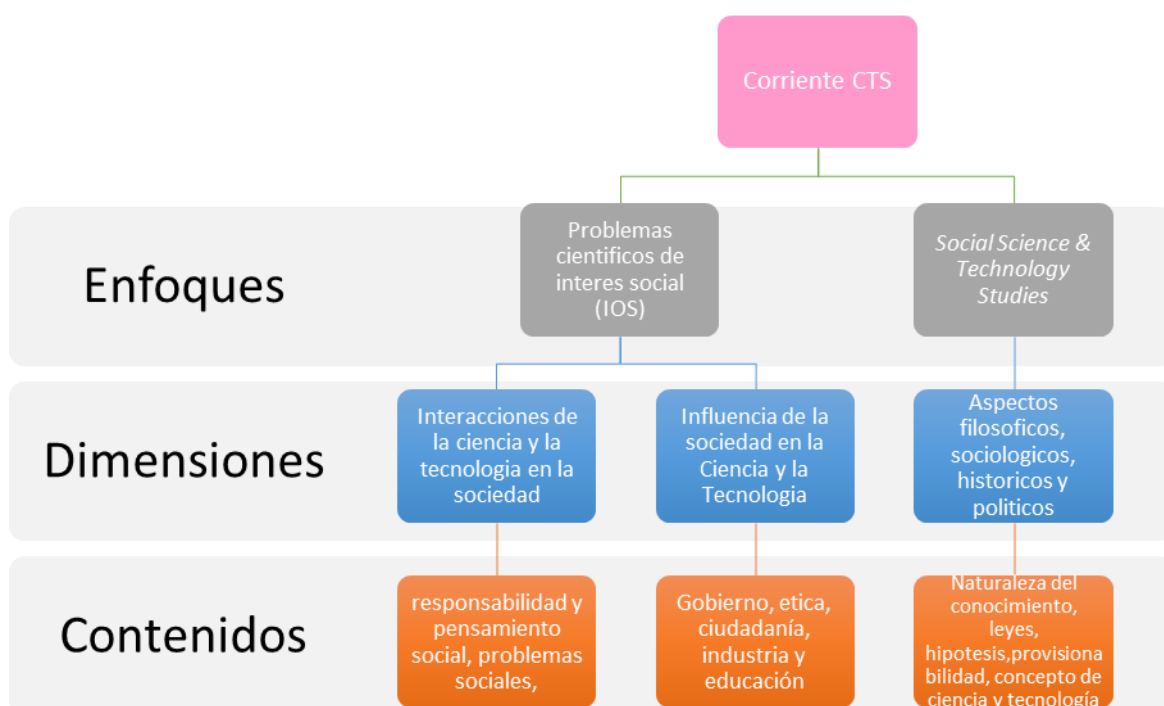


Figura 2 Enfoques CTS tomado y adaptado de: (Manassero Mas, Vasquez Alonso, & Acevedo Diaz, 2001), (Acevedo Diaz, Vasquez Alonso, & Manassero–Mas, 2001)

La Figura 2 representa los enfoques, dimensiones y contenidos mediante los cuales es posible abordar las temáticas CTS en el aula.

El enfoque de los problemas científicos y tecnológicos de interés social (IOS) ha presentado un gran auge dentro del sistema educativo, reflejado por la inclusión de temáticas y contenidos en libros de texto, el desarrollo de unidades didácticas y otras herramientas educativas, en comparación al enfoque social de la ciencia y tecnología (Acevedo, Vázquez Alonso, & Manassero Mas, 2001). La gran diferencia entre los dos enfoques ha sido demostrada debido a que los contenidos abarcados dentro el enfoque IOS son reflejados en la

cotidianidad de la vida de los estudiantes, despertando un mayor interés por la ciencia y la tecnología; entre los cuales es posible destacar la investigación realizada por (McComas, 1998) con Docentes en formación, en los que fue potenciada la curiosidad, la ampliación de perspectivas frente a la naturaleza de las ciencias y la generación de percepciones afectivas ante la CyT.

Además de ello, los Docentes también se encuentran más cómodos con la inclusión CTS, ya que esta les permite la continuidad de los temas habituales, siendo compatibles con el currículo estructurado (Acevedo et al., 2001).

Los contenidos planteados bajo este enfoque están concentrados en la visión y los aspectos externos a la ciencia, como: Medio ambiente, recursos energéticos, tecnología en la guerra, enfermedades, entre otros (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 1995) por ende su evaluación está relacionada con el establecimiento de valores frente a dichas temáticas.

6.3. Actitudes CTS

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de la ciencia y la tecnología observada actualmente, según Vázquez & Manassero (2009) produce influencia directa en la sociedad, ya sea por medio del interés, la responsabilidad o el deseo de participación en la toma de decisiones; siendo entonces, la educación un área en la que confluyen dichos aspectos que generan en los estudiantes concepciones erróneas y/o deficientes en cuanto a contenidos teóricos y falta de interés hacia la ciencia, ocasionando que los mismos no tengan en cuenta carreras científicas como opción vocacional (Vázquez & Manassero, 2009) y por ende un declive actitudinal a medida que el estudiante avanza en el nivel educativo (Martínez-Artero, 2005).

Sin embargo dicha problemática puede ser solucionada por medio del desarrollo de actitudes positivas hacia la ciencia ya que existe relación entre la predisposición conductual y las actitudes (Manassero Mas, Vasquez Alonso, & Acevedo Diaz, 2001).

Las actitudes han sido estudiadas históricamente por la psicología social, de la cual se cuentan un sinnúmero de definiciones³, lo que ha generado una alta complejidad en la implementación de las actitudes en la educación, debido a que no se cuenta con un marco teórico claro que permita conocer y delimitar los indicadores que han de ser tenidos en cuenta para la evaluación en las clases de ciencias (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 1995).

³En la revisión de Ajzen & Fishbein (citado en Vázquez Alonso & Manassero Mas, 1995b) se evidencian 500 definiciones de actitud en 200 estudios en el 70% de estos es encontrada la misma definición.

Actualmente los trabajos e investigaciones desarrolladas en el enfoque CTS han permitido la incorporación de las actitudes en la didáctica y el currículo.

Existen tres elementos conformadores de las actitudes según (Manassero Mas et al., 2001) los cuales son presentados la Figura 3.

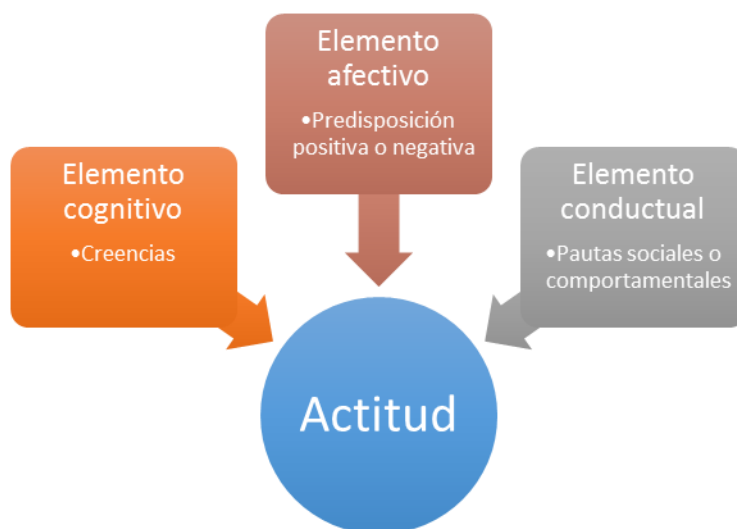


Figura 3 Componentes de las actitudes tomado y adaptado de (Manassero Mas et al., 2001)

Se entiende entonces como actitud el conjunto de creencias, predisposiciones, conductas y tendencias afectivas, fomentando la emisión de valores frente a un determinado objeto por parte del individuo. Esta definición es crucial en las temáticas y la educación CTS ya que esta, permite caracterizar el tipo de aprendizaje desarrollado bajo este enfoque, así como el cumplimiento del objetivo principal: promover interés y valores hacia la ciencia (Manassero Mas et al., 2001).

6.4. Contenidos CTS en el currículo en ciencias

El temario consensuado por diversos investigadores acerca de las temáticas que pueden ser enseñadas y favorecen al conocimiento científico implica el abordaje de las bases epistemológicas, a partir de las cuales, la construcción de la imagen de la ciencia y la incidencia de factores sociológicos es de gran relevancia para la comprensión de las interacciones.

Para abordar la enseñanza de la NdCyT desde la diversidad de concepciones y visiones de acuerdo a (Vázquez Alonso & Manassero–Mas, 2012) se proponen las siguientes dimensiones.



Figura 4. Dimensiones para la enseñanza de la NdCyT tomado y adaptado de (Vázquez Alonso & Manassero–Mas, 2012;p 33)

De acuerdo a la intencionalidad de enseñanza-aprendizaje la dimensión es seleccionada, lo que permite evidenciar la variedad dentro del conocimiento científico, proporcionando paralelamente gran diversidad para la implementación en el currículo en ciencias.

En el caso de la adquisición y desarrollo de actitudes por parte de los estudiantes en la comprensión de la influencia de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad, es necesario que el aprendizaje se realice en contextos experienciales que permitan la identificación de las aplicaciones e implicaciones que presentan la ciencia y la tecnología, para ser apropiadas desde perspectivas que permitan la participación personal y social de los ciudadanos (Bennássar et al., 2010). El abordar problemáticas socioambientales como lo es la extracción minera de oro empleando mercurio, implica reconocer la influencia que tiene la ciencia y la tecnología en una de las actividades económicas de transcendencia significativa para el país y por tanto comprender la NdCyT.

6.5. Mercurio: Una problemática Socioambiental

De acuerdo a Calao & Marrugo (2015) la problemática del uso del mercurio va mucho más allá de cuestiones ambientales, en las que se pueden resaltar los derrames y/o vertimientos de desechos a corrientes de agua, el suelo, la incorporación de mercurio a la atmósfera y la biota; además de ello es importante resaltar que dicha contaminación influye directamente en la salud de la población, ya sea por el contacto directo con el metal o el consumo de peces contaminados, generando problemas en el sistema nervioso, provocando efectos neuromusculares, temblores, insomnio, pérdida de la memoria, cefalea

y disfunciones cognitivas y motoras, problemas respiratorios y en el corazón, daños en el feto hasta el punto de provocar la muerte (OMS, 2016).

6.5.1. Toxicología del Mercurio

El mercurio en los organismos vivos constituye un problema bastante serio, debido a que se ha establecido correspondencia entre graves enfermedades, la duración y el tipo de exposición de estos frente al mercurio (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007).

La importancia de este metal está dada por su alta movilidad dentro de las membranas biológicas, su afinidad por grupos sulfhidrilo presentes en proteínas ocasionando el daño en el material genético y el normal funcionamiento celular, el colapso del sistema nervioso central, la modificación de procesos de síntesis y las interrupción de las vías excretoras (Paisio, González, Talano, & Agostini, 2012). Las especies Biodisponibles de los mercurios provenientes de fuentes antropogénicas y naturales son: El mercurio orgánico, el mercurio inorgánico y en estado elemental; los cuales poseen rutas metabólicas distintas.

El mercurio inorgánico posee una vida media de 30 a 60 días para la su eliminación completa del organismo vivo por medio de los riñones. Es usualmente transportado por el plasma, en el que se encuentra ligado a la proteína albúmina (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007), rica en azufre; cuando existe presencia de compuestos poco solubles, estos mismos son oxidados aumentando su solubilidad y por ende su absorción (10-15%) el porcentaje restante es adherido por la mucosa intestinal para su excreción posterior por medio de heces (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007).

Por otra parte, en cuanto al mercurio en estado metálico, su absorción es mínima al punto que podría considerarse nula, ya que su oxidación dentro del organismo es muy lenta, de tal manera que antes de que sea completada, ya ha sido eliminada por las heces (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007)(Villarejo Doadrio, 2000).

En cuanto al mercurio orgánico encontramos especies como el etil-mercurio y el metil-mercurio, especies con afinidad lipídica, transportadas al interior de las células sanguíneas (linfocitos) y absorbidas por tejidos ricos en lípidos como el cerebro y el tejido adiposo. Estas especies presentan altos niveles de absorción mayores al 90% (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007); presentando mayor peligrosidad por el daño cromosómico (pre-mutagénico), ruptura del ADN y el estímulo que radicales libres provocando efectos cancerígenos (Calao & Marrugo, 2015).

6.6. Extracción Aurífera en Colombia

Actualmente Colombia es el segundo productor de oro a nivel mundial (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012), produciendo para el año 2012 un total de 66.178 kilogramos de oro, extraídos en los departamentos de Antioquia, Choco, Bolívar y Caldas (Ministerio de Minas y Energías, 2011).

Pero junto con este proceso de alta productividad se generan problemáticas con repercusiones no solamente ambientales, sino en cuestiones sociales, técnicas y de salud, generando una preocupación por la expansión de este oficio que es desempeñado sin precauciones o normatividad, aumentando el riesgo para los mineros, las poblaciones de los alrededores y el ambiente.

A pesar de que existen varias técnicas de extracción de oro que involucran diferentes tecnologías, en el país existe un alto porcentaje de la minería ilegal (Martínez & Uribe, 2015)⁴ y minería a pequeña escala; esta técnica de extracción de oro es realizada por medio de la amalgamación con mercurio en las minas, para su posterior fusión y separación generando escoria mercúrica, vertimientos y desechos de dicho metal.

Las emanaciones de mercurio a los ecosistemas por vías antropogénicas aumenta en magnitudes de segundo y tercer orden; se estima que 2,8 g de mercurio son totalmente perdidos por cada gramo de oro recuperado durante el proceso de extracción (Melorose, Perroy, & Careas, 2015).

6.6.1. Contaminación por mercurio en Colombia

Actualmente se registran diferentes niveles del mercurio en ciertos lugares del país, que se han convertido en una problemática evidente que crece cada día más, con el fin de acabarla y reducir la exposición y el riesgo de contaminación, se han adelantado varias investigaciones, cuantificando la cantidad de mercurio producida por vías antropogénicas. También son conocidos programas y campañas desarrollados por el estado para la divulgación y concientización del uso del mercurio (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & U. Antioquia, 2010),(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012).

Dentro de todas estas investigaciones se resalta la contaminación registrada en la microrregión de la Mojana, de la cual proviene la mayoría de la producción aurífera del país desarrollada mayoritariamente de forma artesanal e ilegal; está región que incluye los departamentos de Antioquia, Sucre, Bolívar y Córdoba.

⁴ Minería ilegal: entendida como la minería que no cuenta con título minero otorgado por el Ministerio de Minas y energía.

La importancia del estudio de la producción de mercurio como contaminante en el suelo está sustentado a partir de un estudio desarrollado por la Universidad de Antioquia, en la cual se realizó un inventario de las diversas fuentes antropogénicas de mercurio y con ello sus consecuencias frente al ambiente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Antioquia, 2010).

Las investigaciones de la concentración de mercurio en dicha microrregión han sido estudiadas en diferentes matrices tales como tejido animal (muestras musculares de peces), tejido de plantas (buchón de agua), aguas, sedimentos, suelo y componentes atmosféricos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Antioquia, 2010) (Porras Vallejo, 2012).

En la investigación mencionada anteriormente, se estimó la concentración presente en suelo, agua, materia orgánica y otros; el suelo y los sedimentos se encuentran altamente afectados con dicha contaminación, provocando la infertilidad, así como la contaminación de los cultivos, ocasionando además riesgos para la población que tiene contacto con los mismos.

La tabla 1 representa la concentración del mercurio en relación a la actividad de extracción minera sin amalgamación.

Tabla 1. Cantidad de mercurio en relación a la minería del oro sin amalgamación tomado de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Antioquia, 2010; p 36)

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t mena/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/t)	Entrada estimada (Kg de Hg/t)
	2.192.000,00	0,055	120.560,00
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	120.560,00	0,04	4.822,40
Agua		0,02	2.411,20
Suelo		0,9	108.504,00
Subproductos e impurezas		0,04	4.822,40
Liberaciones totales			120.560,00

Sin embargo, como es evidenciado, la matriz más afectada por contaminación de mercurio es el suelo, razón por la cual es primordial el desarrollo de técnicas y soluciones que permitan tanto reducir como mejorar la calidad del suelo.

En la tabla 2 se presentan las concentraciones encontradas en diversos puntos de la región de la Mojana los cuales son resultados de varias investigaciones.

Tabla 2. Concentración de Mercurio en suelo en región de la Mojana tomado y adaptado de (Hernandez, 2015; Melorose et al., 2015; Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012; Porras Vallejo, 2012; Rom, 2014)

Ubicación	Matriz	Concentración	Año	Fuente
Rio San Jorge	Sedimentos	1,4µg/g	1996	(Melorose et al., 2015)
Rio San Jorge H. Lorenzana	Sedimentos	74,08 µg/Kg	1997	(Hernandez, 2015)
Rio San Jorge H. Lorenzana	Sedimentos	156,6 µg/Kg	1999	(Hernandez, 2015)
Caño Mojana	Sedimentos	61 µg/Kg	1997	(Hernandez, 2015)
Caño Mojana	Sedimentos	35,2 µg/Kg	1999	(Hernandez, 2015)
Desembocadura Rio Cauca	Sedimentos	7796 µg/Kg	1996	(Melorose et al., 2015)
La Raya	Sedimentos	804,98ppb	1998	(Porras Vallejo, 2012)
San Martin de la Loba	Suelo	3,030 µg/g	2014	(Rom, 2014)
Ciénaga de Ayapel	Sedimentos	0.160–0.301 mg/g	2010	(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012)

La problemática de la contaminación por mercurio debida a la extracción minera en Colombia se ha extendido a muchas regiones del país en donde son superados los límites admisibles, llevando a buscar alternativas y técnicas específicas⁵ para la eliminación del metal del suelo, por medio las mismas se busca la modificación del comportamiento fisicoquímico o el control de su movilidad en aras de reducir su toxicidad (Martínez & Uribe, 2015). Una de estas propuestas para la eliminación o recuperación del metal, es la biorremediación que posee un alto porcentaje de eficiencia y un bajo costo.

6.7. Proceso de Biorremediación

Es el proceso de transformación, estabilización y degradación de contaminantes ambientales, por medio del uso de organismos vivos o sus derivados (biomasa viva o muerta) con el objetivo de minimizar su poder tóxico y contaminante ya sea por la modificación del estado de oxidación, la formación de compuestos de mínimo impacto o su estabilización y así lograr su incorporación al ciclo biogeoquímico natural (Posada, 2012).

Existen diferentes ramas de remediación ambiental que han emergido actualmente frente a los altos índices de contaminación y han sido implementadas para la recuperación de mercurio, entre las cuales se encuentra “la Biorremediación (bacterias y hongos), ficorremediación (algas), y rizorremediación (organismos rizosféricos)” (Paisio et al., 2012,p.122). Los

⁵ Para matrices sólidas: Solidificación/estabilización, Vitrificación, lavado del suelo, el tratamiento térmico y la Biorremediación que es una técnica que está emergiendo actualmente (Martínez & Uribe, 2015)

procesos de biorremediación y fitorremediación son eficientes en ecosistemas con altas concentraciones de Hg_2^{2+} según ha sido evidenciado en distintas investigaciones ya que son llevados a cabo mediante procesos metabólicos y/o enzimáticos⁶

6.7.1. Eisenia fétida en los estudios de Biorremediación en suelo.

Diversidad de estudios se han realizado en Latinoamérica sobre las cualidades que poseen oligoquetos como las lombrices para efectuar procesos de revitalización del suelo debido a la tasa alta de producción de humus. Entre las especies más empleadas para el desarrollo de lombricultivos se encuentran la *Eisenia fétida* (*Eisenida foetida*), *Eisenida andrei*, *Eudrilos eugeniae*, *Peryonix excavantus*, y *Lumbricus rubellus* (Hirano & Tamae, 2011).

Los procesos de renovación del suelo son generados debido a los movimientos que estas realizan al desplazarse ya que de este modo, mezclan la materia orgánica con los minerales presentes en el suelo y los distribuyen desde la superficie hasta las profundidades del mismo, además de permitir una mayor distribución de la materia orgánica en los procesos de alimentación y excreción (ACTAF, 2007), por sus características de reproducción y resistencia ante condiciones ambientales resultan más provechosos los lombricultivos realizados con la especie *Eisenia foetida*.

La Biorremediación es definida como un proceso de degradación biológica (catálisis) que permite eliminar la contaminación en diferentes matrices ambientales, bajo parámetros controlados e inoocuos, generando su transformación a especies menos tóxicas o la disminución en la concentración hasta límites permisibles (Mejía, 2006) (Kensa, 2011).

Su fundamento está basado en las bases fisicoquímicas de la sorción, teniendo en cuenta que los organismos vivos pueden asimilar adicionalmente los contaminantes por vía metabólica, de manera contraria a las fases sólidas inertes.

La biosorción incluye procesos de adsorción y absorción llevados a cabo por los organismos vivos, por medio de los cuales los organismos como las lombrices pueden eliminar el mercurio del suelo. Para ello, se consideran dos vías principalmente, la absorción debida a la ingesta del suelo por las lombrices (oral) y la adsorción promovida por los movimientos y desplazamientos del animal, generando interacciones electrostáticas entre grupos sulfhidrilo de las proteínas que recubren la epidermis de los individuos (Gudbrandsen, Sverdrup, Aamodt, & Stenersen, 2007), así como del líquido celómico segregado para

⁶ Procesos metabólicos: Glutación y metalotieninas; procesos enzimáticos: expresión del operón *mer*. (Paisio et al., 2012)

permitir la respiración (el intercambio gaseoso), la movilidad y la copulación entre los individuos (Avalezco, 2010).

La vía oral de absorción del metal es desarrollada por medio de la interacción entre diferentes bacterias intestinales (bacterías reductoras de sulfato, la betaproteobacteria, actinobacteria y fomicutes⁷) proceso mediante el cual es realizada la conversión del mercurio en la forma de $[CH_3Hg]^+$ debida fundamentalmente a las condiciones anaeróbicas del tracto intestinal (Rieder, Brunner, Daniel, Liu, & Frey, 2013).

