



Biotempo (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

SCIENTIFIC RESEARCH PROBLEM

PROBLEMA CIENTÍFICO DE INVESTIGACIÓN

George Argota-Pérez¹

¹ Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", Puno-Perú.

Author for correspondence: george.argota@gmail.com

ABSTRACT

Although the scientific problem can be redefined, it is the most complex methodological structure to pose, since the correct identification of the variables must guarantee the delimitation of the research object, possible spent time, conceptual clarity about the area of research involved, immediacy of questions as guides to elucidate and the objective availability of resources involved. Likewise, it harbors the curiosity to transform some undesired effects that justify, unresolved causes. The approach of the scientific problem of investigation requires for its justification, originality, transcendence, level of update and relevance; in addition, the use of available intellectual tools. The present work has the purpose of describing a practical algorithm for the correct approach of the scientific research problem.

Keywords: investigative approaches – observation – potential research values – scientific problematization

RESUMEN

El problema científico aunque puede redefinirse, es la estructura metodológica más compleja de plantear, ya que la correcta identificación de las variables debe garantizar la delimitación del objeto de investigación, posible tiempo empleado, claridad conceptual sobre área de investigación involucrada, inmediatez de interrogantes como guías a dilucidar y la disponibilidad objetiva de recursos involucrados. Asimismo, alberga la curiosidad de transformar algunos efectos indeseados que justifican, causas no resueltas. El planteamiento del problema científico de investigación requiere para su justificación, originalidad, trascendencia, nivel de actualización y relevancia; además, el uso de herramientas intelectuales disponibles. El presente trabajo tiene el propósito de describir un algoritmo práctico para el correcto planteamiento del problema científico de investigación.

Palabras clave: enfoques investigativos – observación – problematización científica – valores potenciales de investigación

INTRODUCCIÓN

El planteamiento del problema científico de investigación, resulta una cuestión compleja. En múltiples ocasiones, ni siquiera se trata de observar determinado comportamiento sobre un fenómeno, suceso, evento o proceso. Quizás, la principal dificultad radica en la expresión aislada con relación a los órganos de los sentidos.

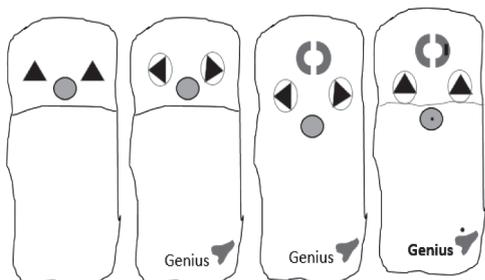
Para comprender esta situación se ilustrará con un ejemplo:

- a) Un profesor le muestra a cuatro estudiantes durante 1 minuto la siguiente figura 1:



Figura 1. Ilustración mostrada a cuatro estudiantes.

- b) Transcurrido ese tiempo, le orienta a cada uno de los estudiantes que reproduzcan lo observado y los resultados fueron los siguientes:



Dado los resultados obtenidos, probablemente 2 preguntas puedan surgir:

- 1^{ra}) ¿Si los estudiantes observaron la misma figura, por qué existió variación significativa sobre lo representado?
- 2^{ra}) ¿Qué razón lógica, pudo existir en el estudiante número 4 para representar con mayor aproximación, los detalles de la figura original, si todos los estudiantes tuvieron el mismo tiempo para observar; y luego, describir el objeto mostrado?

Otro ejemplo, podría continuar dilucidando la observación.

- a) El profesor en otro momento comunica a cuatro estudiantes que deberán graficar, el objeto que tiene oculto en su escritorio. Inicialmente, indicó que tenía cierta inclinación que asemeja un cuerpo en perspectiva caballera, presenta tres espigas redondeadas colocadas en forma de triángulo. Asimismo, mencionó que la parte posterior del objeto puede desacoplarse, además, en uno de sus planos laterales a nivel superior y en posición delantera presenta un rectángulo, cuyo vértice superior coincide con el vértice de todo el objeto. Finalmente, el profesor indicó que las espigas se proyectan en sentido derecho y que es un enchufe eléctrico (figura 2).

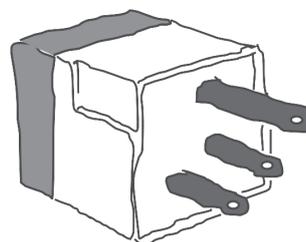
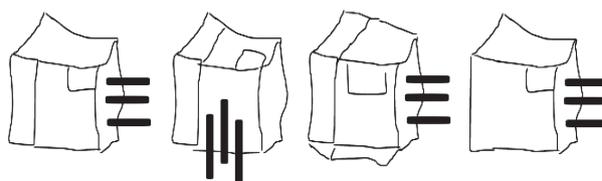


Figura 2. Enchufe eléctrico oculto por el profesor.

- b) Las figuras que graficaron los estudiantes fueron las siguientes:



Aunque se intentó aproximar las figuras al objeto original puede compararse que, los resultados obtenidos fueron menos precisos que en el ejemplo anterior. ¿Por qué, este tipo de respuesta?

