

La Ética de la Tierra de Aldo Leopold aplicada al análisis espacial de la calidad del agua en Valle de Bravo

Aldo Leopold's Land Ethics applied to the spatial analysis of water quality in Valle de Bravo

Lic. en GARH Aaron Zavala Almeida
Maestría en Análisis Espacial
y Geoinformática
Facultad de Geografía, UAEMéx
mineoptb@gmail.com

Fecha de recepción: 20/02/2026

Fecha de aceptación: 18/03/2026

Fecha de publicación: 23/03/2026

Resumen

La ética en la investigación científica y tecnológica es esencial, especialmente en proyectos como “Análisis espacial de la calidad del agua en la presa Valle de Bravo mediante la integración de índices espectrales en *Google Earth Engine*”, donde se generan datos que pueden influir en decisiones ambientales, políticas y sociales. Según Hans Jonas (1979), en su obra **El principio de responsabilidad**, el investigador tiene una obligación moral no solo con el conocimiento, sino con las consecuencias futuras de su aplicación, especialmente cuando se trata del medio ambiente. En este sentido, este proyecto se alinea con una ética de la responsabilidad, al buscar generar información útil para la conservación del recurso hídrico así mismo el saber cómo afrontar los desafíos ambientales que se puedan presentar a futuro.

Asimismo, el uso de herramientas tecnológicas como Google Earth Engine exige un compromiso con la ética de la información, como plantea Luciano Floridi (2013). Esto implica asegurar la transparencia en la recolección y procesamiento de datos, el respeto por los principios de integridad científica y el acceso abierto al conocimiento. No se trata solo de obtener resultados precisos, sino de garantizar que los procesos metodológicos sean reproducibles, verificables y libres de sesgos.

Además, desde una perspectiva ambiental, Aldo Leopold (1949) propone en su *ética de la tierra* que una acción es correcta cuando tiende a preservar la integridad, estabilidad y belleza de la comunidad biótica. Bajo esta visión, el análisis de la calidad del agua adquiere un carácter ético en sí mismo, al contribuir con la protección de un ecosistema clave como lo es la presa de Valle de Bravo, de gran relevancia para el abastecimiento de agua y la biodiversidad regional.

Finalmente, comunicar los resultados de manera clara, honesta y con responsabilidad social también es una obligación ética. Como señala Beauchamp y Childress (2001) en los principios de la bioética, la beneficencia y la no maleficencia deben guiar cualquier intervención o recomendación basada en datos científicos, especialmente cuando puede afectar a comunidades humanas o naturales.

Abstract

Ethics in scientific and technological research is essential, especially in projects like “Spatial Analysis of Water Quality in the Valle de Bravo Dam through the Integration of Spectral Indices in Google Earth Engine,” where data is generated that can influence environmental, political, and social decisions. According to Hans Jonas (1979), in his work **The Imperative of Responsibility**, researchers have a moral obligation not only to knowledge itself, but also to the future consequences of its application, especially when it comes to the environment. In this sense, this project aligns with an ethic of responsibility, as it seeks to generate useful information for the conservation of water resources and to understand how to address future environmental challenges.

Likewise, the use of technological tools like Google Earth Engine demands a commitment to

Aaron Zavala - Almeida

information ethics, as Luciano Floridi (2013) argues. This implies ensuring transparency in data collection and processing, respect for the principles of scientific integrity, and open access to knowledge. It is not only about obtaining accurate results, but also about ensuring that methodological processes are reproducible, verifiable, and free from bias.

Furthermore, from an environmental perspective, Aldo Leopold (1949) proposes in his land ethic that an action is right when it tends to preserve the integrity, stability, and beauty of the biotic community. Under this view, water quality analysis acquires an ethical character in itself, as it contributes to the protection of a key ecosystem such as the Valle de Bravo dam, which is of great importance for water supply and regional biodiversity.

Finally, communicating results clearly, honestly, and with social responsibility is also an ethical obligation. As Beauchamp and Childress (2001) point out in the principles of bioethics, beneficence and non-maleficence should guide any intervention or recommendation based on scientific data, especially when it may affect human or natural communities.