Sin embargo, la magnitud remediadora por la vía oral es mínima, según los estudios desarrollados por Vijver, Vink, Miermans, & Van Gestel (2003), en los cuales fueron selladas las bocas de las lombrices y comparada la acumulación por la vía dermal y oral, se encontró que la disminución de la concentración de M^{2+} corresponde a la vía dermal, demostrando que existe tan solo una pequeña acumulación interna (17-30%).

6.7.1.1. Condiciones de vida óptima para la *Eisenia foetida*

Para una apta sobrevivencia, desarrollo y reproducción son de importancia parámetros de temperatura, pH, y humedad. En la tabla 3 se presentan valores óptimos para su supervivencia.

De acuerdo a los valores de la tabla 3 los rangos medios y óptimos en las condiciones de vida le permiten desarrollarse sin ninguna dificultad, aunque estos parámetros son relevantes en el funcionamiento fisiológico, factores externos como la disponibilidad del alimento provoca que aun estando en dichos rangos las probabilidades de muerte aumenten.

Tabla 3 Parámetros de vida óptima para la supervivencia de la *Eisenia foetida*. Tomado y adaptado de (ACTAF, 2007; p 11)

Parámetro	Niveles de exposición			
	Bajo	Rango medio	Valor optimo	Alto
pH	Menor a 5	6,8-8	7,5	Mayor a 9
% Humedad	Menor a 50	80-85	82	Mayor a 90
Temperatura (°C)	0	14-26	24	Mayor a 42

En valores óptimos y altos las lombrices llegan a un estadio de letargo donde el alimentarse se convertirá en la actividad primordial, por lo que la tasa de reproducción se ve altamente afectada, si el alimento no tiene la cantidad de materia orgánica suficiente, el proceso de mezcla de minerales y material orgánico en el suelo se verá altamente afectado por la falta de producción de

⁷ Bacterias resistentes al mercurio, puesto que poseen el operón *mer* y enzimas que catalizan la conversión de Hg^{2+} a Hg^0 y la desmetilación de compuestos orgánicos, bajo ciertos parámetros (Rieder et al., 2013).

humus ya que su intencionalidad de alimentarse se relega únicamente a la sobrevivencia individual más no la de la especie, finalmente en los rangos altos y bajos de condiciones de vida la lombriz simplemente morirá (ACTAF, 2007).

7. METODOLOGÍA

El diseño metodológico para la presente investigación define y evidencia los parámetros con los cuales fué realizado el proceso de intervención teniendo todas las estrategias didácticas y metodológicas necesarias para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en la presente investigación, es seleccionado el enfoque mixto, por medio del cual es posible incorporar las ventajas de los estudios de tipo cuantitativo como cualitativo, permitiendo así una mejor profundización y complementación de los resultados obtenidos (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010).

El diseño metodológico para el desarrollo de la investigación corresponde al tipo cuasi-experimental, utilizado en las ramas de la psicología y la educación, donde debido a una razón específica los individuos objeto de estudio no han sido seleccionados de forma aleatoria, sino que forman grupos intactos los cuales han sido establecidos con anterioridad. De este modo puede evidenciarse la influencia de variables externas no controladas o conocidas en la obtención de los resultados (Shadish, Cook, & Campbell, 2002).

La presente investigación al tener ausencia de grupo control emplea el método de comparación pre-test / post-test con el fin de medir el efecto del tratamiento didáctico sobre la progresión de actitudes CTS en los estudiantes.

7.2. POBLACIÓN.

La población de la investigación corresponde a estudiantes de grado undécimo del énfasis en sistemas del Colegio Veintiún Ángeles jornada mañana, con edades entre los 15 y 17 años de edad.

La muestra corresponde a 15 estudiantes del mismo grado, de los cuales 8 fueron mujeres y 7 hombres que participaron en la implementación de la SEA, aplicada con una intensidad horaria de 15 h guiadas por las investigadoras y desarrolladas por medio de las actividades diseñadas a lo largo de la SEA (ver anexo 2)

7.3. INSTRUMENTOS

Se seleccionaron instrumentos creados y validados por expertos en filosofía, epistemología de la Ciencia y la NdCyT, para caracterizar las actitudes frente a la incidencia social de la ciencia y la tecnología y se indagó por las cuestiones

10411, 10413, 30111, 40311, 4041, 40531, 40821 propuestas en el COCTS⁸ de Vázquez Alonso & Manassero Mas,(2014) (ver anexo 3).

Este instrumento usa el método respuesta múltiple y permite caracterizar las actitudes de los estudiantes como: plausibles, adecuadas o ingenuas en relación a serie de afirmaciones frente una cuestión presentada, ante las cuales los estudiantes indican el grado de acuerdo⁹ que ésta les genera; de esta forma es posible evaluar el grado de información sobre la ciencia, tecnología y sociedad como se presenta a modo de ejemplo en la tabla 4

Tabla 4. Relación tipo de frase y cuestión

Cuestión 10411: La ciencia y la tecnología están estrechamente relacionadas entre sí:		Tipo de Frase
A	Porque la ciencia es la base de los avances tecnológicos, aunque es difícil ver cómo la tecnología podría ayudar a la ciencia.	Ingenua
B	Porque la investigación científica conduce a aplicaciones prácticas tecnológicas, y las aplicaciones tecnológicas aumentan la capacidad para hacer una investigación científica.	Adecuada
C	Porque, aunque son diferentes, actualmente están unidas tan estrechamente que es difícil separarlas.	Adecuada
D	Porque la tecnología es la base de todos los avances científicos, aunque es difícil ver cómo la ciencia puede ayudar a la tecnología.	Ingenua
E	Ciencia y tecnología son más o menos la misma cosa	Plausible

De acuerdo a los estándares establecidos para el análisis de las alternativas actitudinales se encuentran tres categorías clasificatorias, dividiéndose así en:

- ✓ **Adecuadas:** Si la frase expresa un punto de vista apropiado o informado
- ✓ **Plausibles:** Aunque la frase no es completamente adecuada aun así la proposición expresa algunos aspectos aceptables.
- ✓ **Ingenuas:** la frase expresa una opinión desinformada

Tomado de: Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, (2001)

La sistematización es realizada a partir de la conversión de los puntajes de grado de acuerdo a una escala de -1 a +1, en la cual los valores positivos, indican el grado de acuerdo y valores negativos el grado de desacuerdo para cada una de las alternativas actitudinales. Así al calcular el promedio de cada tipo de actitud es posible conocer el grado de información frente a temas de la

⁸ COCTS: Cuestionario de opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad.

⁹ En una escala de 1a 9 siendo uno el valor más bajo de acuerdo y nueve el mayor grado de acuerdo.

NdCyT y CyT, asimismo como el desarrollo las actitudes, lo que permite evidenciar el nivel de impacto de la SEA al comparar los resultados Pre-test y Post-test.

De este modo, los instrumentos fueron aplicados es dos momentos, el instrumento inicial (pre-test) antes de aplicar la SEA y el instrumento final (post-test) mes y medio después de haber sido aplicado el instrumento inicial y una vez es-concluida la aplicación de la SEA.

7.4. FASES METODOLÓGICAS DE INVESTIGACIÓN.

La investigación fue llevada a cabo en tres fases principales, presentadas en la figura 5.



Figura 5. Fases metodológicas de la investigación. Elaboración propia

7.4.1. Fase de Iniciación

Tal como se observa en la figura 5 la fase de iniciación se compone de la aplicación del instrumento COCTS (Pre-test), enunciado en el numeral anterior y de la construcción de secuencia de enseñanza- aprendizaje (SEA) la cual se fundamenta en el marco del proyecto EANCYT, en la que es definida como: “*un conjunto de actividades de enseñanza- aprendizaje fundamentadas en la investigación y que son adaptadas al nivel evolutivo de los estudiantes*”. (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 2012, p.33).

De acuerdo a lo anterior y con base a Vázquez Alonso & Manassero Mas (2012) la secuencia de enseñanza aprendizaje fue estructurada teniendo en cuenta las 7 fases comprendidas dentro del ciclo de aprendizaje 7E propuesto por Eisenkraft, (2003), cumpliendo así con cada uno de los objetivos específicos para cada etapa, como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5 Fases del ciclo 7E para la construcción de una SEA adaptado de: (Vázquez-Alonso, Manassero–Mas, & Benassar, 2013)

Fase	Objetivo
Extraer-Elicitar	Hacer emerger las concepciones previas de los estudiantes.
Envolver	Motivar e involucrar a los estudiantes despertando su interés en la temática.
Explorar	Progresar en la comprensión a través de actividades de aprendizaje
Explicar	Empelar conceptos, hechos terminología leyes etc.
Elaborar	Transferir y aplicar el aprendizaje a nuevos dominios en entornos próximos y lejanos respectivamente,
Extender	
Evaluar	Aplicar métodos e instrumentos de evaluación formativa.

7.4.2. Fase de desarrollo

La fase de desarrollo posee dos componentes, la intervención didáctica o implementación de la SEA y el diseño experimental que comprende el desarrollo de las prácticas experimentales para la remoción de mercurio a partir de *Eisenida Foetida*.

7.4.2.1. Fase de Aplicación de la SEA

Tal como se mencionó en párrafos anteriores el tiempo de aplicación de la SEA se realizó en un total de 15 horas abarcando cada una de las fases del ciclo 7E.

- **Extraer –Elicitar** En mesa redonda se trabajaron una serie de preguntas orientadoras para indagar los conocimientos sobre la minería y las problemáticas ambientales, acto seguido son proyectados una serie de videos acerca de la minería de oro empleando mercurio, finalmente son retomadas las preguntas para la consolidación de la temática.
- **Envolver** es desarrollada mediante la aplicación de una encuesta familiar acerca del contacto que se ha tenido con el mercurio, los resultados obtenidos son tenidos en cuenta en la construcción de una línea del tiempo.

Para efectos de una mayor comprensión de las temáticas que se desarrollan en la SEA se cambia el orden en las fases **Explorar** y **Explicar**; realizándose primero la fase de explicar donde además de abarcarse los distintos conceptos se llevan a cabo las actividades experimentales y actitudinales.

- **Explorar** se llevó a cabo la aplicación de un caso simulado- juego de roles en el cual por grupos de trabajo debía defenderse las posturas de los diversos actores implicados en los procesos de extracción minera.

Por efectos de tiempo y de acuerdo a la similitud de los objetivos las fases **Elaborar y Extender** fueron realizadas en simultaneo por medio de la formulación de ponencias que relacionan problemáticas ambientales a partir de metales pesados. Finalmente, para la fase **Evaluar** se tuvieron en cuenta el instrumento COCTS (Post-test) al finalizar la intervención didáctica.

Además de esto algunas de las actividades mencionadas anteriormente fueron valoradas mediante diversas rúbricas de evaluación a partir de categorías de análisis establecidas por las investigadoras, con el fin de comprender los procesos reflexivos a los cuales dio lugar la SEA en la categoría “*sociología externa de la ciencia y tecnología*”(Vázquez Alonso & Manassero Mas, 2014). Las rúbricas de evaluación y el compilado de las actividades son presentadas en el anexo 2 el cual se encuentra como documento adjunto.

De este modo las categorías a analizar durante la intervención didáctica se encuentran definidas por las investigadoras en la tabla 6.

Tabla 6. Categorías de análisis para la evaluación de la SEA, Fuente: Investigadoras.

Categoría	Definición
Impacto social del conocimiento CyT	Abarca los aportes y desarrollos científicos como tecnológicos para establecer las relaciones entre quehacer científico y los impactos sociales y ambientales generando reflexiones sobre la influencia de las acciones y actividad científica y tecnológica desde la perspectiva social (comunidad).
Consecuencias de la ciencia y la tecnología	A partir de la disponibilidad de productos científicos y tecnológicos permite establecer y reconocer el alcance, cobertura y los efectos sociales y ambientales que poseen dichos productos, haciendo posible el desarrollo de relaciones causa-efecto.
Participación social	Pretende que el individuo reconozca su papel activo en la sociedad haciendo uso de mecanismos participativos, propuestas de mitigación que permiten aminorar los efectos que tienen los productos científicos y tecnológicos tanto en la sociedad como en el ambiente.

Con base a las definiciones de la tabla 6, se construyeron las rúbricas de evaluación para las diversas actividades desarrolladas en la secuencia, es pertinente aclarar que no todas las actividades fueron sujetas a esta evaluación, así que para efectos de una mayor comprensión sobre la fase de evaluación e implementación se sugiere remitirse al Anexo 2 donde se expone en su totalidad la SEA con el material de apoyo correspondiente.

7.4.2.2. Fase de Diseño Experimental.

Comprende las prácticas experimentales que fueron llevadas a cabo para evaluar el proceso de biorremediación de suelos contaminados por mercurio empleando como agente remediador *Eisenia Foetida*.

7.4.2.2.1 Prácticas experimentales

Las prácticas experimentales, fueron realizadas en tres etapas; la primera de ellas consistió en la evaluación del estado de las lombrices y su preparación para el proceso de Biorremediación teniendo en cuenta la metodología propuesta por (Vijver et al., 2003) y la remediación de tipo landfarming (Kensa, 2011).

La segunda correspondió al proceso de biorremediación y la tercera a la desintoxicación de los organismos vivos.

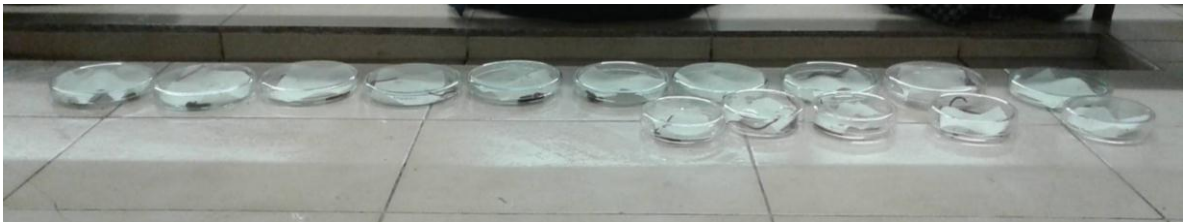


Figura 6. Proceso de limpieza intestinal propuesto por (Vijver et al., 2003)

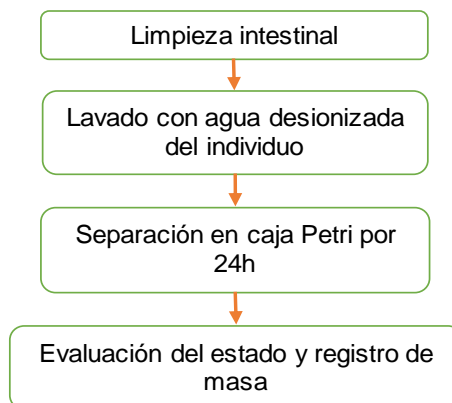


Figura 7. Metodología de preparación de lombrices propuesto por (Vijver et al., 2003)

Una vez terminado este proceso se tomaron aquellos individuos que permanecieron con vida presentando así óptimas condiciones para su




introducción en los microcosmos; se destinaron 45 individuos para el proceso de biorremediación.

- **Adecuación de microcosmos**

Se define como microcosmos un cierto ambiente en el cual se concibe el mundo a pequeña escala (RAE, 2016). Se construyeron 3 microcosmos por medio de una muestra de suelo tomada en Villeta, Cundinamarca (con el fin de simular las condiciones de textura y perfil de la región de la Mojana); se pesó 150 g de suelo tamizado en un frasco de polietileno con tapa, previamente esterilizado y se adicionaron 25 mL de una solución¹⁰ de mercurio Hg²⁺ preparadas a partir de un stock de 50 ppm, como lo indica la tabla 7.

Teniendo en cuenta que la muestra de suelo es extraída, se hizo necesario la caracterización del mismo en términos de % de humedad, cuantificación de materia orgánica y posible contaminación por mercurio¹¹

Tabla 7. Adecuación de microcosmos. Elaboración propia

Microcosmos		
5ppm	7ppm	9ppm
		
↳ 15 individuos		
150g de suelo natural		

¹⁰ Fueron seleccionadas concentraciones relacionadas directamente con la contaminación registrada en San Martín de Loba, Río San Jorge y la desembocadura del río Cauca (ver tabla 2).

¹¹ Se incluyó una determinación previa de posible contaminación por mercurio a fin de eliminar interferencias en relación a las concentraciones que posteriormente se añadirían.

- **Curva de calibración**

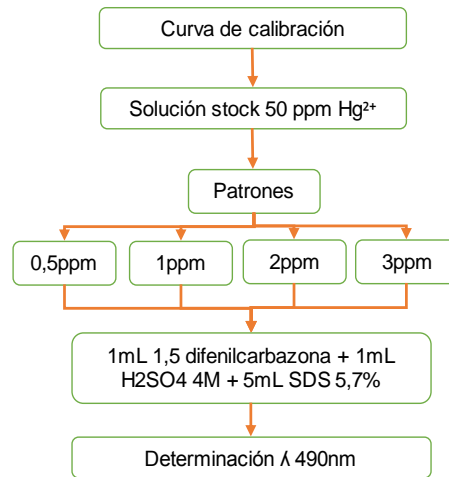


Figura 8. Curva de calibración para determinación de Hg^{2+} por método de ditizona en medio micelar.

Para la determinación de la longitud de máxima absorción se realizó un barrido espectral, con una solución patrón de 2 ppm en un rango entre 450 nm – 550 nm, encontrándose una máxima absorción a 490 nm.

- **Evaluación del proceso de biorremediación**

Se evaluó en cuatro tiempos diferentes una vez pasaron las primeras 12 h, posteriormente se realizaron digestiones en medio ácido teniendo en cuenta la metodología de Orozco & Macías (2010), el extracto se llevó a un balón aforado de 25 mL; de este se tomaron 3 mL del mismo y se cuantificó el Mercurio en medio micelar (ver figura 9).

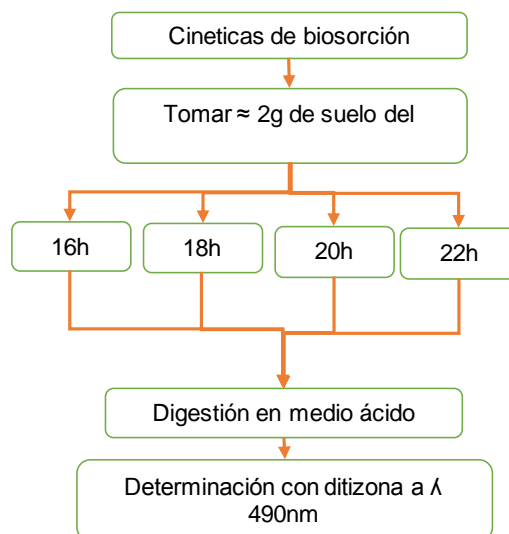


Figura 9. Evaluación del proceso de biorremediación por medio de cinéticas de biosorción

Se realizó un seguimiento de la actividad y sobrevivencia de las lombrices a partir de un blanco que fue mantenido bajo las mismas condiciones que los microcosmos contaminados.

- **Recuperación de los organismos vivos**

Con el fin de recuperar y preservar los organismos vivos después de realizar el proceso de biorremediación se realizó la metodología planteada propuesta por las investigadoras, presentada en la figura 10.

El agente quelante usado fue el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en una solución de 0,1% m/v usando reactivo de grado analítico.

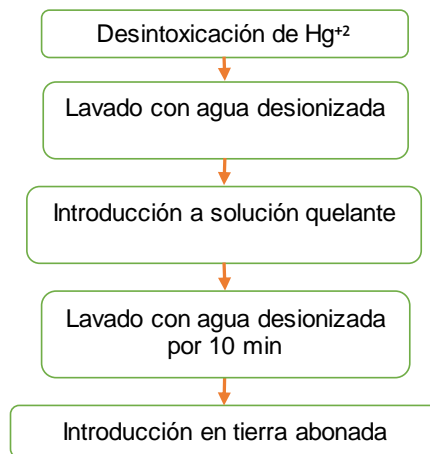


Figura 10. Metodología de desintoxicación. Elaboración propia

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del proceso de biorremediación de suelos contaminados artificialmente con mercurio, empleando *Eisenia foetida* como agente remediador, siendo éste el componente conceptual de la SEA.

El desarrollo actitudinal de los estudiantes fue determinado de forma inicial y final, evaluando el impacto de la SEA en la comprensión de las interacciones de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad para fomentar actitudes adecuadas frente a la NdCyT en estudiantes de grado once del Colegio veintiún ángeles, por lo tanto para evaluar el impacto de la SEA, en el desarrollo actitudinal se analizó la aplicación del instrumento de COCTS, de manera comparativa, haciendo énfasis en los efectos producidos en las actividades frente a las relaciones CTS.

8.1. Resultados experimentales

Para la cuantificación de Mercurio, se tomó la metodología planteada por (Khan, Ahmed, & Bhangar, 2005a) (Véase anexo 1), basado en la formación de un complejo de color anaranjado (figura 12) entre la 1,5, Difeniltiocarbazona¹² (D_z) y el Hg^{2+} ; teniendo en cuenta que la ditizona es reactivo fotométrico orgánico de color verde (Perez & Perez, 1983), insoluble en agua, se hace necesario el uso de un surfactante (SDS¹³) que permita la formación micelar y la disminución de la tensión superficial entre la fase orgánica y acuosa, de tal manera que exista la formación cuantitativa del complejo Ditizonato de mercurio (D_z -Hg) para el efecto de comprensión del mecanismo de reacción véase anexo 1.

8.1.1. Curva de calibración

Inicialmente se realizó un barrido espectral empleando el equipo Shimadzu UV-1800 y el software Uv- probe para determinar la longitud de onda de máxima absorción, entre un rango de 450-550 nm, encontrándose una absorbancia máxima de 0,5403 en 489,60nm, como se observa en la figura 11.

Estos resultados son congruentes en relación al análisis desarrollado por (Khan, Ahmed, & Bhangar, 2005b) en los cuales se observó una absorbancia máxima en longitud de onda de 490 nm empleando el mismo surfactante.

¹² Conocido comúnmente como Ditizona y abreviado como D_z .

¹³ Dodecil Sulfato Sódico.