- Por lo general, la representación sobre cualquier objeto de investigación resultará más precisa cuando es definida por el estilo de aprendizaje visual en comparación con el estilo de aprendizaje auditivo

Un tercer ejemplo, contribuye a mostrar la necesidad de representar lo observado

- a) El profesor luego informa a cuatro estudiantes que observaran tres veces determinado video musical.

Una vez finalizado, indicó que debían bailar como lo expuesto e incluso, dejó en pantalla el video musical pero informó que recibirían la calificación entre 0 y 5 puntos. Los resultados alcanzados por los estudiantes se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Calificación de los estudiantes.

Estudiantes	I	II	III	IV
Calificación	3	2	1	2

Puede derivarse como respuesta de análisis las siguientes:

- 1^{ra}) Con el resultado alcanzado por los cuatro estudiantes se deduce que, el hacer como aprendizaje kinestésico tampoco resultó tarea fácil, pues si los estudiantes al observar de forma permanente tan solo debían imitar, por qué recibieron calificaciones bajas.
- 2^{da}) La integración de los tipos de aprendizaje, es una de las razones con mayor dificultad ante cualquier solución. Es decir, no solo basta observar y escuchar, también se requiere crear novedad con valor y garantía.
- 3^{ra}) Tres aspectos adicionales y necesarios tendrían que considerarse: qué se desea crear, cómo se desea crear y

para qué se desea crear pero la(s) respuesta(s) será(s) dependiente(s) de lo que se tiene o presenta y la manera de interpretarse.

- 4^{ta}) En múltiples ocasiones, el tiempo disponible es insuficiente por cuanto, resultará significativa la experiencia del observador involucrado en el fenómeno, suceso, evento o proceso a solucionar.

Ante los ejemplos mostrados debe recordarse que, plantear el problema científico es, cumplir una trilogía ordena de preguntas como se observa en la figura 3.

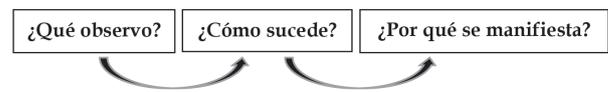


Figura 3. Preguntas condicionadas a investigar.

Cuando se desconoce, por qué se manifiesta el fenómeno, suceso, evento o proceso, es ahí donde comienza la investigación científica y donde tendrá que considerarse, la dimensión sobre el estado actual del conocimiento y lo deseado a comunicar. De igual modo, debe comprenderse el significado de los objetivos de la investigación científica según el tipo de enfoque (tabla 2).

Tabla 2. Objetivos y significados de la investigación científica.

Objetivos	Significados
<i>enfoque cuantitativo</i>	
Extender o ampliar la investigación científica	Buscar de forma ampliada la información científica, a partir de conocimientos existentes
Profundizar la investigación científica	Trata de conocer ciertos detalles de la información científica
Explicar la investigación científica	Demuestra una razón a la actividad científica que se realiza y ofrece importancia a las observaciones
Aplicar la investigación científica	Conduce la investigación científica a la práctica y valora cualquier utilidad sobre lo indagado
<i>enfoque cualitativo</i>	
Explicitar las experiencias de los actores	Búsqueda sobre el significado de la descripción, comprensión e interpretación que los actores le dan a sus experiencias
Describir las interpretaciones relacionadas con los valores, ideas y las prácticas de los actores	Interpretación analítica sobre el significado de los actores
Describir las teorías, conceptos y suposiciones mediante la existencia de datos	El investigador desarrolla el cómo y el por qué sobre los fenómenos

Continúa Tabla 2

Continúa Tabla 2

Objetivos	Significados
<i>enfoque cualitativo</i>	
Describir los fenómenos mediante las acciones humanas	Indagación sobre los métodos y estrategias empleadas por los actores para construir y dar significación a sus prácticas cotidianas
Optimizar el cambio social	Transformación social de los actores ante sus prácticas cotidianas
Descubrir acontecimientos mediante testimonios e informaciones adicionales	Comprensión de un relato de vida y construcción exhaustiva, a partir de hallazgos objetivos

Para reconocer el objetivo sobre cualquier estudio o investigación científica, a la cual se tiene acceso debe comprenderse la acción del tipo de verbo (figura 4).