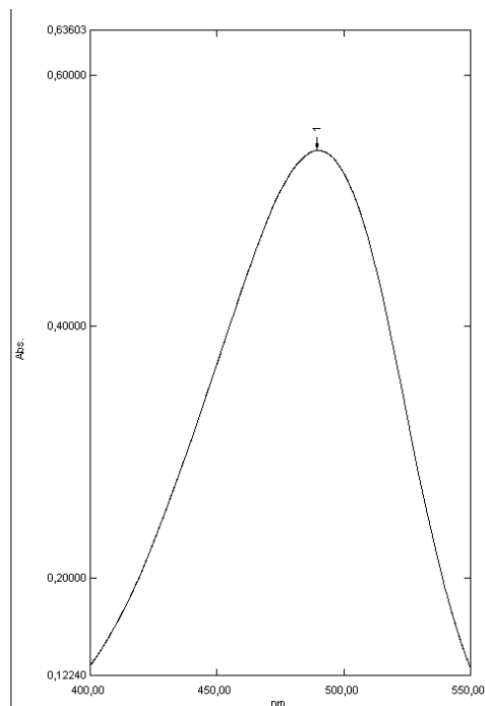


Figura 11. Barrido espectral obtenido a través de Uv-probe



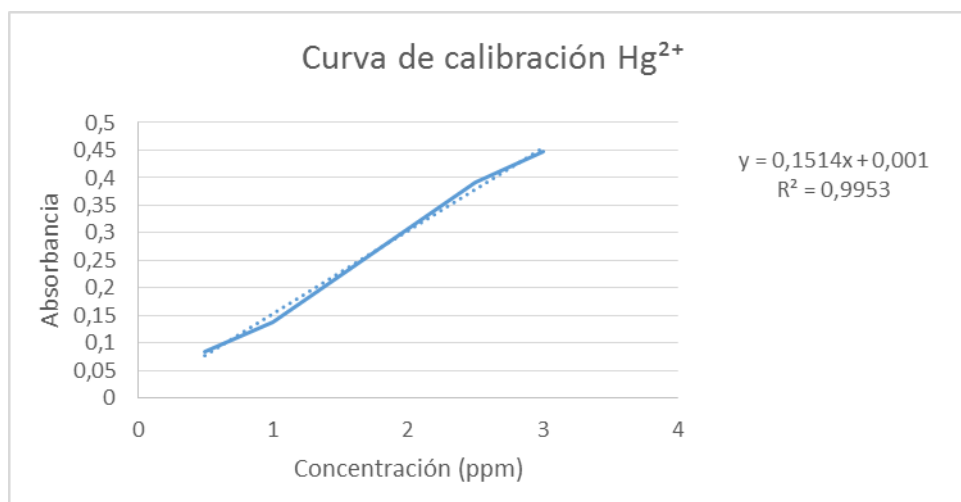
Figura 12. Método de determinación de ion mercúrico con Dz

Para la construcción de la curva de calibración fueron preparados los patrones mencionados en la figura 9, adicionando 1mL de D_z , 1mL de H_2SO_4 para proporcionar un medio ácido que permitió la formación del complejo anaranjado en medio micelar con 5mL de SDS. Se encontraron los resultados presentados en la gráfica 1 y tabla 8.

Tabla 8. Curva de calibración Hg^{2+} con método de D_z en medio micelar

Curva de calibración Hg^{2+}	
Patrón (ppm)	Absorbancia
0,5	0,085
1	0,139
2,5	0,392
3	0,448

Teniendo en cuenta la curva de calibración se realizó la cuantificación de mercurio en las muestras de suelo de los tres microcosmos, por medio de la adición de patrón de 1ppm.



Gráfica 1. Curva de calibración de Hg²⁺

8.1.2. Proceso de biorremediación

Para la realización del proceso de biorremediación fue necesario hacer un análisis preliminar de las concentraciones de mercurio presentes en suelo y lombriz, debido a la probabilidad de encontrar concentraciones mínimas en la lombriz se adiciona un patrón de 1 ppm para facilitar la lectura

Tabla 9. Cuantificación de mercurio en blanco de suelo y lombriz

Caracterización de Hg en blancos	
Matriz	Absorbancia
Suelo	0,048
Lombriz	0,07
Patrón añadido (1ppm)	0,07

Así al relacionar las absorbancias se encuentra que la lombriz al iniciar el proceso de remediación no posee contenido de mercurio ya que la absorbancia corresponde a la obtenida para la solución patrón, por su parte en el análisis preliminar del suelo no se añade patrón registrando así una absorbancia de 0,048 siendo de este modo menor a la solución más diluida empleada para la construcción de la curva de calibración 0,5 ppm por lo cual se asume que el suelo no posee mercurio, como se observa en la tabla 9.

El proceso de biorremediación se realizó teniendo en cuenta la metodología presentada en la figura 8, en donde se llevó a cabo un lavado intestinal, para eliminar cualquier tipo de interferente durante 24 h, posteriormente se evaluó la

masa neta de los animales (tabla 10), así como su estado y finalmente se introdujeron a los microcosmos contaminados preliminarmente (véase figura 13).

Tabla 10. Masa aproximada de lombriz

Peso Aproximado de Lombriz	
Individuo	Masa (g)
1	0,115
2	0,117
3	0,123

Durante 4 tiempos mayores a 12 h se realizaron muestreos del suelo de cada microcosmos para evaluar el potencial remediador de las lombrices (gráfica 2) y se cuantificó por el método colorimétrico de D_z . De acuerdo a los resultados obtenidos, se evaluó el % de remoción de mercurio, como se evidencia en la tabla 11 y gráfica 3.

Tabla 11. Porcentaje de remoción de Hg por *Eisenia foetida*

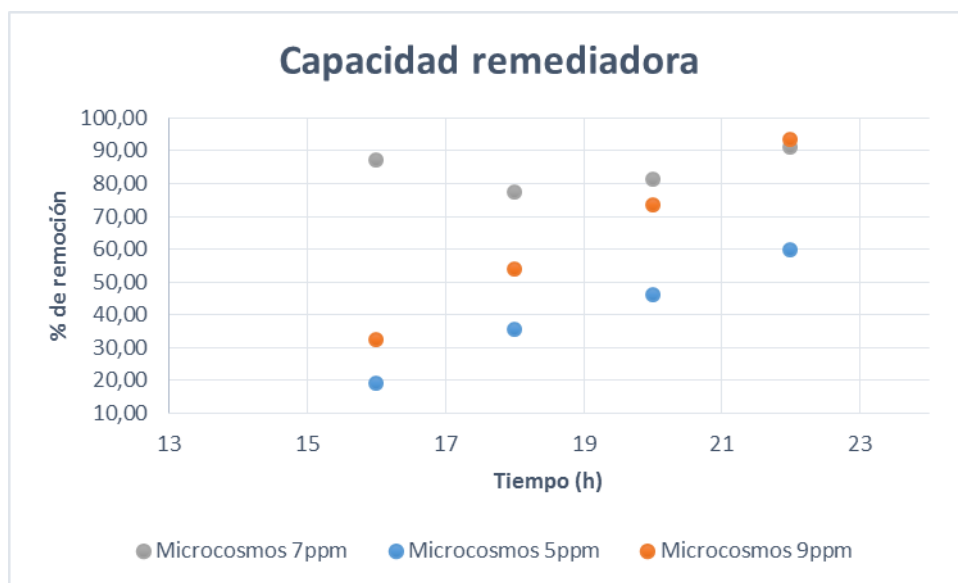
Tiempo (h)	Microcosmos 5ppm		Microcosmos 7ppm		Microcosmos 9ppm	
	Concentración (ppm)	% remoción	Concentración (ppm)	% remoción	Concentración (ppm)	% remoción
16	4,06	18,80	6,09	32,33	0,92	86,90
18	3,24	35,20	4,17	53,67	1,60	77,12
20	2,70	46,08	2,39	73,44	1,33	81,04
22	2,01	59,76	0,62	93,16	0,64	90,81

A partir de los datos relacionados anteriormente es posible observar que en tiempos de 16 a 18 horas la concentración disminuye en un intervalo de 1-2 partes por millón aproximadamente, siendo estas las horas más significativas para el proceso de remediación, por su parte los intervalos de horas de 20-22 horas presentan una disminución de la concentración en intervalos menores a excepción del microcosmos (9 ppm) donde se presenta el mayor porcentaje de remoción lo cual permite predecir que a esta concentración aun los individuos se encuentran en la capacidad de captar más cantidad de mercurio, como se observa en la gráfica 3.



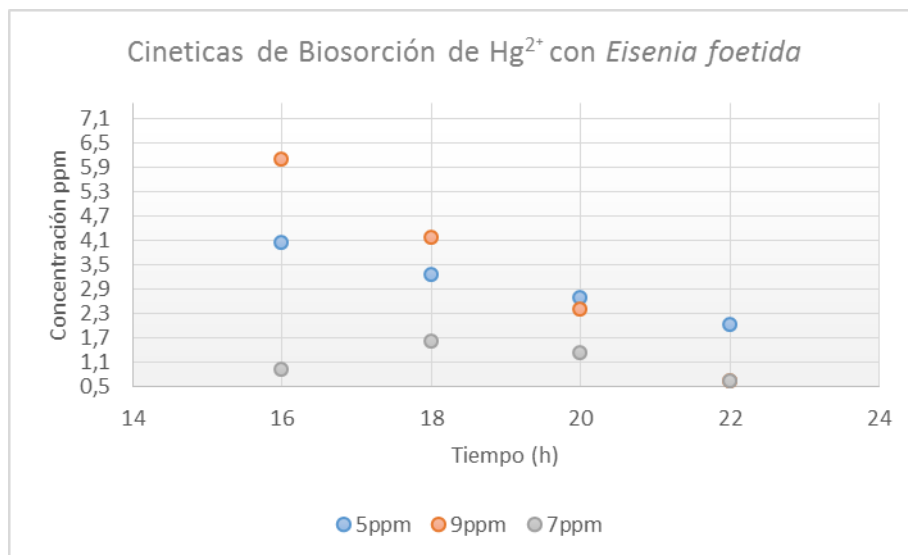
Figura 13. Fotografías de Lombriz en Microcosmos

A partir de los datos relacionados anteriormente es posible observar que en tiempos de 16 a 18 horas la concentración disminuye en un intervalo de 1-2 partes por millón aproximadamente, siendo estas las horas más significativas para el proceso de remediación, por su parte los intervalos de horas de 20-22 horas presentan una disminución de la concentración en intervalos menores a excepción del microcosmos (9 ppm) donde se presenta el mayor porcentaje de remoción lo cual permite predecir que a esta concentración aun los individuos se encuentran en la capacidad de captar más cantidad de mercurio, como se presenta en la gráfica 3.



Gráfica 2. Capacidad remediadora de la especie *Eisenia Foetida*

En síntesis, es posible observar una mayor tolerancia del mercurio ante los microcosmos más contaminados (7 y 9 ppm), en los cuales se obtuvieron altos porcentajes de remoción, entre el 81 al 93%, similares a los datos obtenidos en la investigación realizada por Vijver et al. (2003) para metales como Pb y Zn, en los que la vía dermal desarrolla una adsorción de 83-96%. Estos resultados son pertinentes al tratarse de cationes $2+$ de metales pesados, como el Hg^{2+} .



Gráfica 3. Cinéticas de Biosorción por *Eisenia foetida*

Los mecanismos mediante los cuales la lombriz realiza la remediación del suelo, corresponden principalmente a dos vías, la vía dermal y la de mayor remoción (70 a 95% de remoción (Vijver et al., 2003)(Le Roux et al., 2016a)) presentada por las interacciones electrostáticas entre el catión metálico (Hg^{2+}) y grupos SH de proteínas (Gudbrandsen et al., 2007), o compuestos lipídicos que constituyen la dermis de la lombriz; adicionalmente es importante considerar que existe la posibilidad de formación de complejos con el líquido celómico segregado durante la respiración, desplazamientos y copulación que contiene compuestos lipídicos y proteínas tales como CCF-1¹⁴ relacionada directamente con la cascada de la profenoloxidasa¹⁵, funciones inmunes y antibacterianas (Beschlin et al., 1998) (Cerenius & Söderhäll, 2004)

Por otra parte la vía de absorción como se mencionó con anterioridad hace parte de los procesos de remoción de mercurio empleando lombrices como agentes remediadores evidenciándose mediante la ingesta de suelo contaminado sin embargo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas por Vijver, Vink, Miermans, & Van Gestel (2003) y Le Roux, Baker, & Crouch (2016), éste proceso presenta menor efectividad encontrándose valores entre el 27 %-30%, sin embargo hace parte de las vías por las cuales el mercurio es asimilado; de este modo de acuerdo a lo expuesto por Gudbrandsen, Sverdrup, Aamodt, & Stenersen (2007) al ser ingerido el mercurio se liga al grupo sulfhidrilo del glutatión presente en tejido, riñones y mitocondrias excretorias inhibiendo la actividad enzimática conllevando a un

¹⁴ Coelomic Cytolytic Factor- 1, que le da el 40% de actividad al líquido celómico.

¹⁵ Relacionada directamente con la coagulación del plasma en los procesos de activaciones enzimáticas, llevada a cabo por componentes microbianos (endotoxinas) provocando la gelificación y formación de coágulos.

estrés oxidativo dando lugar a la formación del ion complejo $[Hg(GSH)_2]^{4-}$ en su forma más estable como se evidencia en la figura 15.



Figura 14. Muestras obtenidas de proceso de biorremediación previamente digeridas

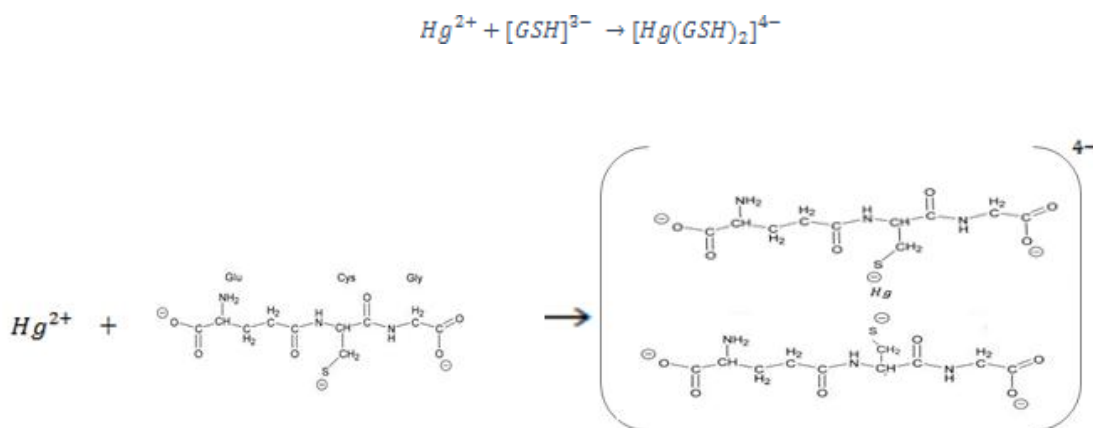


Figura 15. Formación del complejo glutatión-Hg. Adaptado a partir de (Gudbrandsen et al., 2007)

Teniendo en cuenta que no se realizó la discriminación del proceso de biosorción entre adsorción y absorción, no se conoce la concentración correspondiente a la metabolización del mercurio y a la captación dérmica, sin embargo, la cuantificación de la concentración en el suelo permite evidenciar la efectividad de las lombrices como agentes remediadores. Esto se anota porque la discriminación no era objetivo de esta investigación.

8.1.3. Desintoxicación de la *Eisenia foetida*

Una vez se finalizó el proceso de biorremediación se realizó el conteo de los animales sobrevivientes teniendo en cuenta fueron empleados 45 individuos en

total para 3 microcosmos, para los cuales se recuperaron 44, demostrando que no existe efecto de la contaminación por metales pesados en la mortalidad y pérdida de peso de las lombrices (Hirano & Tamae, 2011). Además de ello, se observó mayor movilidad en microcosmos de 7 y 9 ppm en comparación al microcosmos de 5 ppm.

Se llevó a cabo la desintoxicación siguiendo la metodología presentada en la figura 11, una vez pasaron las 22 horas correspondientes al proceso de biorremediación, se tomaron los individuos vivos para evaluar los cambios fisiológicos provocados por el mercurio, entre ellos cabe resaltar una pérdida de movilidad, coloraciones moradas y rojizas a lo largo del cuerpo y segmentos inflamados cercanos al clitelo.

Las lombrices fueron incorporadas a una matriz natural sin contaminación, alimentadas con lechuga y se evaluaron cambios al cabo de 5 días. El comportamiento, crecimiento y reproducción de los individuos participantes en el proceso de biorremediación fue comparado con el blanco de *Eisenia foetida* (figura 16).



Figura 16. Lombriz desintoxicada y lombriz blanco.

La reproducción de los individuos descontaminados no fue afectada por el mercurio en comparación con las lombrices blanco, en donde fueron encontrados nuevos individuos y cocones eclosionados, contrariamente a lo observado en la investigación realizada por Spurgeon & Hopkin (1996) en la cual los cocones fértiles producidos antes de la contaminación no fueron afectados, aunque la tasa de producción de cocones fue menor frente a los individuos de ambientes fértiles; sin embargo en esta investigación fueron encontrados nuevos cocones e individuos en etapa juvenil.

Además de ello se compararon los pesos y el crecimiento de las lombrices, frente a lo cual las lombrices descontaminadas presentaron un mayor tamaño y un aumento significativo en masa, como se evidencia en la tabla 12 y figura 16.

Durante la investigación surge la hipótesis en relación al aumento de masa de cada individuo, de acuerdo a los resultados obtenidos (Rieder et al., 2013) las lombrices intestinalmente contienen bacterias como Actinobacteria, Betaproteobacteria y firmicutes que presentan resistencia al mercurio inorgánico. Los firmicutes poseen un genoma reducido, reproducción por medio de endoesporas y actúan como parásitos obteniendo sus nutrientes de la lombriz, sobreviviendo a ambientes anaeróbicos hostiles y estresantes (Rieder et al., 2013) (Cornell University, n.d.).

De este modo y teniendo en cuenta la hipótesis presentada anteriormente, el aumento en peso puede estar asociado probablemente a la reproducción de dicha colonia de bacterias ya que tal como lo evidencia la investigación realizada por Clarke et al., (2012) las bacterias firmicutes son responsables de obesidad de ratones y humanos de esta manera, puede ser posible que este comportamiento sea similar en lombrices, en donde la ingesta de mercurio inorgánico puede estimular el crecimiento de las bacterias firmicutes ocasionando la obesidad en las lombrices ya que estas bacterias son resistentes al mercurio inorgánico.

Tabla 12. Masa lombriz después de 5 días del proceso de descontaminación

Peso Aproximado de Lombriz	
Individuo	Masa (g)
1	0,207
2	0,108

Se evaluó la concentración de mercurio en la lombriz después de los cinco días de descontaminación, para ello fue digerido un individuo seleccionado aleatoriamente y se cuantificó por el método de Dz; se encontró una concentración de 1,1 ppm relativamente baja en comparación a la concentración del suelo recuperada por la lombriz.

La presencia de una concentración baja en la lombriz luego de 5 días de ser extraída de los microcosmos y de haberse realizado el proceso de desintoxicación es debida en su parte al mecanismo de excreción realizado por las células cloragogenas, donde la glándula calcífera al excretar el calcio realiza en simultaneo un enlace de los metales con ligando fosfatados que acompañan el intercambio de iones calcio siendo posible la excreción del metal (Spurgeon & Hopkin, 1996).

Como se mencionó anteriormente, el componente conceptual de la SEA fue el proceso de biorremediación por medio del cual se realizó una contextualización sobre la problemática minera del país y permitió mostrar una mirada sobre los mecanismos por medio de los cuales es posible disminuir la contaminación por metales pesados, allí mismo fueron presentadas diferentes relaciones entre la

Ciencia y tecnología sobre la sociedad con el fin de promover visiones más informadas frente a la NdCyT.

Para ello fue necesario realizar un diagnóstico de las actitudes y la implementación de la SEA para evidenciar el efecto que produce esta en las actitudes y visiones de los estudiantes y determinar su alcance, de acuerdo a la metodología planteada en este trabajo de grado.

8.2. Resultados actitudinales y aplicación de la SEA

Con referencia a la evaluación de las actitudes CyT con incidencia social, fue empleado el instrumento COCTS en la forma pre-test y post-test, como se mencionó anteriormente; con el fin de promover actitudes adecuadas frente a la CyT y la NdCyT, para ello se llevó a cabo la implementación de la SEA: *Lombrices una solución al problema del mercurio* (véase anexo 2) enmarcada en el ciclo de aprendizaje 7E.

8.2.1. Evaluación de actitudes frente a la CyT con incidencia social

Para el diagnóstico y la evaluación de las actitudes CTS se emplearon 7 cuestiones compiladas en los instrumentos COCTS, cada una de ellas fue elegida de tal manera que el desarrollo de la SEA permitiera su promoción al ser evaluadas en el post-test.

Si bien la intención es la promoción de actitudes acerca la influencia de la CyT en la sociedad fue relevante tomar cuestiones fuera de esta categoría para conocer la interrelación que los estudiantes establecen sobre la ciencia, tecnología y sociedad y la interrelación ciencia y tecnología.

Las cuestiones seleccionadas se relacionan en la tabla 13 donde es posible evidenciar la temática en la cual se desenvuelven.

Tabla 13. Relación código COCTS, temática y enunciado tomado de (Vázquez-Alonso et al., 2013)

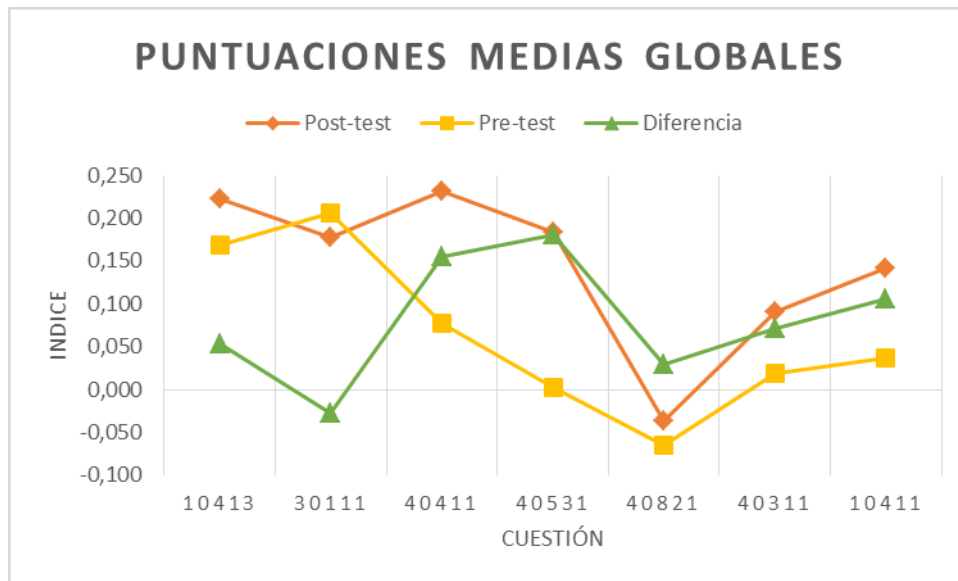
Identificación COCTS	Tema	Enunciado
10411	Interdependencia-Influencia CyT	La ciencia y la tecnología están estrechamente relacionadas entre sí
10413	Interdependencia-Influencia CyT	La tecnología influye en la ciencia
30111	Interdependencia CTS	Representación de las interacciones mutuas entre la ciencia, la tecnología y la sociedad
40311	Equilibrios dentro de problemas	Siempre se necesita hacer equilibrios (compromisos entre los efectos positivos y negativos de la ciencia y la tecnología)
40411	Resolución de problemas	La ciencia y la tecnología son una gran ayuda para resolver problemas sociales como la pobreza, el crimen, el desempleo, la superpoblación, la contaminación, o la amenaza de una guerra nuclear.
40531	Bienestar- calidad de vida	Más tecnología mejorará el nivel de vida de nuestro país.
40821	Influencia CYT	la ciencia influye sobre la sociedad

Para conocer la promoción de las actitudes a partir de los datos obtenidos en la aplicación pre-test y post-test se toma la métrica de evaluación propuesta por Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, (2001) y Vázquez Alonso & Manassero Mas, (2014) donde a partir del cálculo del índice global es posible evidenciar la promoción de las actitudes de forma global, indicando una comprensión de las diversas temáticas relacionadas con la NdCyT. Sin embargo, este índice no permite evidenciar claramente como las actitudes adecuadas, plausibles o ingenuas fueron promovidas.

- **Análisis de las puntuaciones medias globales**

Con base a la gráfica anterior es posible evidenciar que cuestiones como la 40411 y 40531 que relacionan la CyT para la solución de problemas y la mejora de la calidad de vida se ve promovida positivamente al tener una diferencia significativa (0,180-0,155) cercana a la unidad lo cual indica una mayor comprensión al identificar la CyT como elementos relevantes para una mejora en la calidad de vida.

Cuestiones como las 40821, 40311 y 10413 que enmarcan temáticas como equilibrios CTS, e influencia de la ciencia en la tecnología y la influencia de la ciencia en la evidencian aumentos positivos inferiores a las categorías anteriores teniendo así valores de 0,029, 0,071 y 0,054 respectivamente para cada cuestión permitiendo identificar, que si bien hay una comprensión de las temáticas estas necesitan de actividades que permitan mejorar aún más su comprensión (véase gráfica 4).



Gráfica 4. Puntuaciones medias globales

Así la cuestión 30111 que representa la interdependencia entre la ciencia, la tecnología y la sociedad es la menos favorecida ya que evidencia una disminución en su comprensión al obtener una diferencia de (-0,028).

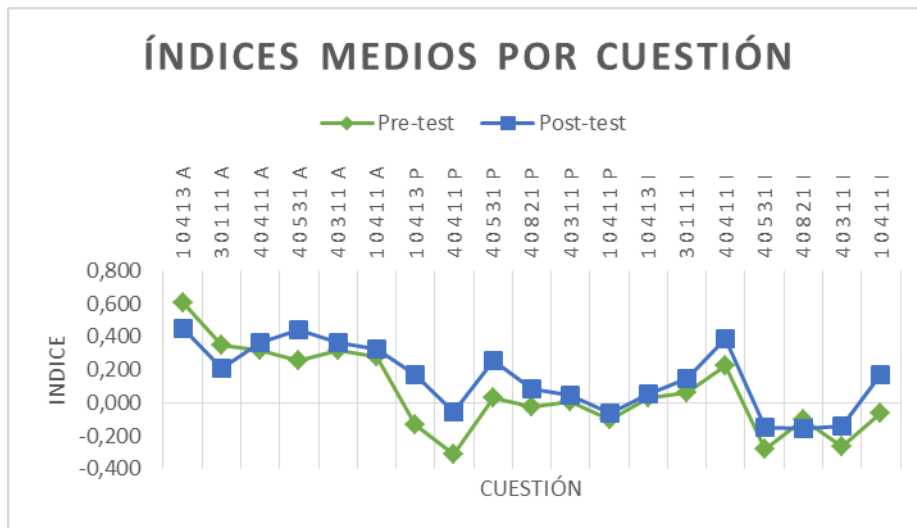
Para comprender la real significancia de los cambios relacionados es necesario calcular el índice medio por cuestión, donde es posible identificar de forma específica las promociones de las actitudes de carácter adecuado, plausible e ingenuo en cada una de las cuestiones, que permite conocer si los aumentos positivos o negativos señalados anteriormente corresponden a promociones hacia afirmaciones ingenuas o afirmaciones adecuadas.

- **Análisis de los índices medios por cuestión**

En la gráfica 5, se relacionan las promociones de cada uno de los tipos de actitudes en la aplicación pre-test y post-test. Para identificar con mayor claridad la variación de cada tipo de actitud se representan cada una de las categorías actitudinales por aparte.

- **Cuestión 10413**

Representa la influencia de la ciencia sobre la tecnología, a partir de las gráficas 6, 7 y 8 es posible observar una promoción bastante positiva ante afirmaciones plausibles con una diferencia de 0,300, que permite identificar que el estudiante relaciona la tecnología con la progresión del conocimiento científico y como una herramienta que puede ser aplicada por la sociedad, lo cual presenta una estrecha relación en el reconocimiento y empleo de los conceptos científicos al ser realizarse una formulación de técnicas de remoción de la contaminación durante las actividades desarrolladas en la SEA.



Gráfica 5. Comparativo pre test/post-test por índices medios por cuestión

Asimismo es posible evidenciar promoción positiva (0,017) ante afirmaciones ingenuas que representan un cambio hacia una visión más desinformada de la ciencia presentando una ambivalencia en donde el estudiante comprende la tecnología como una aplicación de la ciencia, sin embargo, la tecnología no presenta una influencia sobre las acciones científicas, en este caso dicha promoción es producto del enfoque social explícito que presenta la SEA donde los impactos de la CyT solo se relacionan con la manera en que la población se ve afectada por una problemática ambiental y el alcance de tales efectos, mas no de como la tecnología puede favorecer a la ciencia, la anterior es la misma razón por la cual afirmaciones adecuadas donde las frases expresan relaciones tecnología-ciencia presentan una disminución que al no ser significativa (-0,156) le facilita al estudiante enlazar su conocimiento conceptual con la comprensión del funcionamiento de técnicas de descontaminación como la remediación.

Así las ambivalencias entre actitudes adecuadas e ingenuas encontradas en el perfil actitudinal del grupo donde se relaciona la tecnología con la progresión como el conocimiento científico, pero de igual manera se ve a la tecnología como una aplicación de la ciencia, evidencia el poco reconocimiento que se le da a la naturaleza específica del conocimiento tecnológico, al reconocer de manera jerárquica a la ciencia y la tecnología, donde la tecnología se subordina a la acción de la ciencia (Acevedo-Díaz, Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, & Acevedo-Romero, 2003).

- **Cuestión 30111**

Permite observar diferentes relaciones que puede establecerse entre la ciencia, la tecnología y la sociedad donde los gráficos representan relaciones ingenuas y adecuadas solamente, en este sentido las actitudes ingenuas evidenciaron una promoción positiva como se observa en la figura (ingenuas).

Sin embargo al analizar cada frase es posible observar que si bien este tipo de afirmaciones fueron seleccionadas (siendo la afirmación D la seleccionada por un porcentaje significativo de los estudiantes (40%)) dentro de este ámbito ingenuo en el instrumentos pos-test, no se encuentra un grado de acuerdo alto por lo que representan los gráficos, a diferencia de lo encontrado en el instrumento pre-test donde se evidencia que el 33% de la población presentaba una actitud de acuerdo con afirmaciones ingenuas, esto fundamentado desde el valor obtenido en el cálculo de los índices normalizados donde se pasa de valores como -0,50 a valores cercanos a 1 (véase figura 17).

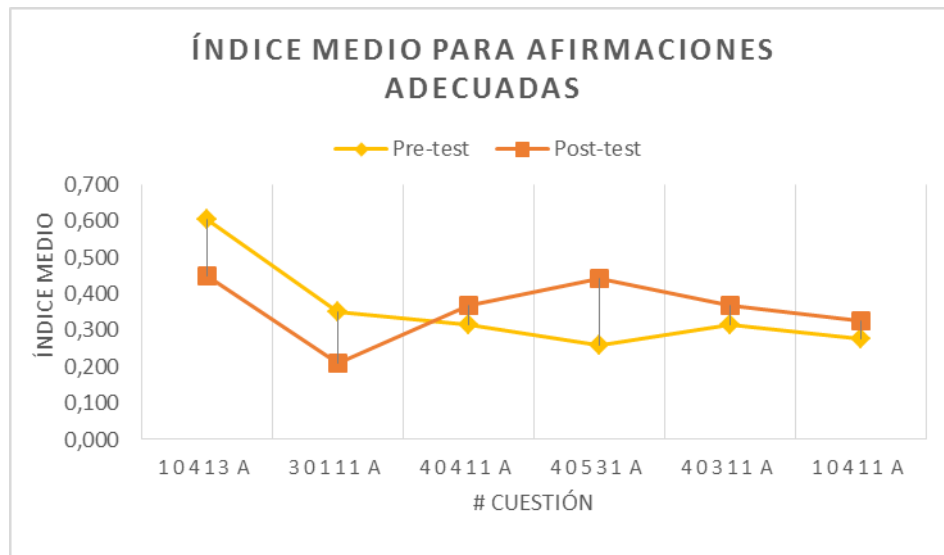


Figura 17. Ítems adecuados e ingenuos para cuestión 30111

Así de acuerdo a lo descrito por Vázquez Alonso & Manassero Mas, (2014) en la métrica de evaluación, los valores obtenidos en el post-test corresponden a un grado de acuerdo nulo para dicha afirmación.

De esta forma las relaciones ingenuas avaladas por los estudiantes son aquellas que con línea punteada representan la débil interdependencia unidireccional entre la ciencia, la tecnología y la sociedad; permitiendo observar que en el proceso de aplicación de la SEA el no haber realizado explícitamente la construcción de estas interdependencias fue determinante para la promoción de las actitudes.

Afirmaciones adecuadas disminuyeron en su nivel de acuerdo, pero manteniéndose aun dentro de la zona adecuada (véase grafica 6) presentando un grado de acuerdo alto por lo estudiantes (20%) en la aplicación post-test para la afirmación E. Así este porcentaje de la población, aunque identifico interdependencias débiles entre la ciencia, la tecnología y la sociedad logra identificar que entre ellas existe una relación bidireccional.



Gráfica 6. Índice medio para afirmaciones adecuadas comparación pre-test/post-test

De este modo el 40% restante de la población selecciona en diversa medida, pero con menor significancia, tanto afirmaciones ingenuas como afirmaciones adecuadas.

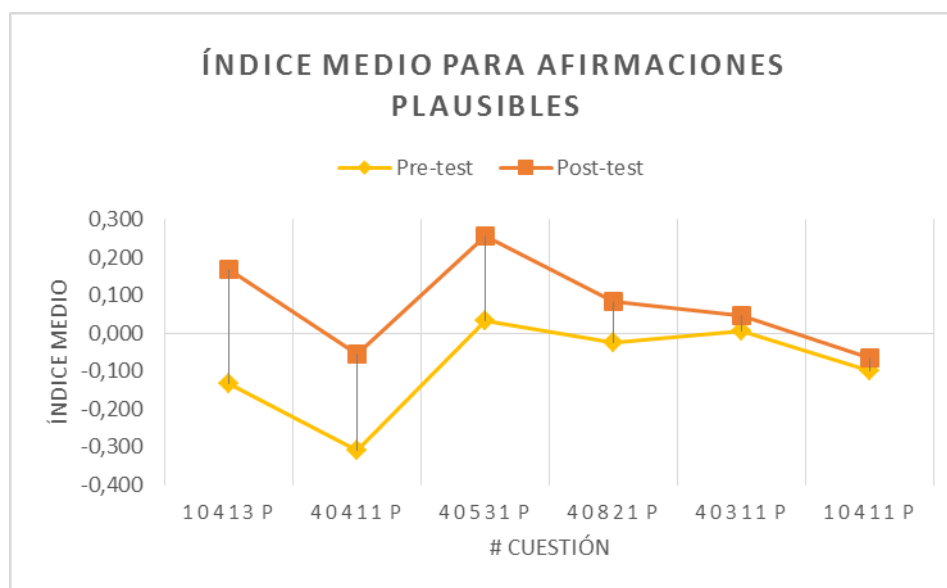
- **Cuestión 40411**

La cuestión mencionada afirma que la ciencia y la tecnología ayudan a la solución de problemas, se encuentra una diferencia significativa (0,256) en la promoción de afirmaciones plausibles a hacia aspectos más positivos favoreciendo el grado de información que se tiene sobre afirmaciones que contemplan que la ciencia y la tecnología pueden ayudar a solucionar problemas, pero solo en algunos casos (afirmación D).

En la misma cuestión fue posible encontrar la promoción de actitudes ingenuas a una postura más desinformada (diferencia 0,158) en la aplicación post-test (véase gráfica 8) viéndose favorecidas afirmaciones en las cuales los estudiantes consideran que la ciencia y la tecnología lo único que hacen es empeorar los problemas sociales, esto es aludido a que la existencia de más tecnología en los procesos de extracción de oro genera efectos sobre el ambiente de mayor dimensión que la minera a pequeña escala.

Finalmente con una diferencia menos significativa (0,05) entre el pre-test y el post-test, se vieron favorecidas las afirmaciones de tipo adecuado (Gráfica 6) donde los estudiantes reafirman que la ciencia y la tecnología pueden solucionar algunos problemas pero no otros, es importante resaltar este favorecimiento ya que en las afirmaciones de tipo plausible fue significativamente promovida una afirmación que apunta hacia una visión similar donde se reconoce la ayuda que puede brindar la ciencia y la tecnología para la solución solo de algunos problemas; de este modo es importante hacer énfasis en que el proceso de adquisición y reafirmación de este tipo de

actitudes demanda más tiempo y más actividades que le permitan al estudiante evidenciar la ayuda que proporcionan la CyT para la solución de problemas sociales sin llegar a pensar que éstas son la solución a todos ellos.



Gráfica 7. Índice medio para afirmaciones plausibles comparativo pre-test/post-test

- **Cuestión 40531**

Esta cuestión relaciona la tecnología con la sociedad afirmando que más tecnología mejorara la calidad de vida del país presentando afirmaciones de los tres tipos, de tal forma en que se observa una mayor promoción actitudinal frente a frases de tipo plausibles (índice medio: 0,224) que manifiestan que la tecnología permitirá tener más conocimiento y por ende ayudara a resolver los problemas, además de considerar que el uso de la tecnología en la actualidad no es realizado de manera responsable provocando diferentes problemas como el uso desmedido de los recursos naturales o la producción de armas (Véase grafica 7); este índice demuestra que la SEA genero cambios actitudinales en los estudiantes puesto que pasaron de un bajo acuerdo (0,033) a un grado de acuerdo bastante mayor (0,257) debido a que se hizo explicito la posibilidad en que la tecnología influye en el uso indiscriminado de los recursos naturales y genera problemáticas como la contaminación, pero asimismo la tecnología ayuda a resolver muchos de estos problemas, ya que está relacionada directamente con el conocimiento.

Por otra parte, las afirmaciones de tipo adecuado fueron aquellas que presentaron la promoción significativa (0,183) reflejando que las actividades de la SEA generaron espacios de mayor información o la promoción de visiones más adecuadas frente a la NdCyT y las relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la sociedad, ya que le permite a los estudiantes reflexionar acerca de la parcialización de la tecnología comprendiendo que la tecnología será buena para aquellos que pueden usarla, pero que asimismo causara

desempleo, contaminación y pobreza, de tal manera que es posible distinguir entre las ventajas y desventajas de la tecnología, disminuyendo visiones netamente estereotipadas.

Además de ello es importante tener en cuenta que en las visiones ingenuas también fue observada una promoción menor frente a las adecuadas y plausibles (0,133), sin embargo, las actividades desarrolladas no promovieron un mayor desacuerdo frente a ideas sobre que la tecnología promueve la eficiencia de la vida y que permite la creación de trabajo mejorando así la calidad de vida, puesto que la ciencia ya lo ha hecho anteriormente, es importante tener en cuenta que la SEA no desarrollo actividades que promovieran la abstracción o comprensión de esta relación, generando este resultado.

Finalmente, la afirmación que presento el mayor grado de acuerdo fue (ítem E) que indica:

“la tecnología haría la vida más agradable y más eficiente, pero también causaría más contaminación, desempleo y otros problemas. El nivel de vida puede mejorar, pero la calidad de vida puede que no.”

Tomado de: (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 2014)

Está afirmación corresponde al tipo adecuado en la que se consideran tanto los aspectos positivos como negativos del uso de la tecnología, este mismo resultado fue encontrado en estudiantes de primer semestre de Licenciatura en ciencias naturales, en donde se demuestra que se encuentran actitudes variables, sin embargo es evidente que los estudiantes no han recibido una formación en la NdCyT (Camacho, Gómez, & Leonor, 2013), pero a pesar de ello, es importante tener en cuenta que la población participante en esta investigación no posee estos mismos conocimientos por encontrarse en un nivel de educación media, pero fueron obtenidos resultados semejantes demostrando que parte de la construcción actitudinal del estudiante puede ser orientada desde el currículo una vez sean incluidos componentes CTS.

- **Cuestión 40821**

Afirma la incidencia de la ciencia en la sociedad, se tiene en cuenta afirmaciones únicamente del tipo plausible e ingenuo las cuales presentan promociones significativas hacia visiones más informadas acerca de la incidencia de la ciencia en la sociedad.

Es posible ver mediante las diferencias obtenidas entre el índice medio por cuestión (0,108) una promoción positiva en las afirmaciones plausibles, las cuales pasan de estar en la zona negativa a la zona positiva (Gráfica 7), lo que permite evidenciar un aumento en el grado de información que se obtiene a lo largo de la aplicación de la SEA, de este modo se da prevalencia a afirmaciones que permiten relacionar como la ciencia permea a la sociedad para que esta pueda conocer el mundo y hacer frente a problemáticas sociales.

Actitudes ingenuas se vieron favorecidas en la promoción de una visión menos desinformada presentando de este modo una diferencia poco significativa numéricamente (-0,050) (Gráfica 8) que permitió la comprensión de las relaciones ciencia y sociedad en el aprendizaje de la NdCyT, al identificar que la ciencia está disponible para el uso y el beneficio de todos.

Es importante mencionar este tipo de promoción es atribuido en gran medida a que el estudiante sin importar que esté en un nivel de educación media, está inmerso en la toma de decisiones donde para hacer frente a las problemáticas debe hacer uso de la ciencia, de este modo y de acuerdo a Acevedo et al., (2002) el planificar actividades donde los objetivos sean acordes con los objetivos del movimiento CTS favorece la construcción de posturas participativas y reflexivas que le permiten hacer frente a problemáticas sociales y ambientales.

Los resultados obtenidos para esta cuestión pueden ser comparados con los obtenidos por Rodríguez, (2013), donde al igual que la población investigada, los estudiantes reconocen que la ciencia puede influir en cualquier tipo de persona no solo en aquellos que presentan interés por ella, permitiendo así la permeabilidad de la ciencia en la sociedad.

▪ **Cuestión 40311**

En esta cuestión manifestaba que debían establecerse compromisos entre los efectos positivos y negativos de la CyT, frente a esta se observó una mayor promoción frente a las frases de tipo ingenuo (0,125) que denotan que los desarrollos de la ciencia y la tecnología benefician sin producir efectos negativos o que estos efectos pueden ser eliminados mediante planificaciones o comprobaciones, mostrando una imagen de que la CyT funcionan bajo parámetros netamente controlados como el método científico, que permite que los científicos posean un control total sobre los productos y desarrollos evitando errores o efectos perjudiciales, no obstante la promoción obtenida no sobre pasa el cero, indicando que los estudiantes no tienen un grado alto de acuerdo frente a dichas frases.

Seguida de la promoción de actitudes de acuerdo frente a frases ingenuas, la promoción más significativa fue observada ante afirmaciones adecuadas, en la que se manifiesta que no es posible predecir los efectos a largo plazo de los desarrollos CyT, pero que a pesar de ello, los efectos producto de los mismos son un riesgo, de la misma forma que los estudiantes manifestaban sus opiniones frente a los procesos de biorremediación mediante los cuales evaluaban sus efectos negativos y positivos así como su potencial riesgo mencionando que *“el uso de las lombrices como agentes remediadores puede generar procesos de biomagnificación de mercurio, si es realizado de forma indiscriminada y sin control fuera del laboratorio”*.

Este tipo de opiniones de los estudiantes pueden ser observadas en los resultados de la implementación de la SEA que son presentados más adelante.

Por último, la menor variación fue observada en las afirmaciones plausibles (0,039) indicando mínimos grados de acuerdo a frases que plantean que los efectos negativos y positivos de la CyT pueden perjudicar a algunas personas y que solo dependen del punto de vista de las personas y que además de ello cada efecto positivo tiene uno negativo que debe ser tolerado, porque no siempre pueden obtenerse ventajas unidireccionales.

▪ **Cuestión 10411**

Esta cuestión muestra que la CyT se encuentran estrechamente relacionadas entre sí, frente a ella se obtuvieron promociones ante frases plausibles e ingenuas mayoritariamente y menormente hacia afirmaciones de tipo adecuado.