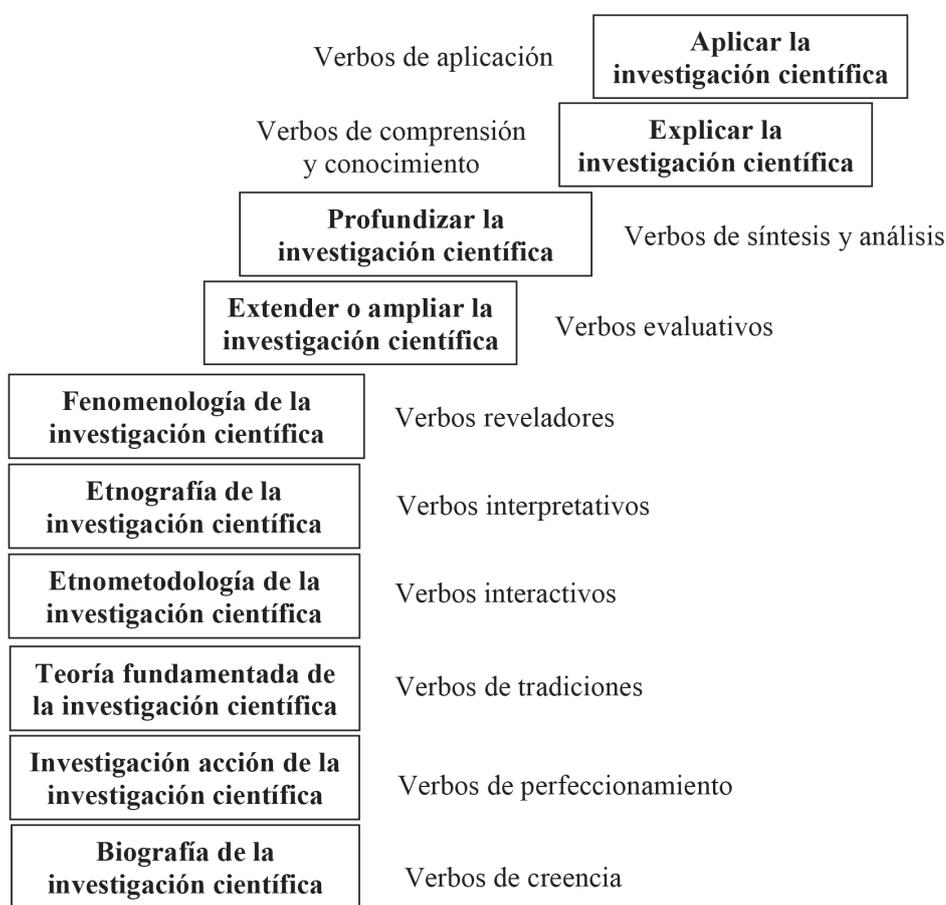


Figura 4. Tipos de verbos según la investigación científica.

Conjuntamente, resulta necesario comprender la productividad de los resultados que se desean obtener y para ello, deberá reconocerse el criterio o valor potencial (justificación) del estudio o investigación científica siendo los siguientes:

1. Conveniencia social

- Para qué sirve, vale o interesa lo que se pretende realizar.

2. Relevancia social, económica, ambiental, normativa, científica o tecnológica

- De qué modo la sociedad se beneficiará con el resultado.

3. Implicaciones prácticas

- Contribuirá a resolver algún problema en el orden práctico y/o se solucionará otros problemas, a partir de la ejecución práctica.

4. Valor teórico

- Se podrá contribuir a la generalización de los resultados o se explicará sobre algún desconocimiento.

5. Utilidad metodológica

- Beneficiará a la definición de conceptos, variables o relación entre variables. Sugiere cómo estudiar adecuadamente un campo de acción dentro del objeto de investigación.

6. Generación de datos sobre situaciones y experiencias de actores

- Se expresa un porqué de los acontecimientos, a partir de la observación y explicación de datos observados con referencia sobre el estado de opinión y métodos desarrollados por los actores, además, de la participación de investigadores en el propio proceso de estudio o investigación.

A continuación se muestra, los criterios o valores potenciales con relación al tipo de estudio o investigación científica (figura 5).



Figura 5. Valores potenciales de la investigación científica.

Al redactar el problema científico debe reflejarse la situación problemática exponiendo, cuál fue la solución incorrecta o incompleta que ha sido aplicada pero tendrá que indicarse de forma cronológica dichas aplicaciones. El nivel de información que se considerará tiene que construirse atendiendo a lo que se requerirá analizar, cómo variables de medición. Una vez terminada la redacción sobre la situación problemática deberá quedar estructurado formalmente lo siguiente:

1. Importancia del problema práctico
2. Problema práctico concreto
3. Problema general
4. Problema específico

El planteamiento del problema científico puede hacerse en forma de interrogante o hipótesis y no, necesariamente debe existir una relación entre variables. Del mismo modo, resultará conveniente indicar la(s) pregunta(s) de investigación general(es) y específica(s) para auxiliar a la guía de estudio o investigación científica pudiendo recordar que, las preguntas se expresarán en tiempo futuro.

Para brindar claridad sobre lo indicado puede mostrarse un ejemplo, aunque resultará necesario que todo profesional dedicado a la investigación científica considere lo siguiente (ejemplo):

- a) Área de investigación
- b) Línea de investigación
- c) Tema de investigación (según la línea de investigación)

- Área de investigación

Ecotoxicología: rama que se encarga en estudiar las perturbaciones estructurales y funcionales a corto, mediano y largo plazo ocasionadas por la contaminación sobre los sistemas ecológicos y donde funcionan sobre la base de las acciones e interacciones entre factores abióticos y bióticos.

- **¿Qué es una línea de investigación?**

Orientación prospectiva mediante carácter multidisciplinario e interdisciplinario sobre determinada área del conocimiento con la finalidad de intentar solucionar en forma permanente, estados actuales del conocimiento científico y aplicación de resultados con innovación tecnológica.

- **Líneas de investigación**

1. Predicción ecotoxicológica de riesgo ambiental ante contaminantes prioritarios mediante uso de tecnologías informatizadas y ensayos *in silico*.
2. Gestión de biomarcadores moleculares en biomonitores acuáticos ante la exposición a contaminantes de interés y prioritarios para la salud pública.
3. Estimación mediante indicadores de costo por parámetros abióticos y bióticos sobre la sostenibilidad ambiental de los recursos acuáticos ante la carga contaminante dispuesta.

Una razón práctica inicial podría estar sobre desarrollar la línea de investigación, además, del propio tema de investigación. Ello significará, auxiliarse para la búsqueda posterior de la información científica. Por ejemplo:

- **Comentario sobre la línea de investigación**

Generar pronósticos más precisos y exactos sobre posibles daños ocasionados por metales biodisponibles en cualquier ecosistema acuático debe integrar, uso de biomarcadores, parametrización programada sobre determinado modelo computacional para la predicción de riesgo ecotoxicológico (incluye: análisis de fuentes contaminantes, parámetros físico-químico y microbiológicos de calidad, contaminantes de interés por matrices, bioensayos y tratamientos ambientales) pudiendo dirigirse a la interpretación de un indicador sostenible en término de costo ambiental para asegurar la salud de las cuencas hidrográficas.

- **Comentario sobre el tema de investigación**

Para evaluar las magnitudes de daños temporales por exposición a metales biodisponibles en el ecosistema acuático San Juan de Santiago de Cuba-Cuba se ha requerido, la dimensión con enfoque ecotoxicológico sobre el costo ambiental sostenible mediante el uso de biomarcadores químicos de exposición y efecto en determinado biomonitor donde sus similitudes de daños son comparadas con la predicción del modelo computacional Gecotoxic 3,0 y finalmente, establecer cierta fórmula referida al costo ambiental sostenible relativo para el ecosistema mediante un cociente entre el costo de evaluación y el costo normativo.

Seguidamente, tendrá que considerarse cinco pasos durante el planteamiento del problema científico y en cada uno habrá que construir determinadas premisas,

a partir de un enfoque sobre la problematización de información pudiendo ser de la siguiente manera (figura 6).

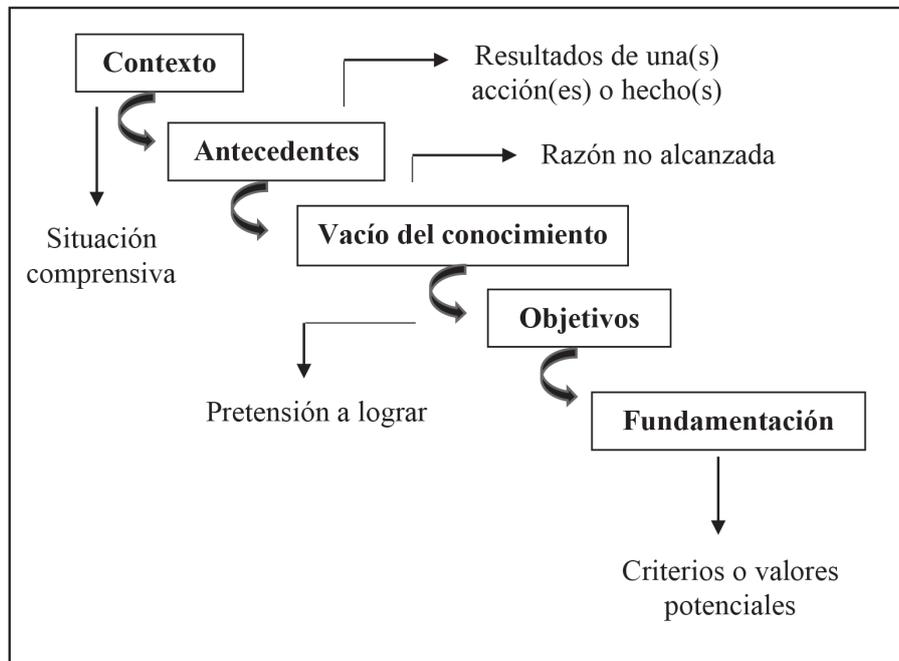


Figura 6. Problematización de la información científica.

- Valoración sobre el planteamiento del problema científico

El agua, es un recurso necesario en cualquier parte del mundo (Elgallal *et al.*, 2016); y actualmente, está en desequilibrio como matriz ambiental dentro de los ecosistemas, ya que las plantas de tratamientos convencionales, no están diseñadas para la remoción de los contaminantes emergentes (Pal *et al.*, 2014) y donde se conoce sus efectos endocrinos sobre la salud humana (Rodríguez *et al.*, 2017), así como, numerosos procedimientos tecnológicos implementados en las plantas de tratamiento por lo general, tampoco eliminan la toxicidad de los metales pesados (MP) (Lee & Dhar, 2012; Dixit *et al.*, 2015), lo cual hace que los efluentes sean vertidos con elevada peligrosidad, resultando que su seguridad por valor de uso posterior, sea poco eficiente.