La mayor promoción fue evidenciada en la frase de tipo plausible que menciona que la ciencia y la tecnología son más o menos la misma cosa lo que permite considerar que los estudiantes no realizan una diferenciación entre lo que es Ciencia y Tecnología, ya que no es posible identificar o diferenciar sus relaciones, probablemente este tipo de abstracciones por parte de los estudiantes es debido a la consideración actual de que la CyT están tan relacionadas entre sí, en forma de tecnociencia. Es importante aclarar que, a pesar de la promoción observada para este tipo de afirmaciones, la cuestión aun presenta un grado de desacuerdo ya que se encuentra por debajo de cero.

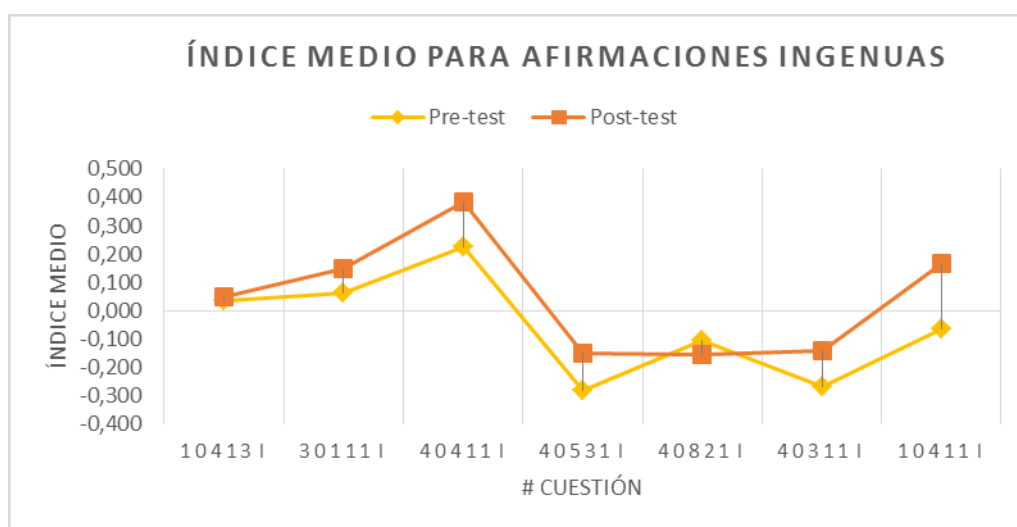
De esta forma se observa que los estudiantes consideran que la tecnología no puede ayudar a la ciencia o que por el contrario la ciencia es la base de la tecnología y no es posible ver como la tecnología puede ayudar a la ciencia; este resultado es producto de la poca visibilidad de la relación interna entre la CyT que se presentó dentro de las actividades de la SEA puesto que no fue explícito que tanto la ciencia y la tecnología trabajan en conjunto, de esta

manera cuando se comparan los resultados del pre test y pos test se refleja que los estudiantes pasaron de un grado mínimo de desacuerdo a un mayor grado de acuerdo frente a estas afirmaciones (Gráfica 8).

Este resultado demuestra que los estudiantes no poseen un alto grado de comprensión frente a los conceptos de que es Ciencia y Tecnología, así como su relación entre las aplicaciones y desarrollo para la investigación (Rodríguez, 2013).

Finalmente, las afirmaciones de menor promoción (adecuadas (0,05)) permiten confirmar los planteamientos presentados anteriormente en los cuales se consideran que los estudiantes comprenden en cierta medida que la CyT se encuentran bastante unidas y es complejo separarlas puesto que constituyen un apoyo entre sí mismas.

Esta visión es reforzada por creencias incompletas que limitan a la tecnología a elementos o instrumentos, que ha sido potenciada por la implementación de aparatos tecnológicos dentro del aula y en la vida cotidiana dejando de lado el conocimiento tecnológico (Acevedo-Díaz et al., 2003).



Gráfica 8. Índice medio para afirmaciones ingenuas comparativo pre-test/ post-test

8.2.2. Implementación y evaluación de la SEA

Los resultados de los desempeños de los estudiantes en relación a las categorías propuestas en la tabla 6, fue realizado de la siguiente manera: las preguntas para cada una de las actividades estaban enmarcadas en las categorías mencionadas, para ello se establecieron indicadores clasificatorios que permiten identificar el nivel alcanzado por los estudiantes, cada uno correspondiente a un puntaje específico, de esta forma a partir de las afirmaciones presentadas fue posible asignar una valoración numérica, a modo

de ejemplo, en la tabla 14, se presentan los resultados para la actividad “ciclo del mercurio”.

Teniendo en cuenta las categorías y rubricas de evaluación presentadas en el anexo 2 y 4, se evaluaron las actividades desarrolladas a lo largo de la SEA reconociendo el desempeño de los estudiantes en 3 niveles: *alto* referente a una puntuación de (5), *medio* equivalente a (3) y *bajo* con puntaje de (1).

La SEA estuvo compuesta por 7 etapas referentes al ciclo de aprendizaje 7E, para lo cual se diseñó una actividad específica que permitiera continuar con el hilo conductor y el objetivo planteado para cada etapa, sin embargo, para efectos de análisis la evaluación fue realizada únicamente para 4 actividades, información que se presenta consolidada en la tabla 15.




Tabla 14. Matriz evaluativa de desempeño

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	NIVELES DE DESEMPEÑO			Estudiantes que no responden
		Alto	Medio	Bajo	
Construcción social del conocimiento científico	Pregunta	¿Cómo afecta la contaminación por mercurio (población/medioambiente)?			0
	Responsabilidad social y ambiental	Comprende que la exposición del mercurio constituye una problemática socio ambiental, identifica claramente los impactos que tiene sobre el ambiente y la sociedad.	Identifica que el uso del mercurio en la explotación minera constituye una problemática cuyos efectos recaen solamente en la sociedad.	Menciona los elementos del medio ambiente que están expuestos a la contaminación por mercurio sin identificarlo como una problemática socio-ambiental	
	No, de estudiantes	7	7	1	
	Respuesta	<i>“...El mercurio en el medio ambiente presenta la transformación a metilmercurio, generando emisiones de vapores a la atmosfera contaminando el agua, los cultivos, también en el clima y la población produciendo enfermedades...”</i>	<i>“...la salud de la población se ve afectada y su manera de vivir...”</i>	<i>“...los problemas pueden afectar tierra atmosfera etc...”</i>	
	Pregunta	¿Qué es el mercurio?			0
	Impacto social del conocimiento científico y tecnológico	Identifica propiedades del mercurio la asimilación de este por parte de los organismos proliferando los impactos por la contaminación en sociedad y el ambiente	Menciona propiedades del mercurio y lo identifica como un contaminante potencial	Identifica las propiedades físicas del mercurio metálico	
	No. de estudiantes	2	8	5	
	Respuesta	<i>“...Las partículas de mercurio que terminan en los ríos son consumidos por los organismos, que allí habitan afectando a los mismos...”</i>	<i>“...Es un metal líquido a temperatura ordinaria de color plateado brillante que genera contaminación y daños a la salud...”</i>	<i>“...Es un metal líquido a temperatura normal...”</i>	

Consecuencias de la Ciencia y la Tecnología	Pregunta	Realiza un cuadro comparativo mostrando las ventajas y desventajas de la extracción de oro.			1
	Consecuencias de los productos científicos y tecnológicos	Identifica enfáticamente los entes sobre los cuales se evidencian las ventajas y las desventajas	Enlista las ventajas y desventajas de forma específica sin embargo no identifica los entes sobre los cuales se evidencian.	Enuncia las desventajas y ventajas de forma generalizada sin relacionar sobre que entes o agentes (actores, lugares) se evidencian.	
	No. de estudiantes	7	6	1	
	Respuesta	“...Ventaja: Se realiza explotaciones de oro mejorando la economía del país lo que permite tener la visión inversionista con extranjeros. Desventaja: destrucción del medio ambiente en las zonas donde se realiza la minería, alterando los ecosistemas y generando fallas geológicas ...”	“...Ventaja: genera ingresos aumentando puestos de trabajo permitiendo el desarrollo. Desventaja: genera contaminación al medio ambiente (destrucción de fauna y flora) y daños en la salud ...”	“...Ventaja: crea desarrollo. Desventaja: contamina las zonas ...”	
Pregunta	¿Qué harías si vivieras en una comunidad en donde se realiza la minería ilegal del oro? / Realiza varias propuestas para controlar la contaminación por mercurio			2	
Participación social	Plantea soluciones macro en pro de mitigar el impacto de la contaminación por mercurio en el ambiente y la sociedad	Expresa soluciones relacionadas con campañas para dar a conocer a la comunidad los efectos del uso del mercurio.	Propone soluciones inmediatas en las que solo él se ve favorecido		
No. de estudiantes	4	2	7		
Respuesta	“... promover campañas a las personas que viven cerca a zonas mineras de los cuidados que deberían tener para evitar problemas de salud (usar tapabocas, reducir el consumo de pescado) y así las empresas deben realizar jornadas de rehabilitación de suelos, siembra de árboles y descontaminación de ríos...”	“...Buscaría concientizar a los habitantes de dicho lugar de la necesidad de acabar con esta actividad que causa daños compartiendo todo el conocimiento del mercurio para crear conciencia sobre su uso...”	“...Me iría de ese sitio...”		

Tabla 15. Actividades de la SEA fundamentada en el ciclo 7E

Fase	Actividad desarrollada	Evidencia
<p style="text-align: center;">Enganchar-Elicitar</p>	<p>Introducción: Se desarrolló una contextualización acerca de la investigación que se iba a realizar, explicando los objetivos de la misma; además de ello se formularon preguntas introductoras en relación a la contaminación ambiental, métodos de extracción minera y la minería. Seguido se proyectaron videos acerca del uso del mercurio y la contaminación producida por el mismo.</p> <p>A partir de los extractos obtenidos de las preguntas introductoras se logró evidenciar que los estudiantes entendían que la minería llevaba a cabo procesos de extracción de recursos naturales y que promovían la contaminación, ya que se realizaba por medio de excavaciones, succiones del subsuelo, o explotaciones realizadas con dinamita o la técnica más artesanal con pica y pala. Finalizando esta actividad se realizó la entrega de las guías correspondientes para la realización de entrevistas familiares y el ciclo de mercurio para ser complementado teniendo en cuenta la información presentada en los videos.</p>	
	<p>Ciclo del mercurio: Fue iniciada con la socialización de la información recopilada por los estudiantes mediante la cual debían identificar las vías principales de contaminación como la biomagnificación, seguida de las preguntas que situaban a los estudiantes dentro del contexto nacional y lo invitaban a incorporar sus conocimientos sociales, ambientales, científicos y tecnológicos para proponer diferentes alternativas para el manejo del mercurio en la minería del oro.</p> <p>Línea del tiempo: Se construyó a partir de la información consolidada por los estudiantes en las entrevistas familiares en las cuales se procuraba establecer una relación entre los productos de uso cotidiano y el mercurio, así como promover una reflexión en torno al uso de estos mismos y la fecha en la cual eran comunes, con el fin de evaluar las abstracciones de los estudiantes en forma de conclusiones</p>	 
<p style="text-align: center;">Explicar</p>	<p>Abordaje conceptual: Fue realizada por las investigadoras a manera de clase magistral con apoyo audiovisual, en donde se presentación diferentes conceptos como el medio ambiente, la contaminación por metales pesados y su toxicidad, generando preguntas a los estudiantes acerca de las problemáticas que conocían sobre contaminación desde su punto de vista. Se explicaron los mecanismos por medio de los cuales se incorporan los contaminantes en el ambiente (biomagnificación, biodisponibilidad y bioacumulación), se incluyeron los fenómenos fisicoquímicos por medio de los cuales las lombrices actúan como agentes remediadores del suelo (absorción y adsorción).</p>	
	<p>Laboratorios: Se realizaron de forma grupal con el objetivo relacionar con los conceptos disciplinares y el proceso de biorremediación con los estudiantes, teniendo en cuenta que dicho proceso no podía ser realizado en el aula de clase puesto que representa un alto grado de riesgo para los estudiantes por la toxicidad del mercurio, por dicha razón se realizó la caracterización de la muestra de suelo (textura y pH), clasificación de lombrices (longitud y color) y simulación de los procesos de adsorción y absorción mediante los cuales las lombrices eliminan el mercurio del suelo por medio del empleo de hidrogel y carbón activado. Una vez terminado el laboratorio se resolvían las preguntas consignadas en las guías de laboratorio y se relacionaban los fenómenos vistos, frente a los conceptos abordados en la SEA.</p>	 

	<p>Noticias: Se realizó de manera grupal por medio de la entrega de noticias acerca de la contaminación minera en el todo el país, en donde cada grupo formulaba problemáticas y se explicaban ante los otros grupos apoyándose en un mapa de tablero que permitía comprender los lugares afectados y la magnitud de la contaminación (concentraciones) y finalmente se proponían alternativas (sociales) de solución ante dicha problemática</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Explorar</p>	<p>Caso simulado: Fue realizado por medio del sorteo de perfiles como mineros, campesinos, doctores, ambientalistas, entre otros en donde se encontraba una breve descripción de su postura; se proyectaron videos contextualizados acerca de la problemática de la minería del oro, los cuales permitían fomentar distintas opiniones y reflexiones por parte de los estudiantes para ser incorporadas en la discusión. Además de ello se entregó material simulado de la problemática (informe médico y noticia) sobre de la contaminación como información de apoyo que fomentaba la misma discusión. A partir de las intervenciones de los estudiantes pertenecientes a cada grupo se promovió el establecimiento de acuerdos entre cada una de las partes.</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Extender-Elaborar</p>	<p>Ponencias: Se lleva a cabo por medio de noticias acerca de la contaminación del Rio Bogotá mediante los cuales los estudiantes debían extraer las relaciones entre la CyT así como de los métodos que permitirían la recuperación del rio y la reflexión acerca de las técnicas y las principales fuentes que producen la contaminación del mismo; los estudiantes realizaban un texto argumentativo en el cual se incorporaban todos los conocimientos trabajados en la SEA que debía ser sustentado frente a todo el grupo..</p>	

Teniendo en cuenta las actividades mencionadas anteriormente se realiza la evaluación del desempeño de los estudiantes dentro de las categorías presentadas en la tabla 4 y la tabla 14.

- **Impacto social del conocimiento científico**

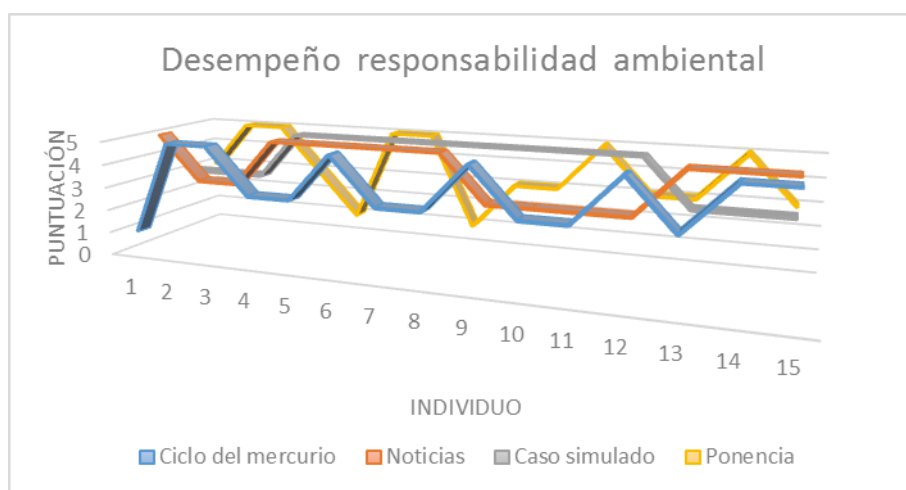
Esta categoría de evaluación comprende los aportes científicos y tecnológicos a partir de los cuales los estudiantes pueden establecer relaciones entre quehacer científico, los impactos sociales y ambientales promoviendo reflexiones entre la influencia de las acciones de la actividad CyT y su relación con las problemáticas sociales; dentro de la misma se consideraron dos subcategorías: responsabilidad social y ambiental y el impacto social del quehacer científico y tecnológico.

La subcategoría de responsabilidad ambiental pretendió, que los estudiantes lograran identificar la relación entre las problemáticas ambientales y los problemas sociales, además de proponer alternativas de solución a las problemáticas desde una perspectiva integradora del ámbito social, químico, tecnológico, ambiental y científico.

Con esta categoría se buscó la promoción de las actitudes adecuadas ante la cuestión 40411 evaluada en el COCTS para relacionar la ciencia y tecnología como una opción para la solución de problemáticas sociales y ambientales.

De esta manera se obtuvieron los desempeños presentados en la Gráfica 9.

De acuerdo al progreso de las actividades realizadas es posible evidenciar una mejora en el desempeño la categoría, observando que el 40% de los individuos alcanza un desempeño alto en la primera actividad relacionada con el ciclo del mercurio; así en la actividad siguiente (noticias) se evidencia un aumento respecto al número de individuos que alcanzan dicho desempeño siendo logrado por un 60% de la población; de este modo es posible mantener el desempeño, una vez que los estudiantes realizan actividades del tipo de caso simulado donde el asumir un rol en la problemática le permite apropiarse de la situación.



Gráfica 9. Desempeño por categoría: Impacto social del conocimiento científico- responsabilidad ambiental

Es importante mencionar que en la última actividad (ponencias) presenta una desmejora en el desempeño logrado, en la cual solamente el 40% de los individuos obtienen desempeño alto debido a que las problemáticas suministradas a los estudiantes pertenecen a entornos diferentes al de la problemática estructurante de la SEA.

Los resultados obtenidos permiten relacionar directamente el corte de las actividades con el desempeño de los estudiantes, puesto que cuando no se generan espacios que permitan la contextualización y reflexión dentro del aula, se obtienen desempeños medios correspondientes al (46,4%) y desempeños altos (40%) de los estudiantes y concuerda con lo concluido por Vázquez-Alonso et al., (2014), donde el desarrollar las actividades contextualizadas y de corte reflexivo permite alcanzar mejores desempeños.

De acuerdo con la figura 24, es posible comparar las afirmaciones de los estudiantes frente a la categoría de responsabilidad ambiental, en la cual se observan pequeñas descripciones sobre la problemática ambiental sin integrar su impacto social (ciclo del mercurio), además de una mejora en la comprensión más contextualizada y completa de los ámbitos y relaciones socio ambientales incorporando sus propios saberes y la construcción conceptual desarrollada durante la implementación de la SEA.

Así el proceso de extender¹⁶ los conocimientos adquiridos a entornos desconocidos permitió en algunos casos, la comprensión de las relaciones CyT, sin importar que no se hayan propiciado espacios reflexivos dentro del aula para que los estudiantes se apropien de la problemática o se realice una contextualización previa a la actividad; sin embargo se evidenció que los ejercicios realizados anteriormente, motivaron a los estudiantes al generar un interés hacia las problemáticas del tipo CTS logrando proponer alternativas de solución considerando aspectos sociales, políticos, económicos, científicos y tecnológicos.

CICLO DEL MERCURIO

PONENCIAS

Estudiante 15:

“...El mercurio en el medio ambiente presenta la transformación a metilmercurio, generando emisiones de vapores a la atmosfera contaminando el agua, los cultivos, también en el clima y la población produciendo enfermedades...”

Estudiante 15:

“...las hortalizas al absorber metales peligrosos difíciles de tratar son un problema, por el consumo de la población colombiana... todo ello conlleva a consecuencias altamente perjudiciales tanto sociales como ambientales...”

Estudiante 6:

“...El mercurio en contacto con el medio acuático se transforma en un potente neurotóxico, afectando a los peces y humanos porque el mercurio nunca desaparece de ambiente... “...dañando a los pobladores de una región con minería...”

Estudiante 6:

“...La problemática se encuentra en hortalizas ubicadas en la sabana de Bogotá que contienen en sus tejidos metales como cadmio y arsénico, esto puede ser muy peligroso, ya que al estar en contacto con el suelo, este absorbe la materia orgánica, esto hace que la población que consume las hortalizas se enferma o muera...”

ALTO

MEDIO

BAJO

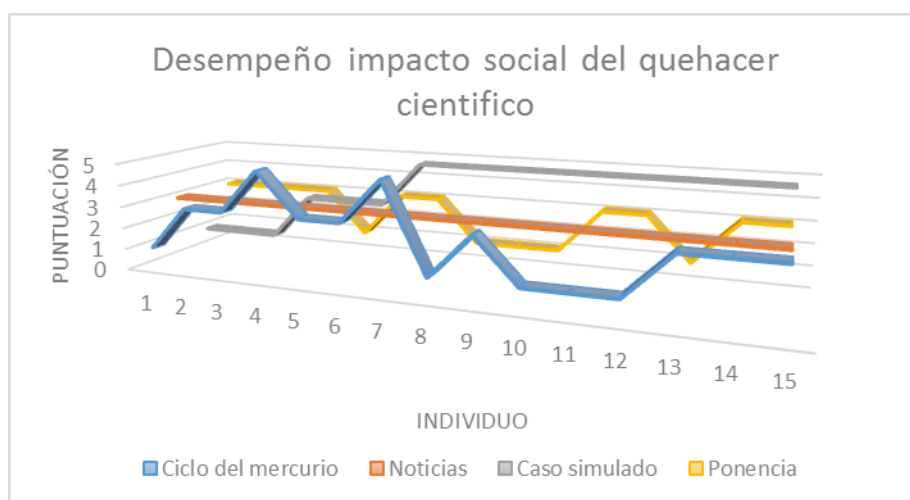
MEDIO

MEDIO

Figura 18. Comparativo de afirmaciones actividad Ciclo del mercurio -Ponencias

¹⁶ Correspondiente a una de las fases del ciclo de aprendizaje 7E.

En cuanto a la relación entre la cuestión 40411 y el desempeño de los estudiantes en la categoría se observó una promoción positiva frente afirmaciones del tipo adecuado (B y C) en las que se afirma que la ciencia y la tecnología no resuelven todos los problemas debido a que las mismas causan muchos de esos problemas, como por ejemplo la contaminación o la falta de apoyo en el control de las enfermedades producidas por esta misma. Además de ello se promovieron visiones positivas frente a afirmaciones más desinformadas o ingenuas en las que se considera que no es posible resolver los problemas sociales a partir de la CyT o que este es el precio que se paga por los avances de la CyT.



Gráfica 10. Desempeño por categoría: Impacto social del conocimiento científico- impacto social del quehacer científico

En la subcategoría: el impacto social del quehacer científico (gráfica 10) la tendencia observada corresponde a un avance a puntuaciones mayores a través de la secuenciación de actividades, de esta forma el (13,3%) de los estudiantes alcanzó un desempeño alto para la primera actividad (ciclo del mercurio), en la actividad acerca de noticias sobre la problemática minera del país ningún estudiante alcanzó un desempeño alto, sin embargo el (100%) de la población se clasificó en un nivel medio, siguiendo la cronología de las actividades, el caso simulado promovió que el (60%) de la población mejorara su desempeño a un nivel alto, manteniéndose así mismo en la actividad de las ponencias.

Teniendo en cuenta que esta categoría buscaba que los estudiantes identificaran los aportes científicos y tecnológicos existentes para la mejora de las condiciones de vida, evitando el uso de mercurio en la extracción del oro y de esta manera, minimizar las muertes y enfermedades derivadas, desde una visión social, es importante destacar argumentos comparativos de los estudiantes a lo largo de la implementación de la SEA.

A partir de los extractos presentados en la figura 25, se evidencia una progresión frente a la incorporación de conceptos, desde una etapa inicial (ciclo del mercurio) con conceptos básicos de química como lo son propiedades químicas y físicas a conceptos interdisciplinarios que involucran aspectos biológicos, químicos y ambientales.

La cuestión 10413 (véase *tabla 13*) refleja la inclusión de conceptos disciplinares (CyT) donde es posible la articulación conceptual comprendiendo el conocimiento científico y tecnológico aplicado directamente hacia las técnicas existentes para la remoción de la contaminación (interdependencia CyT), de este modo es posible evidenciar una mayor comprensión de la NdCyT dado que al observar los índices globales esta cuestión tiene una promoción hacia aspectos más positivos, resultados congruentes con las afirmaciones presentadas en la figura 25.

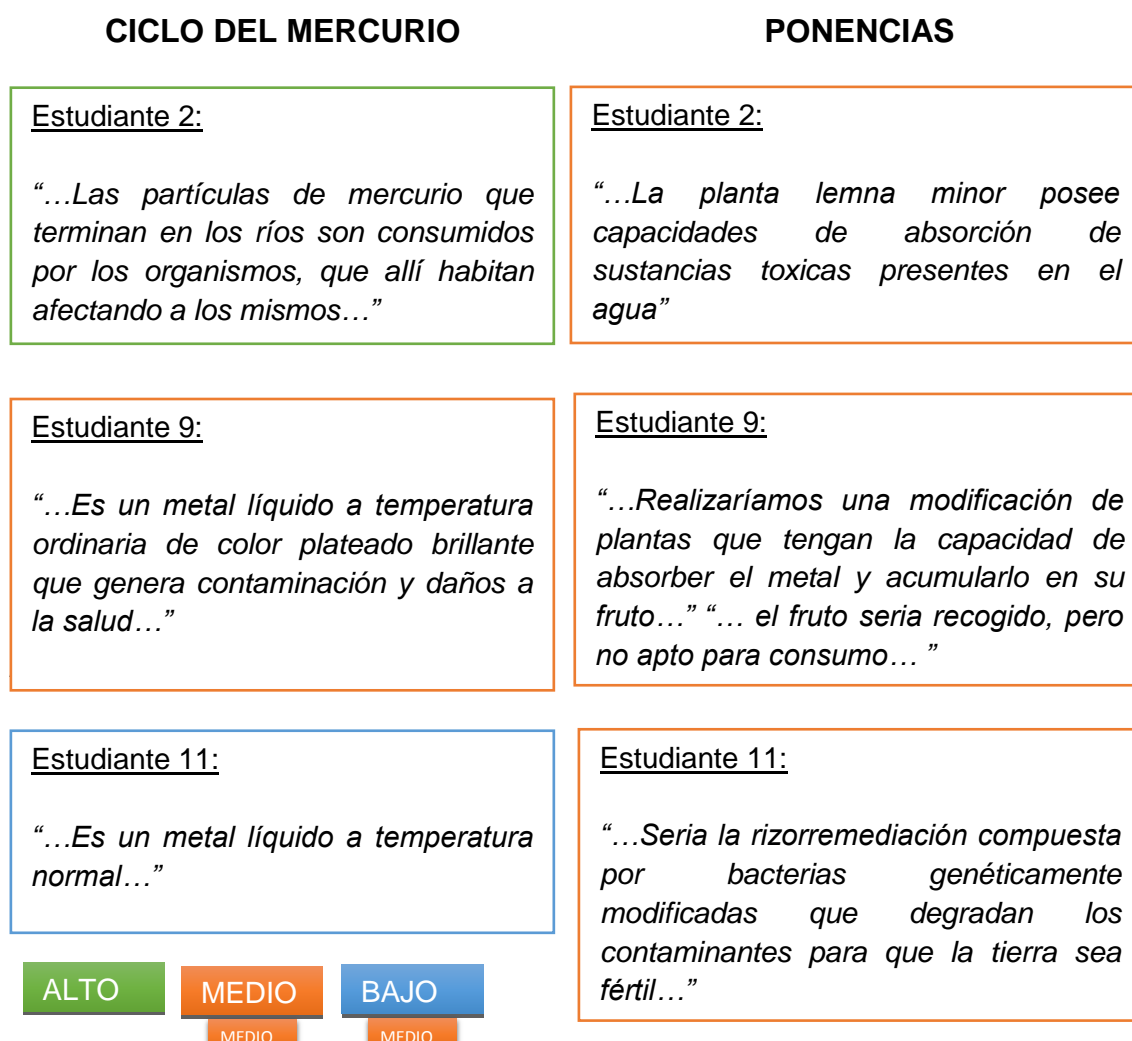


Figura 19. Comparativo de afirmaciones entre actividad Ciclo del mercurio y ponencias

Ante la cuestión 40821 se presenta una mejora hacia una visión más adecuada (0,108) en el índice global, ante afirmaciones plausibles, ya que esta cuestión

no posee afirmaciones del tipo adecuado; este cambio es fomentado por las actividades desarrolladas en la SEA, por medio de las cuales los estudiantes pueden entender que la ciencia permite capacitar a las personas para conocer el mundo, así como que la ciencia estimula a la sociedad para buscar el conocimiento y resolver de problemas.

Finalmente demostrar que las actividades diseñadas y realizadas dentro de la categoría del impacto social del quehacer científico permitió la incorporación de los conocimientos conceptuales aprendidos, así como de la generación de interés y responsabilidad social ante las problemáticas ambientales nacionales y la comprensión de los impactos sociales de la ciencia en torno a las técnicas de extracción o su imposibilidad de resolver todos los problemas de contaminación.

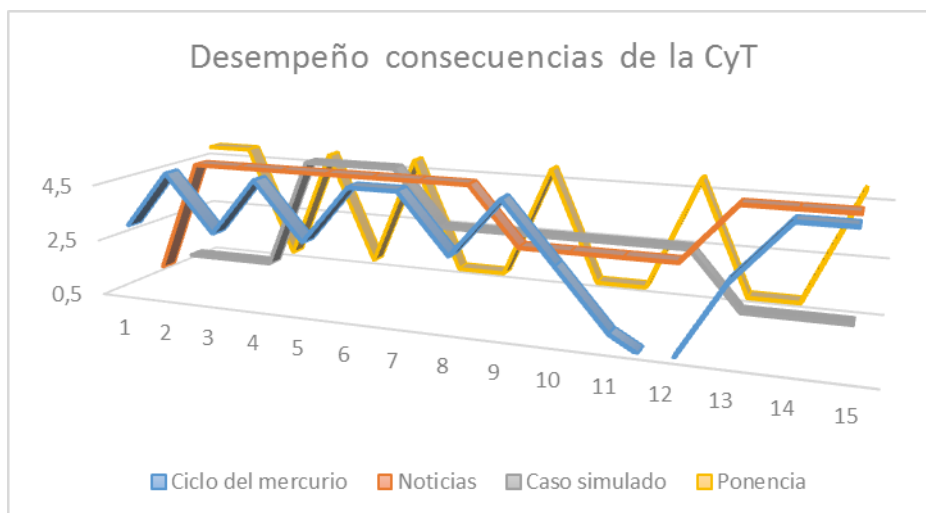
- **Consecuencias de la Ciencia y Tecnología**

Esta categoría está compuesta de dos subcategorías, la cobertura de los productos CyT y las consecuencias de la CyT para los cuales principalmente se busca que los estudiantes estén en la capacidad de reconocer que la accesibilidad de los productos científicos y tecnológicos se encuentra parcializada y se argumente la desigualdad que provoca el desarrollo científico y tecnológico desde una postura crítica, incluyendo el alcance y efectos que se producen en la sociedad y el ambiente.

A partir del desempeño de los estudiantes en esta categoría (véase gráfica 11) es posible contrastar la diferencia en los niveles alcanzados a lo largo de la implementación de la SEA para actividades iniciales como el ciclo de mercurio y las noticias el nivel alto fue alcanzado de manera significativa por los estudiantes ya que el 40 y 60% de la población logró establecer relaciones del tipo causa y efecto de la ciencia y la tecnología. En cuanto a la actividad del caso simulado la población se mantuvo entre nivel bajo y medio (40 y 40%) respectivamente, a pesar de que esta actividad fomentaba la participación colaborativa de los estudiantes y la expresión de diversas opiniones acerca de las implicaciones de la CyT, no fue posible alcanzar desempeños altos. Sin embargo, en la actividad final de las ponencias, el nivel alto aumenta al 46,6% de la población mostrando que algunos de los estudiantes consiguieron extrapolar e identificar las consecuencias de la tecnología por medio de la cual se desarrollan actividades industriales produciendo contaminación y asimismo identifican la posibilidad de implementar productos científicos y tecnológicos para resolver problemas socioambientales, desde entornos lejanos.

Para la categoría de las consecuencias de la CyT se asoció la cuestión 10411 en la cual se afirmaba que la CyT se encontraban estrechamente relacionadas entre sí, para esta cuestión fue encontrada una promoción positiva ante los tres

tipos de afirmaciones, debido a que el índice global es significativamente alto demostrando que los estudiantes lograron comprender la relación entre la investigación científica y las aplicaciones tecnológicas de tal manera que la CyT están ligadas estrechamente.



Gráfica 11. Desempeño por categoría: Consecuencia de la CyT- consecuencias de los productos científicos y tecnológicos

Sin embargo, la promoción de la visión ingenua de la interdependencia CyT es debida a que, en las actividades ejecutadas, esta relación no fue evidenciada de forma explícita para los estudiantes, a diferencia de cómo se llevó a cabo con las interacciones sociales que presentan las acciones científicas y tecnológicas; teniendo así la visión de la ciencia como aquella que hace posible la solución a problemáticas y la tecnología (aparatos y herramientas) vista como el apoyo de la ciencia.

Afirmaciones adecuadas presentaron una promoción menos significativa que las ingenuas, sin embargo, este avance puede verse reflejado en lo expresado por el estudiante 1 (figura 26) el cual pasa de identificar solamente los impactos sociales de la extracción minera con mercurio, sin relacionar la vía científica y tecnología por la cual se ha desarrollado; su progresión se observa claramente al mencionar las acciones científicas y tecnológicas, al no desligar los impactos sociales y ambientales a los cuales hay lugar en la extracción de cobre.

Es importante destacar que el nivel de extrapolación de estas relaciones va más allá de los indicadores altos establecidos (anexo 2) ya que sus conclusiones fueron extendidas a problemáticas o situaciones reales (entorno lejano) que facilitaban su comprensión al ser complementada con la información y problemática suministrada (entorno cercano).

En la categoría de la cobertura de la Ciencia y la tecnología fue evaluado únicamente en el caso simulado y las ponencias; de esta forma obtuvieron 20%

de los estudiantes un nivel alto, mientras que 33,3% de los estudiantes alcanzo una puntuación baja, sin embargo al evaluar el desempeño conseguido por los estudiantes, se observa una progresión bastante alta, en donde 46,6% de la población obtuvo puntuaciones altas como se refleja en la Gráfica 12, a pesar de ello el 53,3% de los estudiantes desmejoraron puesto que fueron clasificados dentro de un nivel bajo.

NOTICIAS

PONENCIAS

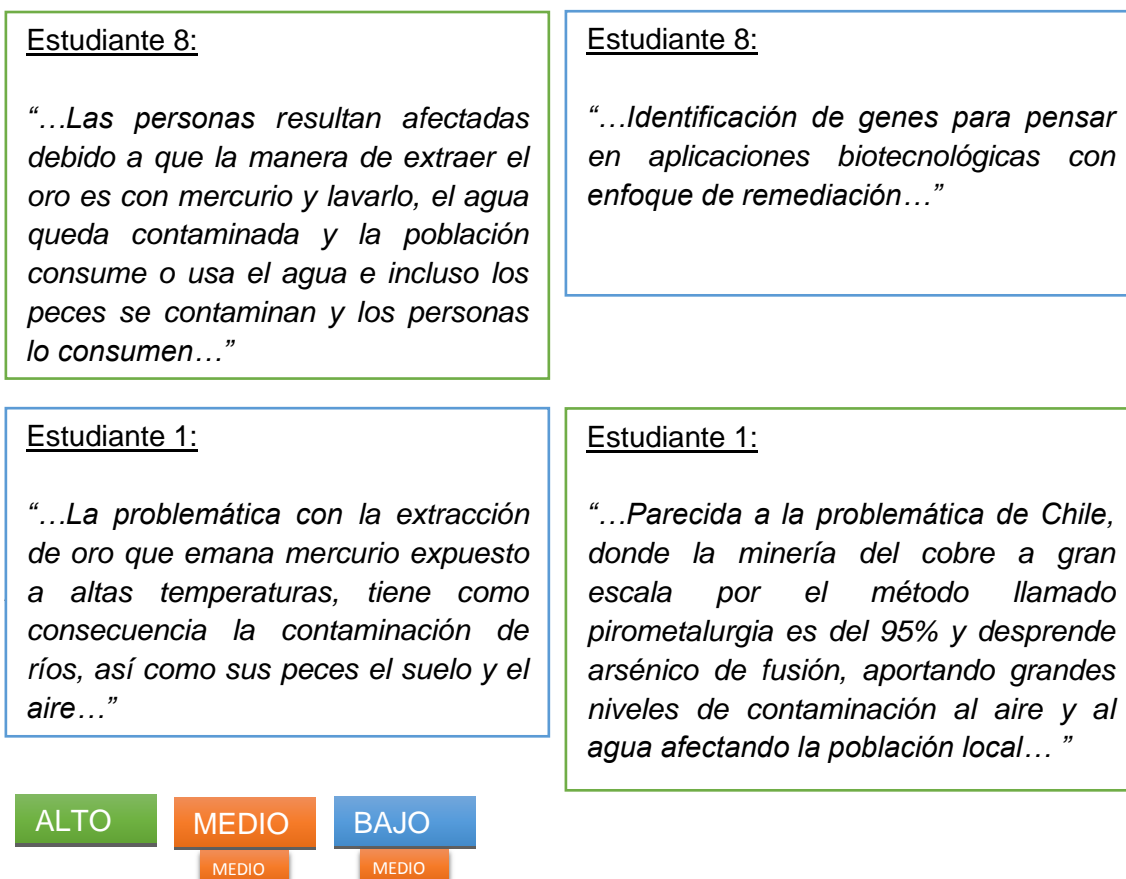
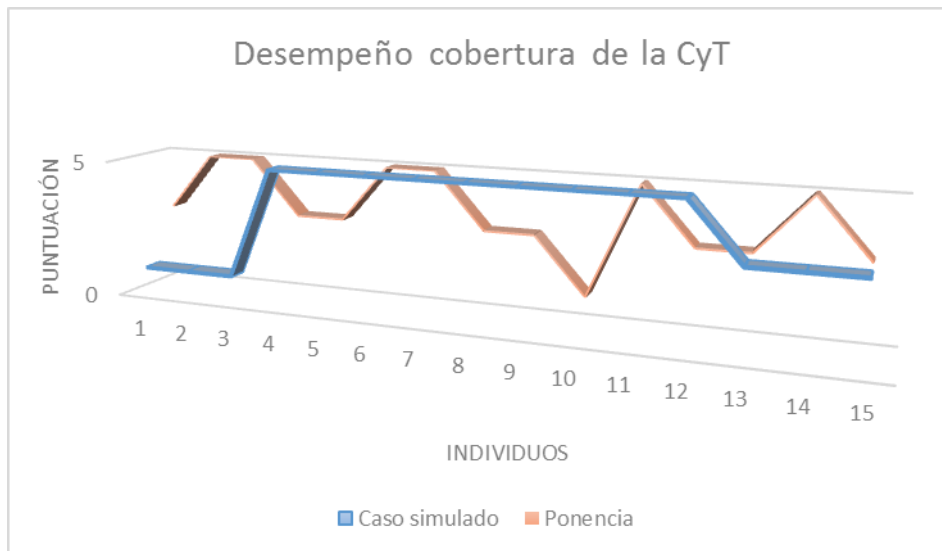


Figura 20. Comparativo de afirmaciones actividades: Noticias-Ponencia

Estos resultados son producto de la diferencia sustancial existente entre las dos actividades, ya que en una de ellas (caso simulado) se permitía la indagación de los estudiantes e incorporación de sus saberes a la problemática trabajada a lo largo de la SEA, mientras que en las ponencias se suministró una problemática frente a la cual los estudiantes debían consultar, investigar y abstraer las relaciones entre la CyT indicando y argumentando la parcialización (relación económica- social) entre las tecnologías para recuperar la vida del río Bogotá así como la tecnología empleada en los procesos industriales que producen la contaminación en el mismo.



Gráfica 12. Desempeño por categoría: Consecuencia de la CyT- cobertura de los productos científicos y tecnológicos

Relacionando las afirmaciones presentadas en la figura 27 y la cuestión 40531 que vincula la producción tecnológica con una mejora en las condiciones y la calidad de vida es comprendida por los estudiantes, una vez que mencionan las desigualdades económicas y sociales que provocan que no exista un alcance y cobertura completa de la CyT a toda la población.

Además de ello, se evidencia una promoción positiva global frente a la cuestión favoreciendo la comprensión de las implicaciones sociales derivadas de la tecnología fomentando actitudes adecuadas en las que los estudiantes identifican que la tecnología haría una vida más agradable pero causaría problemas sociales, como el desempleo y la contaminación beneficiando a aquellos que pueden usarla (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 2014).

Para esta categoría fue desarrollada una comprensión de las relaciones entre la CyT de forma social tal como fueron abarcadas en la categoría del impacto social del conocimiento, pero el hecho de no realizar actividades explícitas sobre relaciones únicamente entra la CyT sin considerar el aspecto social o ambiental dificulta en la mayoría de los estudiantes extrapolar sus saberes a contextos lejanos promoviendo visiones desinformadas, en la cual se considera que la Ciencia es la aplicación de los conocimientos y la Tecnología una aplicación de la Ciencia.

CASO SIMULADO

PONENCIAS

Estudiante 4:

“...La mayor contaminación la realizan las grandes corporaciones externas ya que acceden al oro de una forma más rápida, medios más convenientes existentes hasta el momento que causan deforestación en masa al tomar grandes cantidades de montaña a diferencia (mineros) que empleamos el mercurio como un método tradicional, no tiene afectación directa al medio ambiente porque lo tomamos (el oro) desde los

Estudiante 8:

“...Cuando el arsénico es explotado por maneras antiguas se hace mayor “comunicación” de los efectos sobre la población y el medio ambiente, pero cuando hace parte del crecimiento industrial los efectos no se hacen notorios siendo las leyes para las grandes industrias...”

Estudiante 1:

“...ejercemos la minería, pero no tenemos como la intención de dañar al medio ambiente, pero las grandes empresas, vienen dañan las montañas, extraen y vierten los residuos al agua, así que como mineros artesanales es difícil proponer una solución...”

Estudiante 1:

El estudiante no relaciona esta categoría en la ponencia debido a que no genera la asociación de las relaciones esperadas.

ALTO

MEDIO

BAJO

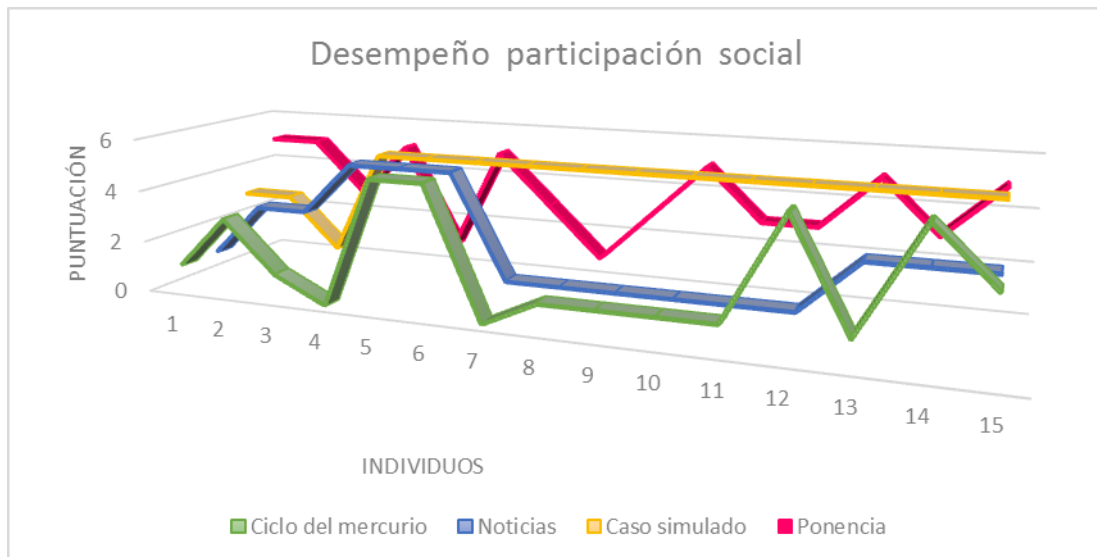
MEDIO

MEDIO

Figura 21. Comparativo de afirmaciones por actividades: Caso simulado- ponencias

• Participación Social

En la categoría de participación social se pretendió que los estudiantes demostraran interés y participación activa frente a las decisiones científicas y tecnológicas que afectan a la sociedad, además de identificar los métodos de participación social que permiten controlar y mediar las problemáticas ambientales y sociales, asumiendo un rol como ciudadano promoviendo reflexiones éticas.