Particularmente, la disminuida biodegradabilidad de los MP (Qadir & Malik, 2011; Raval *et al.*, 2016), hace que puedan bioacumularse en organismos inferiores y luego, biomagnificarse (Molina *et al.*, 2012) causando riesgos irreparables en la salud humana (Han *et al.*, 2016). Para

predecir cualquier riesgo por exposición a MP en los ecosistemas acuáticos se han utilizado algunos organismos naturales como los peces, ya que estuvieron entre los primeros en ser empleados por protocolos de evaluación ecotoxicológica (Heidary *et al.*, 2012; Hamza, 2014; Çiftçi *et al.*, 2015), unido a su condición de organismos centinelas para cualquier estudio ambiental (Argota *et al.*, 2013; AbdAllah, 2017).

Cada nivel o diversos cambios biológicos que expresan los peces son señales de posible alteración antropogénica y de esta forma, auxilia como indicador del riesgo ecotoxicológico a que una población natural puede estar expuesta, pues todo ente biológico tiene la capacidad potencial de ofrecer respuesta ante cualquier estímulo que se presenta en el medio pero cualquiera de la(s) respuesta(s) puede variar en forma correlacionada, si el organismo es considerado bioindicador o biomonitor.

Jebali *et al.* (2013) y Cassanego *et al.* (2015), destacan que la condición como biomonitor, es más reflexiva para "explicar" la calidad ambiental de los ecosistemas debido a que, poseen mejores ventajas interpretativas.

De igual modo, no solo podrá resultar significativo, utilizar biomonitores como herramientas predictivas, pues las nuevas tendencias en ecotoxicología acuática están relacionadas con, uso de biomarcadores como expresión de síntesis sobre determinada información cualitativa y/o cuantitativa en el tiempo indicando finalmente, posibles efectos e impactos que generan los contaminantes (Lock & Bonventre, 2008; Argota & Iannacone, 2017).

Por otra parte, la predicción del riesgo ecotoxicológico por exposición a MP, ha sido medida mediante modelos informatizados (Chapman & Riddle, 2003; Patlewicz & Fitzpatrick, 2016), uso de índices (López *et al.*, 2016) y por bioensayos (Pereyra *et al.*, 2012; Fahd *et al.*, 2014; Sadeghi & Hedayati, 2014). Sin embargo, estas mediciones de forma independientes, quizás limiten algunas interpretaciones sobre la calidad ambiental económica y sostenible de los recursos acuáticos.

La medición económica y sostenible sobre la calidad ambiental, ha sido abordada desde diferentes perspectivas, externalidades, contingencias, derecho de propiedad, eficiencia económica y desde la razón sobre la pérdida del bienestar (Butler *et al.*, 2005). Algunos enfoques intentan, además, establecer conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y económicos (Osorio & Correa, 2004; Volk *et al.*, 2007; Jiajun *et al.*, 2014), pero estas conexiones resultan muy complejas; posiblemente por la inexistencia valorativa en muchas legislaciones internacionales con razón a lo económico (Pérez *et al.*, 2011).

La interpretación ambiental en ecotoxicología acuática deberá estar sustentada sobre uso de biomarcadores en organismos biomonitores conjuntamente con, análisis integrado de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de selección registrados en modelos computacionales multifuncionales de carácter predictivo los cuales estén respaldados por descriptores con medición de datos reales, lo que haría del monitoreo biológico ambiental, excelente herramienta en la toma de decisiones.

Problema científico

- ¿Cómo puede indicarse la sostenibilidad ambiental y predicción ecotoxicológica por exposición a metales pesados en el ecosistema San Juan de Santiago de Cuba, Cuba?

Pregunta general de investigación

- ¿Cuáles serían los indicadores de calidad interpretativos para evaluar la sostenibilidad ambiental, además, de la predicción ecotoxicológica por exposición a metales

pesados en el ecosistema San Juan de Santiago de Cuba, Cuba?

Preguntas específicas de investigación

1. ¿De qué indicadores sobre parámetros de calidad interpretativos podría depender el costo ambiental del ecosistema San Juan?
2. ¿Cómo podría medirse la predicción ecotoxicológica por exposición a metales pesados en el ecosistema San Juan?
3. ¿Cuál podría ser la similitud de daños ecotoxicológicos entre matrices bióticas naturales y herramientas informáticas funcionales de predicción de riesgo?

Valores potenciales de investigación (desde el enfoque de perfil)

- **Conveniencia:** estimar el costo ambiental sostenible relativo según las variaciones limnológicas de parámetros físico-químicos y biodisponibilidad de Cu, Zn, Pb y Cd en las matrices agua y sedimentos del ecosistema San Juan en Santiago de Cuba-Cuba
- **Relevancia social:** indicar, cuáles serán los daños generados por la variabilidad físico-química y exposición ecotoxicológica a metales en el agua y sedimentos refiriendo, el valor de uso como matriz receptora del ecosistema San Juan de Santiago de Cuba-Cuba
- **Implicaciones metodológicas:** utilizar la especie biomonitor *Gambusia punctata* (Poey, 1854), además, del modelo computacional Gecotoxic 3,0 como herramientas para las predicciones de riesgo ambiental

Objetivo general

- Evaluar el costo ambiental sostenible relativo y predecir la ecotoxicología a metales utilizando biomarcadores en la especie *G. punctata* y modelo computacional Gecotoxic 3.0 sobre el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba.