Gráfica 13. Desempeño por categoría: Participación social

Se observó un bajo desempeño de los estudiantes para la primera actividad (ciclo del mercurio), en la que solo el 26,6 % de la población presenta alternativas de solución frente a la extracción de oro, con el uso de mercurio no se sitúan en la problemática como si vivieran en lugares en donde existe conflicto por la situación minera. Para la segunda actividad (noticias) se observa una disminución en el número de estudiantes que alcanzan el nivel alto, siendo únicamente del 20% ya que los estudiantes no observan cómo pueden contribuir a mitigar la contaminación por la extracción de oro (véase gráfica 13).

Por otra parte, en cuanto a las actividades finales como caso simulado y ponencia el desempeño alcanzado fue mayor (80 y 46,6%) respectivamente, en donde el efecto de la distribución de perfiles y roles motivó a los estudiantes a situarse como parte de la problemática y agentes de cambio en la resolución de los conflictos socio-ambientales promoviendo reflexiones y alternativas contextualizadas; para la actividad de las ponencias se realizaron nuevas propuestas teniendo en cuenta la nueva problemática suministrada en la cual se mencionaban los aprendizajes adquiridos en las actividades desarrolladas a lo largo de la SEA y se incorporaban diferentes ámbitos sociales, económicos, políticos y ambientales en busca del bienestar de las comunidades y la población aledaña al río Bogotá, así como de las personas que consumen hortalizas.

Una vez se hace la contrastación entre las afirmaciones presentadas por los estudiantes es evidente, que aquellos estudiantes (estudiante 1) que demostraron un desempeño bajo son aquellos que no llegan a situarse como ciudadanos capaces de promover un cambio o tomar decisiones frente a la problemática de la extracción minera, demostrando poco interés al no presentar

propuestas sociales o propuestas que integren el saber científico y tecnológico (conceptos disciplinares) que permitan reducir la contaminación.

Para afirmaciones de niveles medio y alto (estudiante 2 y 14) correspondientemente se refleja la incorporación de factores sociales, ambientales, científicos y tecnológicos para promover y fomentar actitudes consientes, acciones participativas que buscan resolver las problemáticas que involucran a la comunidad y además de ello se tienen en cuenta los conceptos trabajados durante la SEA, como la biorremediación, fenómenos de absorción y adsorción, comprendiendo que la CyT pueden ejercer efectos negativos – positivos, en los que la sociedad puede ser participe ya sea por medio del control o el interés por los desarrollos de la misma.

De ese modo la promoción de actitudes son evidenciadas en el aumento positivo del índice global en la cuestión 40311 que representa la comprensión por parte de los estudiantes sobre necesidad de establecer equilibrios entre los efectos positivos y negativos de la CyT, sin embargo se presenta una promoción positiva hacia actitudes ingenuas producto de la falta de interés por realizar un proceso de contextualización e identificación del papel como ciudadano activo en los estudiantes para cada una de las problemáticas, de este modo se imposibilita realizar esos equilibrios ya que de acuerdo a lo argumentado por el estudiante número 8 (figura 28) donde en lugar de ejecutar algún tipo de acción prefiere abandonar el lugar donde existe la problemática.

Afirmaciones plausibles y adecuadas presentaron un cambio positivo de menor significancia en la comprensión de los equilibrios, pero estos cambios son reflejados en la capacidad que los estudiantes adquieren de integrar factores científicos tecnológicos y sociales al estar frente a cualquier tipo de problemática, lo que permite evidenciar que la SEA influyó significativamente en la construcción de una postura crítica y reflexiva en los estudiantes.

CICLO DEL MERCURIO

Estudiante 8:

- ¿Qué harías si vivieras en una comunidad donde se realiza la minería ilegal del oro?

“...Me iría de ese sitio...”

Estudiante 14:

“... promover campañas a las personas que viven cerca a zonas mineras de los cuidados que deberían tener para evitar problemas de salud (usar tapabocas, reducir el consumo de pescado) y así las empresas deben realizar jornadas de rehabilitación de suelos, siembra de árboles y descontaminación de ríos...”

Estudiante 2:

“...Buscaría concientizar a los habitantes de dicho lugar de la necesidad de acabar con esta actividad que causa daños compartiendo todo el conocimiento del mercurio para crear conciencia sobre su uso...”

NOTICIAS

Estudiante 8:

“...Se hacen campañas y se ayudan a los afectados...”

Estudiante 14:

“...Podríamos mitigarlo por medio de limpiezas a los ríos cercanos a estas poblaciones e informando a los ciudadanos de este problema...”

Estudiante 2:

“...Para la mitigación de la problemática consideraría conveniente cambiar el mercurio por otro elemento que no afecte tanto el ambiente...”

PONENCIAS

Estudiante 8:

“...Para el problema del arsénico cualquier remediación serviría...”

Estudiante 14:

“...La alternativa de remediación que mejor se ajustaría es la rizoremediación al poderse hacer en aguas para la descontaminación de los metales...”

Estudiante 2:

“...Por la gran facilidad en la reproducción de la Lemna minor habría una eficacia en la absorción de mercurio arsénico y cadmio en el proceso de realización de la remediación haría una campaña para concientizar sobre el proceso hasta que esté completo...”

ALTO

MEDIO

BAJO

MEDIO

MEDIO

Figura 22. Comparativo afirmaciones por actividades: Ciclo del mercurio-Noticias-Ponencias

Es importante considerar que al igual que Acevedo, Vasquez Alonso, & Manassero–Mas (2002) los estudiantes participantes de la investigación no han recibido una formación CTS debido a que la implementación de estas temáticas no se ha llevado a cabo dentro del currículo, ya que se maneja una estructuración tradicional, promoviendo que la construcción de las actitudes por parte de los estudiantes este delegada al currículo implícito, la experiencia, abstracciones desde los medios masivos de comunicación o lecturas y las interacciones que ha tenido el estudiante con exposiciones de ciencia y tecnología, promoviendo alta diversidad en las actitudes observadas.

Por último es importante reconocer el impacto que produjo la SEA en los estudiantes, tal como se planteaba en los objetivos, donde las actividades propuestas permitieron fomentar una promoción en actitudes adecuadas en las cuales es posible establecer las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad, fomentando el interés y la participación de los estudiantes en las problemáticas que aquejan al país, motivando a incorporar los conocimientos químicos aprendidos en torno a la solución de estas mismas problemáticas, sin dejar de lado la consideración de que la ciencia y la tecnología causan muchos de estos problemas; asimismo es importante mencionar que en las actividades planteadas no se hizo explícita la relación entre la Ciencia y Tecnología, lo que influyo directamente en mantener y aumentar grados de acuerdo frente afirmaciones de tipo ingenua.

9. CONCLUSIONES

La estructuración metodológica de la SEA, en términos de la secuencialidad de las actividades y la incorporación de temáticas químicas con incidencia social, como lo es el caso del proceso de biorremediación articulado a la extracción minera de Oro en Colombia, generó un impacto positivo en el desarrollo actitudinal de los estudiantes que participaron en esta investigación, al promover el desarrollo de actitudes adecuadas y plausibles frente a la relación entre la ciencia, tecnología y sociedad, al fomentar la motivación y participación social ante problemáticas socio-ambientales desde una postura activa y reflexiva por medio de la cual los estudiantes se situaron como agentes de cambio generando diversas alternativas de solución, fundamentadas tanto de conocimientos disciplinares, como en acciones sociales para la producción de ideas interdisciplinarias permeadas en aspectos sociales, económicos, políticos, científicos y tecnológicos.

La población participante de la investigación, se caracterizó con perfiles actitudinales diversos, donde fueron observadas distintas visiones sobre la NdCyT y sus relaciones internas, debido a que en el instrumento COCTS (pre-test) fue evidenciado que las frases de tipo plausible poseían mínimos grados desacuerdo y grados de acuerdo bastante bajos, además de ello algunas de las afirmaciones ingenuas presentaban tanto altos y bajos grados desacuerdo; por otra parte, las frases de tipo adecuado poseían índices medios identificando cierto grado de información de los estudiantes. Estos resultados son producto del grado de información frente a temáticas de la NdCyT y la formación recibida en el aula, en la cual no son incorporados los contenidos CTS.

Reconociendo los desempeños logrados por los estudiantes en la implementación de la SEA, es importante resaltar que las puntuaciones más altas (5 puntos) fueron encontradas en las categorías que implican la relación social de la CyT (impacto social del conocimiento científico y tecnológico y participación social en las cuales el 60% y 80% de los estudiantes lograron altos desempeños, respectivamente; de tal manera, al promover espacios de discusión y participación, los estudiantes lograron apropiarse de las problemáticas desde una perspectiva interna a lo largo de la SEA, demostrando un progreso en el proceso de aprendizaje, que les permite identificar y entender este tipo de relaciones en contextos nuevos y lejanos.

Adicionalmente este carácter mayoritariamente social de la SEA fomento en los estudiantes, la búsqueda de este tipo de relaciones que fueron evidenciadas en los cambios actitudinales registrados en el COCTS, en donde las relaciones internas entre la CyT obtuvieron grados mayores de acuerdo frente a frases más desinformadas o plausibles, en las que los estudiantes no comprenden la

diferencia entre la ciencia y la tecnología o la forma en la cual pueden apoyarse entre sí, pero aun así consideran que están estrechamente ligadas y producen tanto cambios positivos y negativos, obteniendo puntuaciones altas y adecuadas en cuestiones en las que se relaciona el papel de CyT en la solución de problemas.

El componente conceptual (proceso de biorremediación) y el desarrollo de las actividades relacionadas tales como los laboratorios posibilitaron la comprensión de los conocimientos científicos como herramientas y técnicas para la solución de las problemáticas ambientales de forma articulada a los componentes didácticos que procuraron la adquisición de actitudes adecuadas frente a la NdCyT y la promoción de visiones más informadas acerca de las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Se evidenció de esta forma que los estudiantes comprendieron los fenómenos de adsorción y absorción, como mecanismos mediante los cuales son llevadas a cabo las técnicas de remediación, para el caso específico del uso lombrices y diferentes propuestas como la fitorremediación. De este modo, la simulación por medio de hidrogeles y el uso de carbono activado facilitó la transposición de los aprendizajes conceptuales a las explicaciones dadas en las prácticas experimentales y con ello, fueron integrados estos mecanismos a los problemas de contaminación del Río Bogotá en donde se manifestó la posibilidad de eliminar metales pesados empleando dichas técnicas, este resultado fue producto de la adaptación realizada al ciclo de las 7E.

En cuanto al proceso de biorremediación empleando la *Eisenia Foetida* fue posible evidenciar como en ambientes altamente contaminados (7 y 9 ppm), las lombrices presentan alta movilidad y vitalidad demostrando una alta resistencia y tolerancia al mercurio inorgánico y promoviendo altos porcentajes de remoción de 80 a 93% lo que concuerda con las investigaciones realizadas por Vijver et al., (2003) y Le Roux et al., (2016b). Evidenciando que en los microcosmos 5 y 9 son más significativas las diferencias en los porcentajes de remoción para un rango de tiempo comprendido entre las 16-18 horas presentando así valores de 16,4-21,3 por ciento de remoción respectivamente, siendo así determinante para que en las 22 horas se presente la mayor acumulación de mercurio en la especie.

Los efectos observados producto de la exposición en la *Eisenia foetida* se reflejaron en la manera como las lombrices aumentaron su masa y las coloraciones desarrolladas en algunas secciones de su cuerpo esto debido a los mecanismos mediante los cuales la especie asimila el mercurio en su cuerpo.

Finalmente, este trabajo permitió incluir procesos de desintoxicación con el fin de garantizar la vitalidad de los organismos, así como controlar la inclusión de mercurio en la cadena trófica mediante mecanismos de biomagnificación. Con base en los resultados obtenidos se hace viable el empleo de la especie *Eisenia foetida* en los procesos de recuperación de suelos y lodos contaminados con mercurio provenientes de la acción minera, debido al alto porcentaje de eficiencia, sobrevivencia, reproducción y resistencia frente al catión Hg^{2+}

10.RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones que pretendan abarcar temáticas como la evaluación de las actitudes y el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje bajo el enfoque CTS, es importante que las actividades sean claras en establecimiento de sus objetivos donde para cada uno de los elementos (ciencia, tecnología y sociedad) se presente de manera explícita las interrelaciones a las que haya lugar, con el fin de que le permitan al estudiante en cualquier momento de la intervención didáctica establecer este tipo de relaciones.

Dentro de la implementación de las actividades de la SEA es totalmente necesario integrar los contextos cercanos (locales, regionales o nacionales) que le permitan a los estudiantes ligar los conocimientos desarrollados dentro del aula con ambientes reales en los cuales el individuo se desenvuelve, puesto que fue evidenciado altos desempeños en actividades que orientaban y motivaban a los estudiantes a extraer las relaciones entre problemática-solución, la generación de acciones cívicas fundamentadas desde procesos reflexivos desde su rol como ciudadano activo en la sociedad.

Adicionalmente se considera necesario la implementación de instrumentos cualitativos que permitan comprender la razón por la cual se produce el cambio actitudinal en cada uno de los individuos incluyendo una justificación de la elección realizada por el individuo en cada una de las frases del instrumento COCTS, con el fin de conocer con mayor profundidad las visiones frente a la NdCyT y la relaciones CTS y con ello proponer nuevas alternativas didácticas que permitan la promoción de actitudes más informadas.

En cuanto al proceso de biorremediación se hace pertinente estudiar mayores tiempos de remoción para identificar el tiempo en el cual el agente remediador alcanza la saturación o el equilibrio, manteniendo la variabilidad de la concentración e incluyendo un estudio multivariado (humedad, pH y temperatura) con el fin de conocer las condiciones óptimas del proceso de biorremediación (capacidad remediadora) que poseen las lombrices para extrapolar esta metodología a la problemática ambiental presente en diversas zonas del país.

Para el proceso de cuantificación se recomienda el uso de técnicas más robustas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J. A., Vasquez Alonso, Á., & Manassero–Mas, M. A. (2002). Actitudes y creencias CTS de los alumnos: su evaluación con el cuestionario de opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología Sociedad E Innovación*, 2. Retrieved from <http://www.oei.es/historico/revistactsi/numero2/varios1.htm>
- Acevedo, J. A., Vázquez Alonso, A., & Manassero Mas, M. A. (2001). El Movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias. *OEI (Avaluació Dels Temes de Ciència, Tecnologia I Societat)*.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., & Acevedo-Romero, P. (2003). Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 2(3), 353–376.
- ACTAF, A. C. de T. A. y F. (2007). Capítulo III las Lombrices.
- Avalezco, E. (2010). Líquido celómico. Retrieved from <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/20830.html>
- Bennáscar, A., Vázquez, Á., Manassero, M. A., & García-Carmona, A. (2010). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de la ciencia y la tecnología. Documentos de trabajo.*
- Beschin, a., Bilej, M., Hanssens, F., Raymakers, J., Van Dyck, E., Revets, H., ... Timmermans, M. (1998). Identification and Cloning of a Glucan-and Lipopolysaccharide-binding Protein from Eisenia foetida Earthworm Involved in the Activation of Prophenoloxidase Cascade. *Journal of Biological Chemistry*, 273(38), 24948. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9733802> <http://www.jbc.org/content/273/38/24948.short>
- Calao, C. R., & Marrugo, J. L. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(2015), 139–151. <http://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
- Callejas, R, M. M. E. A. M., & Idárraga, A. Y. (2013). Implicaciones de una Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje en la comprensión de la naturaleza del conocimiento científico, 12–17.
- Camacho, O., Gómez, G., & Leonor, G. (2013). ACTITUDES FRENTE A LA RELACIÓN CTS DE ESTUDIANTES DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NATURALES.
- Cerenius, L., & Söderhäll, K. (2004). The prophenoloxidase-activating system in invertebrates. *Immunological Reviews*, 198, 116–126. <http://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.00116.x>
- Clarke, S. F., Murphy, E. F., Nilaweera, K., Ross, P. R., Shanahan, F., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2012). The gut microbiota and its relationship to diet and obesity: new insights. *Gut Microbes*, 3(3), 186–202. <http://doi.org/10.4161/gmic.20168>
- Cornell University. (n.d.). Bacteria de Bajo GC Contenido y Gram Positivo. Retrieved from <https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/espanol/bacteria-de-bajo-gc-contenido-y-gram-positivo>
- Eisenkraft, a. (2003). Expanding the 5E model. *The Science Teacher -Washington-*, 70(6), 56–59. Retrieved from <http://www.its-about-time.com/iat/5e.pdf>
- Flores, B. (2011). Diseño Y Validación De Un Método De Análisis Por Espectrofotometría Uv-Vis Para Cinc (Ii) Y Mercurio (Ii) En Muestras Acuosas, (Ii), 102.
- Garritz, A. (1994). Ciencia-Tecnología-Sociedad: A diez años de iniciada la corriente. *OEI*. Retrieved from <http://www.oei.es/historico/salactsi/quimica.htm>
- Gudbrandsen, M., Sverdrup, L. E., Aamodt, S., & Stenersen, J. (2007). Short-term pre-exposure increases earthworm tolerance to mercury. *European Journal of Soil Biology*, 43(SUPPL. 1), 261–267. <http://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.025>

- Hernandez, M. Y. (2015). *RIESGO TOXICOLÓGICO EN PERSONAS EXPUESTAS, A SUELOS Y VEGETALES, CON POSIBLES CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS, EN EL SUR DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA*. Universidad Nacional de Colombia. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hirano, T., & Tamae, K. (2011). Earthworms and soil pollutants. *Sensors*, 11(12), 11157–11167. <http://doi.org/10.3390/s111211157>
- I.E.D, V. A. (2014). Agenda Escolar y Manual de Convivencia. BOGOTÁ, D.C.
- Kensa, V. M. (2011). Bioremediation - an Overview, 27(2), 161–168.
- KHAN, H., AHMED, M. J., & BHANGER, M. I. (2005a). A Simple Spectrophotometric Determination of Trace Level Mercury Using 1,5-Diphenylthiocarbazone Solubilized in Micelle. *Analytical Sciences*, 21(5), 507–512. <http://doi.org/10.2116/analsci.21.507>
- KHAN, H., AHMED, M. J., & BHANGER, M. I. (2005b). A Simple Spectrophotometric Determination of Trace Level Mercury Using 1,5-Diphenylthiocarbazone Solubilized in Micelle. *Analytical Sciences*, 21(5), 507–512. <http://doi.org/10.2116/analsci.21.507>
- Le Roux, S., Baker, P., & Crouch, A. (2016a). Bioaccumulation of total mercury in the earthworm *Eisenia andrei*. *SpringerPlus*, 5(1). <http://doi.org/10.1186/s40064-016-2282-6>
- Le Roux, S., Baker, P., & Crouch, A. (2016b). Bioaccumulation of total mercury in the earthworm *Eisenia andrei*. *SpringerPlus*, 5(1), 681. <http://doi.org/10.1186/s40064-016-2282-6>
- Manassero Mas, M. A., Vasquez Alonso, Á., & Acevedo Diaz, J. (2001). La evaluación de las actitudes CTS. *Organización de Estados Iberoamericanos*.
- Manassero-Mas, M. A., & Vázquez-Alonso, Á. (2001). Instrumentos Y Métodos Para La Evaluación De Las Actitudes Relacionadas Con La Ciencia, La Tecnología Y La Sociedad. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(1), 15–27.
- Martínez, J. A., & Uribe, A. (2015). El Mercurio y la contaminación por actividad extractiva. *Ontare*.
- Martínez-Artero, R. N. y A. de P. B. (2005). *ACTITUDES HACIA LAS CIENCIAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN PRIMARIA DE LA REGIÓN DE MURCIA. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia*.
- McComas, W. F. (1998). *The Nature of Science in Science Education. Cerebrum*. <http://doi.org/10.1007/0-306-47215-5>
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 1(1), 77–99.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de La Mojana. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Membali, P. (2001). Una Revision del Movimiento CTS en la Enseñanza de las Ciências. *Enseñanza de Las Ciencias Desde La Perspetiva Ciência-Tecnologia-Sociedade: Formación Científica Para La Ciudadania*, 91–103.
- MEN, M. de E. N. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje*. Retrieved from http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA_C.Naturales.pdf
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, M., & Antioquia, U. de. (2010). *Cuantificación de Liberaciones Antropogénicas de Mercurio en Colombia*. BOGOTÁ, D.C.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). *Diagnostico nacional de salud ambiental*. Retrieved from [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
- Ministerio de Minas y Energías. (2011). *Minas y Energía*.
- OMS. (2016). El mercurio y la Salud. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- Orozco, J. M., & Macías, M. D. P. C. (2010). Determinación de mercurio en formulaciones farmacéuticas utilizando un sistema de flujo continuo y ditizona en medio micelar. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 41(1), 37–43.
- Paisio, C. E., González, P. S., Talano, M. A., & Agostini, E. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiente Y Algal*, 3(2), 119–146.
- Perez, F., & Perez, D. (1983). *Análisis de elementos-traza por espectrofotometría de absorción molecular ultravioleta-visible*.
- Porras Vallejo, O. A. (2012). Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de la región de La Mojana, 90.
- Posada, R. (2012). Procesos de bioremediación. Retrieved October 23, 2016, from http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358025/Modulo_FINAL_358025.pdf
- Programa Nacional de Riesgos Químicos. (2007). Mercurio: Cartilla de Información. *Movimiento Mundial Para El Cuidado de La Salud Libre de Mercurio*.
- RAE. (2016). Microcosmos. Retrieved from <http://dle.rae.es/?id=PBsa4YG>
- Rieder, S. R., Brunner, I., Daniel, O., Liu, B., & Frey, B. (2013). Methylation of Mercury in Earthworms and the Effect of Mercury on the Associated Bacterial Communities. *PLoS ONE*, 8(4), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0061215>
- Rodriguez, P. A. (2013). *TRANSFORMACIÓN DE LAS CONCEPCIONES SOCIOLOGICAS SOBRE NATURALEZA DE LA CIENCIA (NdC) EN ESTUDIANTES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA TÉCNICA FABIO LOZANO Y LOZANO PIEDRAS - TOLIMA*.
- Rom, L. R. (2014). Determinación de los niveles de mercurio en suelo en San Martín de Loba, sur de Bolívar - Colombia, 143–149.
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*.
- Sanabria, T. I. A., & Callejas, R. M. M. (2012). LAS RELACIONES CTS: ESTUDIO. *Praxis Y Saber*, 3(5), 103–125.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and Quasi-Experimental for Generalized Designs Causal Inference. *Handbook of Industrial and Organizational Psychology*, 223, 623. <http://doi.org/10.1198/jasa.2005.s22>
- Simco. (2015). Historico de producción de oro. Retrieved from http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&ipoSerie=116&grupo=355
- Solomon, J. (1989). *Development and dilemmas in science education - Fensham, P. Chapter 13 The Dilemma of Science. Tecnology and Society Education. Journal of Education and Teaching (Vol. 15)*.
- Spurgeon, D. J., & Hopkin, S. P. (1996). The effects of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: Quantifying species effects. *Applied Soil Ecology*, 4(2), 147–160. [http://doi.org/10.1016/0929-1393\(96\)00109-6](http://doi.org/10.1016/0929-1393(96)00109-6)
- Vásquez, Á., & Manassero, M. A. (2009). La relevancia de la educación científica: Actitudes y valores de los estudiantes relacionados con la ciencia y la tecnología. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33–48.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: una revisión conceptual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 13(3), 337–346. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/22626>
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). Secuencias de enseñanza-aprendizaje CTS contextualizadas en química del proyecto EANCYT. *Educació Química EduQ*, 11, 32–39.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2014). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS). Unidades Didácticas del proyecto EANCYT*. <http://doi.org/10.13140/2.1.4221.0242>
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero–Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica.
- Vázquez-Alonso, Á., Aponte, A., Manassero-Mas, M. A., & Montesano, M. (2014). Una