Objetivos específicos

1. Evaluar el costo ambiental sostenible relativo ante concentraciones de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, Cu, Zn, Pb y Cd en agua y sedimentos.

2. Correlacionar la bioacumulación de Cu, Zn, Pb y Cd en las branquias, hígado y cerebro con el factor de condición biológico, reproducción, patrón trófico y actividad bioquímica en la especie *G. punctata*.
3. Establecer la similitud de riesgo ecotoxicológico mediante biomarcadores de exposición y efecto en la especie *G. punctata* con variables codificadas arábigamente por descriptores del modelo computacional Gecotoxic 3,0.

Otro ejemplo podría estar relacionado con la exposición y toxicidad de compuestos orgánicos en los sedimentos de la bahía interior del Lago Titicaca (Puno, Perú) donde puede plantearse lo siguiente:

Importancia del problema práctico

- En la medida que se viertan contaminantes orgánicos hacia la bahía interior del lago Titicaca, más persistencia ambiental existirá en los sedimentos donde se perjudicaría la biodiversidad acuática y asociada, además, traer consigo efectos adversos sobre la salud humana por biomagnificación.

Problema práctico concreto

- Necesidad evaluativa sobre la acumulación y toxicidad de compuestos orgánicos en los sedimentos de la bahía interior del lago Titicaca.

Problema general

- ¿Qué compuestos orgánicos están acumulados y cuál es su concentración en los sedimentos de la bahía interior del lago Titicaca?

Problema específico

- ¿Cuál será la toxicidad de compuestos orgánicos en los sedimentos de la bahía interior del lago Titicaca?

Objetivo general

- Evaluar la toxicidad de compuestos orgánicos en sedimentos de la bahía interior del lago Titicaca.

Objetivos específicos

1. Determinar las concentraciones de compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos aromáticos policíclicos en los sedimentos.
2. Evaluar la toxicidad de los sedimentos mediante el modelo biológico terrestre de experimentación *Eisenia andrei* Bouché, 1972.

Por otro lado, entre las mayores dificultades para el planteamiento del problema científico está el reconocimiento sobre, cómo elaborar el basamento de investigación según las fuentes primarias consultadas de manera que, la construcción deberá mencionar lo referencial y teórico como se muestra a continuación (figura 7).

- a) Referencial: hallazgo gnoseológico y epistemológico.
 - b) Teórico: explicación del hallazgo gnoseológico, epistemológico y metodológico.
- Gnoseología: rama de la Filosofía que se encarga del origen y alcance del conocimiento científico en general (no particular).
 - Epistemología: rama de la Filosofía que se encarga, cómo se genera y valida el conocimiento científico.
 - Metodología: vocablo referido a determinado proceso que se encarga sobre, cómo se expande el conocimiento científico.

Ejemplo:

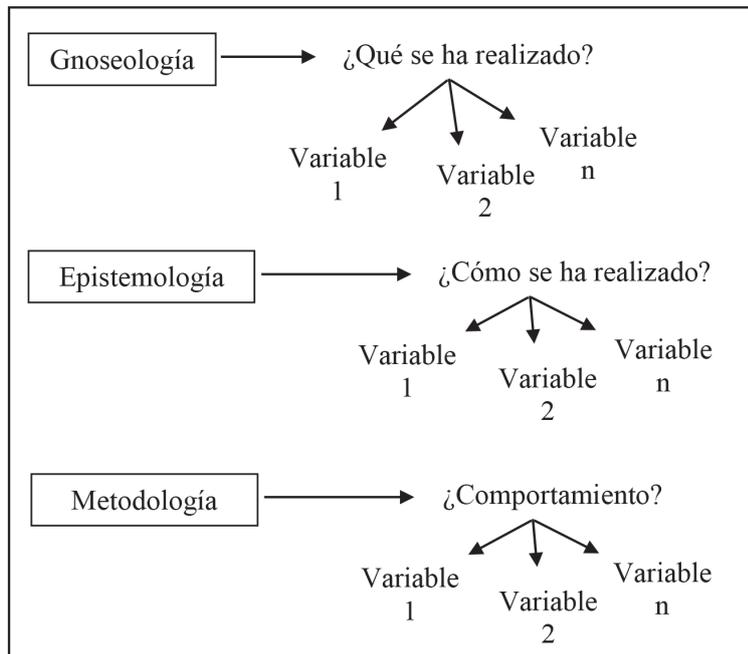


Figura 7. Marco referencial y teórico de la información científica.