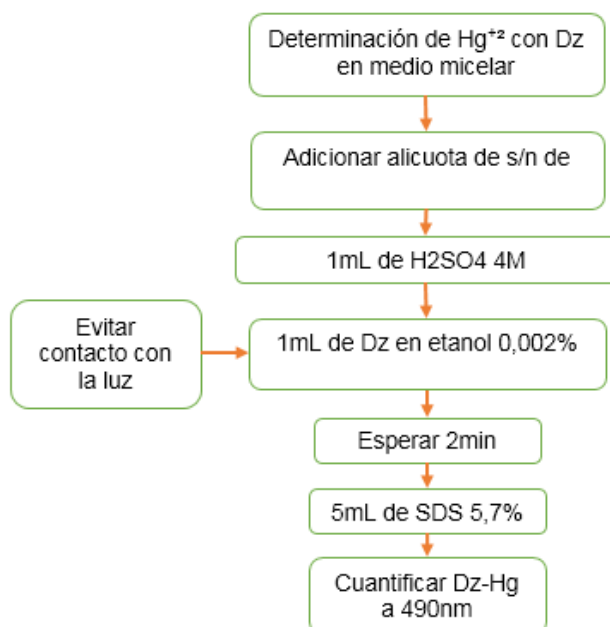
- secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre un tema socio-científico: Análisis y evaluación de su aplicación en el aula. *Educacion Quimica*, 25(E1), 190–202. [http://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70558-0](http://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70558-0)
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero–Mas, M. A., & Benassar, A. (2013). *Enseñanza y aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y tecnología (EANCYT): una investigación experimental y longitudinal*. Palma de Mallorca. <http://doi.org/10.1590/S1678-31662006000300009>
- Vijver, M. G., Vink, J. P. M., Miermans, C. J. H., & Van Gestel, C. A. M. (2003). Oral sealing using glue: A new method to distinguish between intestinal and dermal uptake of metals in earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 125–132. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00245-6](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00245-6)
- Villarejo Doadrio, A. L. (2000). Ecotoxicología y acción toxicologica del mercurio, 1–25.
- Zapata, I. C., Saldarriaga, J. F., Posada, E., Martinez, L., & González, M. E. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina* 77, 27–1, 77–91. <http://doi.org/10.18359/rcin.1911>

ANEXOS

ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR MÉTODO DE DITIZONA

- **PROTOCOLO EXPERIMENTAL**



Tomado de:(KHAN et al., 2005a)

- **Solución 1000 ppm de Hg^{2+}**

Se preparó a partir de una sal de cloruro de mercurio de grado analítico, disolviendo la cantidad correspondiente en un balón aforado de 500mL con un Buffer de $NaHPO_4 / Na_2PO_4$ de pH 5,21 y completado con agua desionizada.

La solución fue estandarizada con naranja de Xilenol y EDTA por triplicado. Los patrones fueron preparados a partir de una solución intermedia de 50 ppm.

- **Solución 5,7% SDS**

Se preparó pesando 5,7g de SDS y se adicionaron 70 mL de agua desionizada para disolver, se agitó con un agitador magnético por 10 min y posteriormente se realizó un baño de ultrasonido durante 20 min, posteriormente se transfirió a un balón de 100mL y se completó con agua desionizada.

- **Solución de Dz 0,002%**

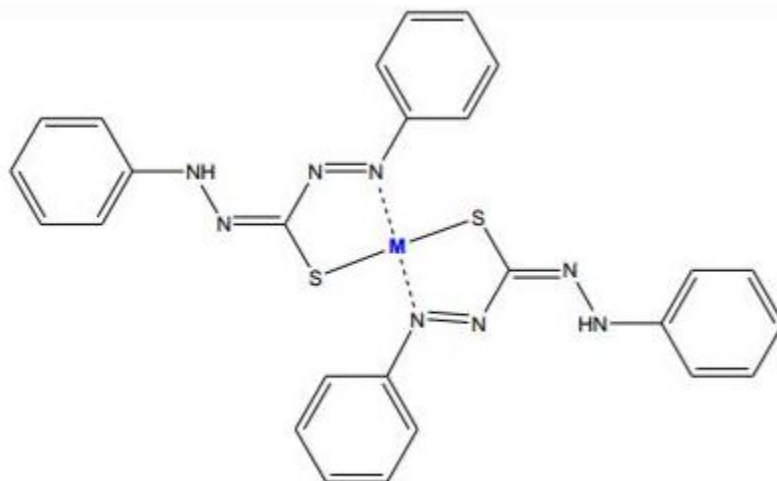
Se pesaron 0,002g de ditizona y se disolvieron con etanol con agitador magnético durante 30 min; la solución se mantuvo protegida de la luz usando

papel aluminio, posteriormente se filtró con papel cuantitativo y se transfirió a un balón aforado de 100mL completando con etanol.

- **Solución H₂SO₄ 4M**

Se realizó una dilución de una solución de H₂SO₄ concentrado.

- **Formación del complejo: DITIZONATO DE MERCURIO**



Ditizonatos metálicos para cationes divalentes.

Tomado de: (Flores, 2011)

40411. La ciencia y la tecnología son una gran ayuda para resolver problemas sociales como la pobreza, el crimen, el desempleo, la superpoblación, la contaminación, o la amenaza de una guerra nuclear.										
Para cada frase marque el número de la escala que represente el mejor grado de acuerdo entre la posición expuesta en la frase y su propia opinión sobre el tema		Grado de acuerdo								
		Bajo			Medio			Alto		
A	La ciencia y la tecnología ciertamente pueden ayudar a resolver esos problemas. Se podrían usar nuevas ideas de la ciencia y nuevos inventos de la tecnología.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	La ciencia y la tecnología pueden ayudar a resolver algunos problemas sociales pero no otros.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	La ciencia y la tecnología resuelven muchos problemas sociales, pero la ciencia y la tecnología causan muchos de esos problemas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	No es una cuestión de que la ciencia y la tecnología ayuden, sino más bien de cómo usarlas sabiamente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	Es difícil ver como la ciencia y la tecnología pueden ayudar mucho a resolver esos problemas sociales. los problemas sociales conciernen a una naturaleza humana; esos problemas no tienen nada que ver con la ciencia y la tecnología	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	La ciencia y la tecnología lo único que hacen es empeorar los problemas sociales. Son el precio que pagamos por los avances en ciencia y tecnología	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G	Depende del tipo de problemas que se trate; en unos casos podrá resolverlos en otros no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40531. Más tecnología mejorará el nivel de vida de nuestro país.										
Para cada frase marque el número de la escala que represente el mejor grado de acuerdo entre la posición expuesta en la frase y su propia opinión sobre el tema		Grado de acuerdo								
		Bajo			Medio			Alto		
A	Sí, porque la tecnología siempre ha mejorado el nivel de vida y no hay razón para que no lo hagan ahora	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	Sí, porque cuanto más sabemos, mejor podemos resolver nuestros problemas y cuidar de nosotros mismos.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	Sí, porque la tecnología crea trabajo y prosperidad. La tecnología ayuda a hacer la vida más agradable, más eficiente y más divertida.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	Sí, pero sólo para aquellos que pueden usarla. Más tecnología destruirá puestos de trabajo y causará que haya más gente por debajo de la línea de pobreza	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	Sí y no. Más tecnología haría la vida más agradable y más eficiente, PERO también causaría más contaminación, desempleo, y otros problemas. El nivel de vida puede mejorar, pero la calidad de vida puede que no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	No, porque nosotros somos irresponsables con la tecnología que tenemos ahora; como ejemplos podemos citar la desmedida producción de armas y el uso abusivo de los recursos naturales.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40821. ¿la ciencia influye sobre la sociedad?										
Para cada frase marque el número de la escala que represente el mejor grado de acuerdo entre la posición expuesta en la frase y su propia opinión sobre el tema		Grado de acuerdo								
		Bajo			Medio			Alto		
A	La ciencia no influye demasiado en la sociedad.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	La ciencia influye directamente sólo en aquellas personas de la sociedad que tienen un interés por la ciencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	La ciencia está disponible para el uso y el beneficio de todos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	La ciencia capacita a la personas para poder conocer el mundo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	La ciencia ha fomentado la perspectiva del mundo "moderno" haciendo más permeable la sociedad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	La ciencia estimula a la sociedad para buscar más conocimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G	La ciencia influye sobre la sociedad para buscar más conocimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9

30111. ¿Cuál de los siguientes diagramas representaría mejor las interacciones mutuas entre la ciencia, la tecnología y la sociedad? (Las flechas simples indican una sola dirección para la relación, y las dobles indican interacciones mutuas. Las flechas más gruesas indican una relación más intensa que las finas, y éstas más que las punteadas; la ausencia de flecha, indica falta de relación)										
Para cada frase marque el número de la escala que represente el mejor grado de acuerdo entre la posición expuesta en la frase y su propia opinión sobre el tema		Grado de acuerdo								
		Bajo			Medio			Alto		
A		1	2	3	4	5	6	7	8	9
B		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C		1	2	3	4	5	6	7	8	9
D		1	2	3	4	5	6	7	8	9
E		1	2	3	4	5	6	7	8	9
F		1	2	3	4	5	6	7	8	9
G		1	2	3	4	5	6	7	8	9

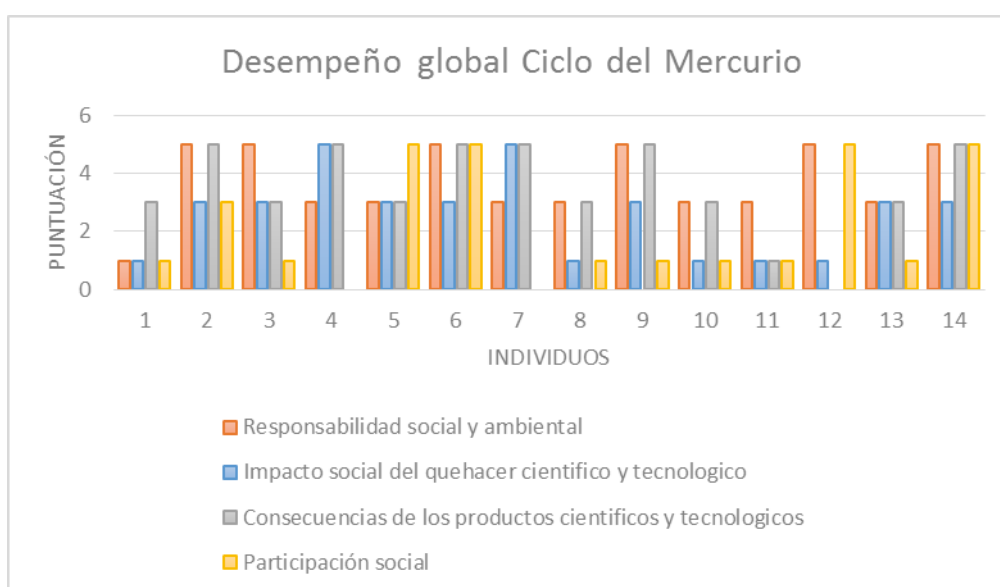
Teniendo en cuenta las cuestiones seleccionadas se presenta el tipo de frase correspondiente de acuerdo a la clasificación de los expertos (Vázquez-Alonso et al., 2014) siendo entonces: A (adecuada), P (plausible) e I (ingenua)

Cuestión	ITEM							
	A	B	C	D	E	F	G	H
10413	I	P	A	A	P	A	I	n/a
30111	I	I	I	I	A	A	I	n/a
40411	P	A	A	P	I	I	P	n/a
40531	I	P	I	A	A	P		n/a
40821	I	I	I	P	P	P	P	n/a
40311	P	A	P	P	P	I	P	I
10411	I	A	A	I	P			n/a

ANEXO 4 DESEMPEÑOS ALCANZADOS EN LA SEA

▪ CICLO DEL MERCURIO

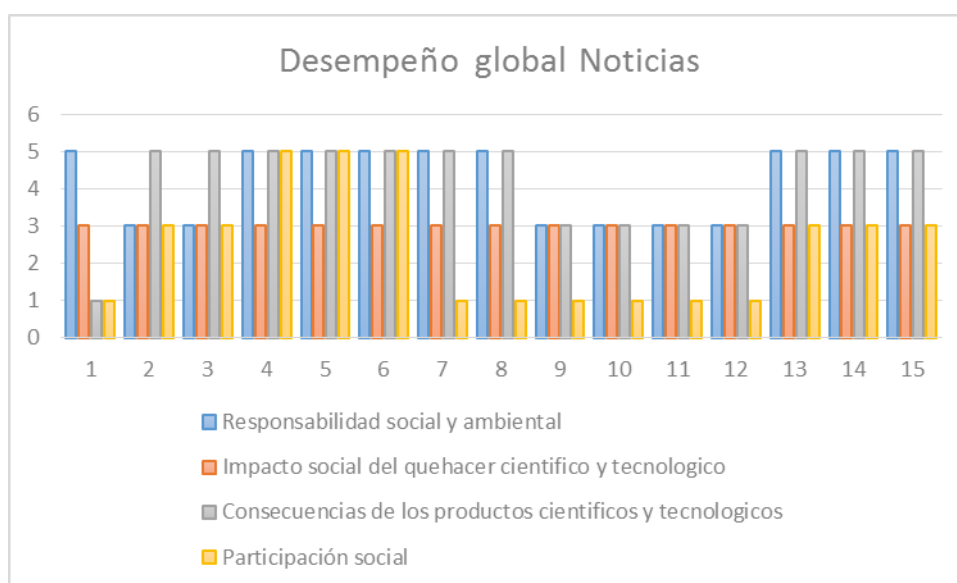
INDIVIDUO	DESEMPEÑO			
	Impacto social del conocimiento		Consecuencias de la CyT	Participación social
	Responsabilidad social y ambiental	Impacto social del quehacer científico y tecnológico	Consecuencias de los productos científicos y tecnológicos	
1	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
2	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
3	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
4	MEDIO	ALTO	ALTO	NULO
5	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
6	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
7	MEDIO	ALTO	ALTO	NULO
8	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO
9	ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO
10	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO
11	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
12	ALTO	BAJO	NULO	ALTO
13	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
14	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
15	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO



Desempeño global en actividad: Ciclo del mercurio

▪ **NOTICIAS**

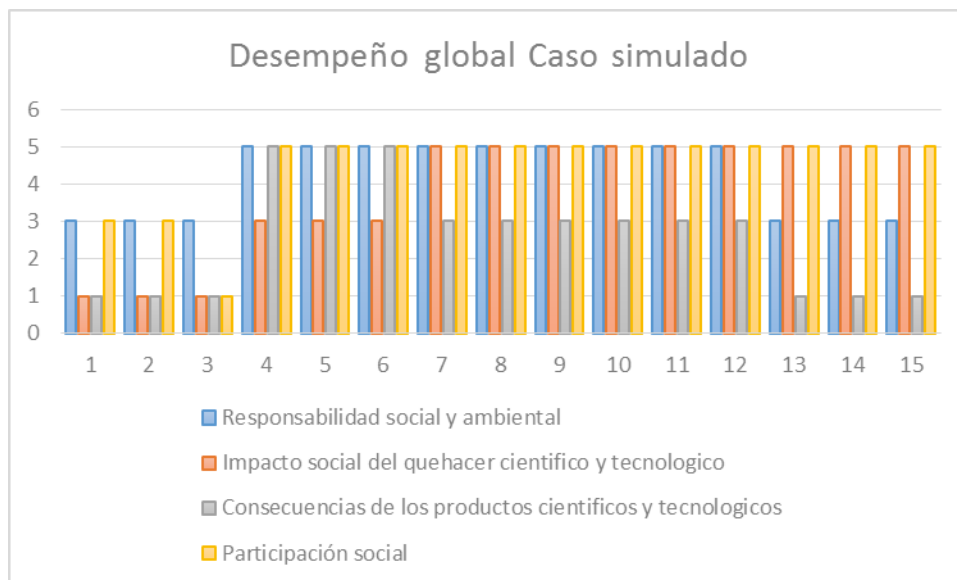
Individuo	DESEMPEÑO			
	Impacto social del conocimiento		Consecuencias de la CyT	Participación Social
	Responsabilidad Social y Ambiental	Impacto social del quehacer científico y tecnológico	Consecuencia de los productos científicos y tecnológicos	
1	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO
2	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
3	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
4	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
5	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
6	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
7	ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO
8	ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO
9	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
10	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
11	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
12	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
13	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
14	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
15	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO



Desempeño global en actividad: Noticias

• **CASO SIMULADO**

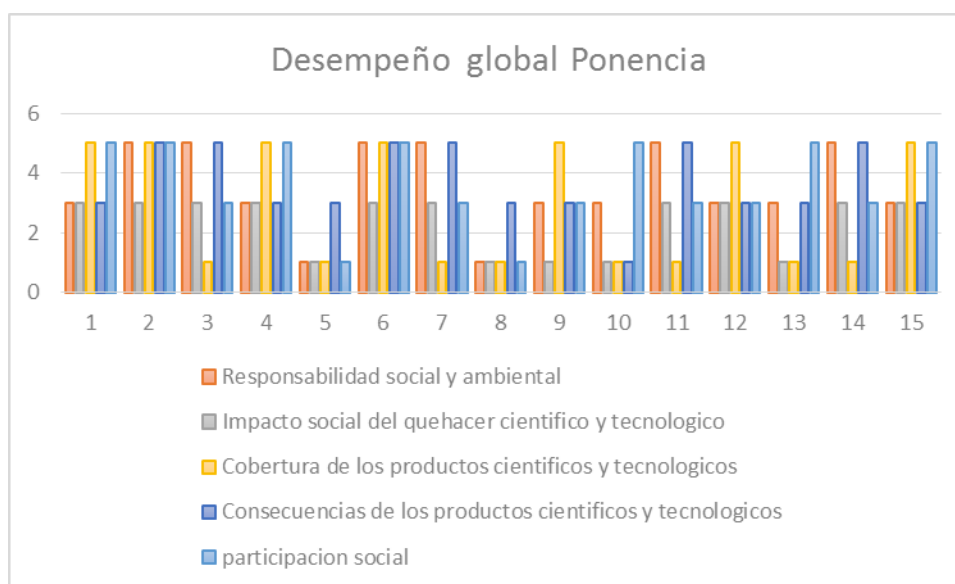
Individuos	DESEMPEÑO				
	Impacto social del conocimiento		Consecuencias de la CyT		Participación Social
	Responsabilidad Social y Ambiental	Impacto social del quehacer científico y tecnológico	Cobertura de los productos científicos y tecnológicos	Consecuencia de los productos científicos y tecnológicos	
1	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
2	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
3	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
4	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
5	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
6	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
7	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
8	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
9	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
10	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
11	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
12	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO
13	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
14	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
15	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO



Desempeño global en actividad: Caso simulado

▪ **PONENCIAS**

INDIVIDUO	DESEMPEÑO				
	Impacto social del conocimiento		Consecuencias de la CyT		Participación social
	Responsabilidad social y ambiental	Impacto social del quehacer científico y tecnológico	Cobertura de los productos científicos y tecnológicos	Consecuencias de los productos científicos y tecnológicos	
1	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO
2	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
3	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO
4	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO
5	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
6	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
7	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO
8	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
9	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO
10	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO
11	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO
12	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
13	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO
14	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO
15	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO



Desempeño global en actividad: Ponencias

ANEXO 5

RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS COCTS COMPARACIÓN PRE-TEST Y POST-TEST

- **Resultados Índice global**

10413	0,222	0,169	0,054
30111	0,178	0,206	-0,028
40411	0,231	0,077	0,155
40531	0,183	0,003	0,180
40821	-0,036	-0,065	0,029
40311	0,090	0,019	0,071
10411	0,142	0,036	0,106

- **Resultados Índice actitudinal medio por cuestión**

Cuestión	Categoría		
	Adecuada	Plausible	Ingenua
10413	0,606	-0,133	0,033
30111	0,350	N.A	0,061
40411	0,317	-0,311	0,225
40531	0,258	0,033	-0,283
40821	N.A	-0,025	-0,106
40311	0,317	0,007	-0,267
10411	0,275	-0,100	-0,067

Cuestión	Categoría		
	Adecuada	Plausible	Ingenua
10413	0,450	0,167	0,050
30111	0,208	N.A	0,148
40411	0,367	-0,056	0,383
40531	0,442	0,257	-0,150
40821	N.A	0,083	-0,156
40311	0,367	0,045	-0,142
10411	0,325	-0,067	0,167