Otra dificultad para dimensionar el planteamiento del problema científico radica en, reconocer el tipo de estudio o investigación científica según la fuente bibliográfica consultada. Por ejemplo, un determinado profesional su objeto de investigación, es conocer la

exposición acumulativa de metales durante el tráfico en las carreteras y la calidad del aire mientras que, el campo de investigación es el biomonitoreo ambiental, a partir de la corteza de árboles. Para ello gestionó la siguiente fuente de información (figura 8abc):

La imagen muestra la interfaz de un artículo científico en la revista *Atmospheric Pollution Research*. El título del artículo es "Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand", escrito por Rungruang Janta y Somporn Chantara. El artículo incluye un resumen (abstract) que describe el uso de la corteza de *Cassia fistula* como bioindicador de la acumulación de metales en la ciudad de Chiang Mai, Tailandia. El artículo fue publicado el 23 de marzo de 2017.

Figura 8a. Gestión de la información científica. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.03.010>

Al leerse el resumen se entiende lo siguiente:

situación problemática

Los árboles han sido reconocidos como bioindicadores de la calidad del aire, pero aún no se han aplicado plenamente en las zonas tropicales

objetivo

En este estudio, la corteza de la fístula de *Cassia* se utilizó para inspeccionar la acumulación de contaminantes del aire (metales) emitidos por el tráfico vial en la ciudad de Chiang Mai, Tailandia

conclusiones

El grado de contaminación presentado en cada área se vio influido tanto por el volumen de tráfico por carretera como por la densidad de edificios en relación con la capacidad de ventilación del aire

Figura 8b. Gestión de la información científica. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.03.010>

Análisis 1

- En el objetivo se menciona el verbo: *inspeccionar*.

Análisis 2

- El verbo: *inspeccionar*, es sinónimo de indagar, describir, referir, evaluar, demostrar, etc. por lo que correspondería al escenario de estudio o investigación para verbos evaluativos, de síntesis y análisis o de comprensión y conocimiento.

Análisis 3

- Lógicamente, debe clasificarse a qué tipo de estudio o investigación corresponde y para ello, es necesario reconocer el tipo de análisis estadístico, los resultados y las conclusiones, pues estas estructuras metodológicas definen con claridad la clasificación del tipo de artículo.

ABSTRACT

Trees have been recognized as air quality bioindicators, but they have still not been fully implemented in tropical areas. In this study, bark of *Cassia fistula* was used to inspect accumulation of air pollutants (metals) emitted from road traffic in the city of Chiang Mai, Thailand. The mean concentrations of metal accumulated on tree bark (ng/cm^2) in descending order were Al (1,238) > Fe (707) > Zn (162) > Cu (21.1) > Pb (6.37) > Cr (2.14). Correlations of Enrichment Factors: EF_{15} (metal concentrations on bark compared to those in soil) among metals were relatively strong ($r > 0.6$) meaning that they were probably generated from the same sources. Moreover, principal component analysis and cluster analysis of EF_{15} values revealed that Al and Fe were generated from soil resuspension that were attached on vehicle wheels and on road surfaces, while Cr, Cu, Pb and Zn resulted directly from vehicle emissions. The results lead to the conclusion that tree bark is a good bioindicator for air pollutant accumulation in this area. In addition, pollution indices, including total geoaccumulation index ($I_{\text{geo-tot}}$) and pollution load index (PLI), were applied to generate air quality maps of the city. The maps illustrated that the most polluted areas in the city are the areas that have high traffic volume and building density, in which hospitals and schools are located. The degree of pollution presented in each area was influenced by both road traffic volume and density of buildings in relation to air ventilation capacity.

Figura 8c. Gestión de la información científica. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.03.010>

Los resultados llevaron a la conclusión de que la corteza de los árboles es, buen bioindicador para la acumulación de contaminantes atmosféricos en esta área. Al leerse este resultado, muestra con claridad que se brinda una información demostrativa y relacionada entre variables por lo que, el estudio, es clasificado como de explicación.

Análisis 4

- Este tipo de información (artículo científico) el investigador puede considerarla como una referencia gnoseológica (si el interés es como antecedente), epistemológica (si el interés es fundamentar su objetivo) o referencia metodológica (si el interés es comparar sus resultados).

Se concluye que, el planteamiento del problema científico de investigación requiere para su justificación originalidad, trascendencia, nivel de actualización y relevancia; además, el uso de herramientas intelectuales disponibles. El presente estudio tuvo como propósito describir un algoritmo práctico para el correcto planteamiento del problema científico de investigación.

Aspectos éticos: el autor señala que se cumplieron todos los aspectos éticos nacionales e internacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbdAllah, A.T. 2017. Efficiency of invertebrate animals for risk assessment and biomonitoring of hazardous contaminants in aquatic ecosystem, a review and status report. *Journal of Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1: 22–24.
- Argota, P.G. & Iannacone, O.J. 2017. Predicción cuantitativa mediante biomarcadores de uso permanente como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática. *The Biologist (Lima)*, 17: 141–153.
- Argota, P.G.; Iannacone, O.J. & Fimia, D.R. 2013. Características de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba. *The Biologist (Lima)*, 11: 229–236.
- Butler, C.D.; Corvalan, C.F. & Koren, H.S. 2005. Human health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems*, 8: 153–162.
- Cassanego, M.B.B.; Sasamori, M.H.; Petry, C.T. & Droste, A. 2015. Biomonitoring the genotoxic potential of the air on *Tradescantia pallida* var. *purpurea* under climatic conditions in the Sinos River basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75:79–87.
- Chapman, P.M. & Riddle, M.J. 2003. Missing and needed: polar marine ecotoxicology. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 927–928.
- Çiftçi, N.; Ay, Ö.; Karayakar, F.; Cıçık, B. & Erdem, C. 2015. Effects of zinc and cadmium on condition factor, hepatosomatic and gonadosomatic index of *Oreochromis niloticus*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 3871–3874.
- Dixit, R.; Malaviya, W.D.; Pandiyan, K.; Singh, U.B.; Sahu, A.; Shukla, R.; Singh, B.P.; Rai, J.P.; Sharma, P.K.; Lade, H. & Paul, D. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7: 2189–2212.
- Elgallal, M.; Fletcher, L. & Evans, B. 2016. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, 177: 419–431.
- Fahd, F.; Khan, F.; Hawboldt, K. & Abbassi, R. 2014. Developing a novel methodology for ecological risk assessment of thiosalts. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28: 383–391.
- Hamza, C.A. 2014. Usefulness of Bioindicators and Biomarkers in Pollution Biomonitoring. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 3: 19–26.
- Han, W.; Fu, F.; Cheng, Z.; Tang, B. & Wu, S. 2016. Studies on the optimum conditions using acidwashed zero-valent iron/aluminum mixtures in permeable reactive barriers for the removal of different heavy metal ions from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 302: 437–446.
- Heidary, S.; Imanpour-Namin, J. & Monsefrad F. 2012. Bioaccumulation of heavy metals Cu, Zn, and Hg in muscles and liver of the stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) in the Caspian Sea and their

- correlation with growth parameters. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 11: 325–337.
- Jebali, J.; Khedher, S.B., Sabbagh, M., Kamel, N., Banni, M. & Boussetta, H. 2013. Cholinesterase activity as biomarker of neurotoxicity: utility in the assessment of aquatic environment contamination. Journal of Integrated Coastal Zone Management, 13: 525–537.
- Jiajun, H.; Huimin, Z.; Hui, Z.; Xuan, G.; Mingwei, S.; Junhao, Z. & Xiaotao, L. 2014. Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River. Ecological Chemistry and Engineering S, 21: 189–199.
- Lee, J. & Dhar, B. 2012. Bioprocessing of solid wastes and secondary resources for metal extraction— A review. Waste Management, 32: 3–18.
- Lock, E.A. & Bonventre, J.V. 2008. Biomarkers in translation; past, present and future. Toxicology, 245: 163–166.
- López, I.D., Figueroa, A. & Corrales, J.C. 2016. A Systematic mapping of water quality prediction using computational intelligence techniques. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 15: 35–51.
- Molina, C.I.; Ibañez, C. & Gibon, F.M. 2012. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores Biomagnification process of heavy metals of a hyperhaline lake. Ecología en Bolivia, 47: 99–118.
- Osorio, M.J.D. & Correa, R.F. 2004. Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. Semestre Económico, 7: 159–193.
- Pal, A.; He, Y.; Jekel, M.; Reinhard, M. & Gin, K.Y.H. 2014. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. Environment International, 71: 46–62.
- Patlewicz, G. & Fitzpatrick, J.M. 2016. Current and future perspectives on the development, evaluation, and application of *in silico* approaches for predicting toxicity. Chemical Research in Toxicology, 29: 438–451.
- Pereyra, P.J.; Rossini, G.B. & Darrigran, G. 2012. Toxicity of Neem's oil, a potential biocide against the invasive mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 84: 1065–1071.
- Pérez, M.A.; Peña, M.R. & Alvarez, P. 2011. Agroindustria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. Ambiente & Sociedade, 14: 153–178.
- Qadir, A. & Malik, R.N. 2011. Heavy metals in eight edible fish species from two polluted tributaries (Aik and Palkhu) of the river Chenab, Pakistan. Biological Trace Element Research, 143: 1524–1540.
- Raval, N.P.; Shah, P.U. & Shah, N.K. 2016. Adsorptive removal of nickel (II) ions from aqueous environment: A review. The Journal of Environmental Management, 179: 1–20.
- Rodríguez, O.; Peralta, H.J.M.; Goonetilleke, A. & Bandala, R.E. 2017. Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. Chemical Engineering Journal, 323:361–380.
- Sadeghi, A. & Hedayati, A. 2014. Investigation of LC₅₀, NOEC and LOEC of Glyphosate, Deltamethrin and Pretilachlor in Guppies (*Poecilia reticulata*). Iranian Journal of Toxicology, 8: 1124–1129.
- Volk, M.; Hirschfeld, J.; Schmidt, G.; Bohn, C.; Dehnhardt, A.; Liersch, S. & Lymburner, L. 2007. A SDSS-based ecological-economic modelling approach for integrated river basin management on different scale levels - The project FLUMAGIS. Water Resources Management, 21: 2049–2061.

Received December 5, 2018.

Accepted December 31, 2018.