Introducción

El estudio de la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo, mediante herramientas de análisis espacial y teledetección, representa un desafío científico, técnico y ético. En México, la gestión del agua ha sido objeto de intensos debates en torno a la sustentabilidad, la justicia ambiental y la transparencia en el uso de datos geográficos (Toledo, 2013; Boada & Toledo, 2019). El empleo de plataformas como Google Earth Engine para evaluar la calidad del agua no solo aporta información para la conservación del recurso hídrico, sino que plantea interrogantes sobre la responsabilidad del investigador frente a los impactos sociales y ecológicos derivados de los trabajos realizados. En este contexto, la ética ambiental propuesta en su obra de Aldo Leopold en *A Sand County Almanac* (1949), ofrece un marco filosófico esencial para comprender la relación moral entre el ser humano y la naturaleza.

Su “Ética de la Tierra” amplía el círculo ético tradicional, integrando a suelos, aguas, plantas y animales como miembros de una comunidad biótica. El autor sostiene que “una acción es correcta cuando tiende a preservar la integridad, estabilidad y belleza de la comunidad

biótica; es incorrecta cuando tiende a lo contrario” (1949, p. 224). Esta perspectiva ecocéntrica resuena con los planteamientos de Enrique Leff (2004), quien desde América Latina impulsa una ética de la sustentabilidad basada en la corresponsabilidad del ser humano con su entorno. Asimismo, Víctor Toledo (2013) señala que la crisis ambiental contemporánea no es solo ecológica, sino también ética, producto de una desconexión cultural con la naturaleza.

Estas visiones, junto con la propuesta de Leopold, refuerzan la necesidad de una ciencia ambiental comprometida con la conservación y el bien común. Por ello, el presente ensayo reflexiona sobre la aplicación de la Ética de la Tierra en el contexto de la investigación ambiental en México, particularmente en el análisis espacial de la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo. El texto se estructura en tres apartados: primero, se analizan los fundamentos teóricos de la ética de Leopold y su relevancia actual; segundo, se examina su aplicación práctica en el uso de herramientas geoespaciales y la gestión del agua; y tercero, se desarrolla una reflexión crítica sobre la responsabilidad moral del investigador ambiental. Con base en estos criterios teóricos, aplicados y reflexivos, se busca integrar una visión ética, científica y contextualizada del trabajo geoespacial en México.

Metodología

Este estudio es desarrollado bajo un enfoque cualitativo de carácter reflexivo y documental, propio del género de ensayo académico. La investigación realizada se basa en revisión y análisis crítico de literatura especializada en los puntos clave de la ética ambiental, así como la filosofía de la tecnología y estudios socio ecológicos, con un especial énfasis en las propuestas teóricas de Aldo Leopold, Hans Jonas, Enrique Leff y Víctor Toledo.

El procedimiento metodológico se dividió en tres etapas:

Revisión de la bibliográfica: Se analizaron obras fundamentales sobre ética ambiental, responsabilidad científica y justicia ambiental.

Análisis conceptual: se tomaron en cuenta los principios de la Ética de la Tierra y su relación con la investigación ambiental contemporánea.

Articulación crítica: basada entre fundamentos teóricos y el uso de herramientas de análisis

geoespacial en estudios de calidad del agua, con el fin de discutir la responsabilidad ética del investigador en la producción y aplicación del conocimiento ambiental en su zona de estudio. A partir de esta revisión teórica, se realiza un análisis interpretativo vinculada a los principios de la ética ambiental con el uso de herramientas geoespaciales aplicadas al estudio de la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo. El caso se utiliza como un referente contextual, cuyo propósito es dar a reflexionar sobre las implicaciones éticas del uso de tecnologías como sensores remotos y plataformas de análisis espacial.

Desarrollo

Del Antropocentrismo a la Responsabilidad Biótica: Una Mirada Ética Integral

La Ética de la Tierra de Aldo Leopold propone una transformación profunda en la relación entre el ser humano y la naturaleza. A diferencia de las éticas tradicionales centradas en las relaciones interpersonales, Leopold amplía el ámbito moral a la totalidad de la comunidad biótica, afirmando que “una cosa está bien cuando tiende a preservar la integridad, estabilidad y belleza de la comunidad biótica; está mal cuando tiende a lo contrario” (Leopold, 1949, p. 224). Lo que nos indica que principalmente nos debemos basar en la preservación de lo que verdad importa (naturaleza, la biota y los ecosistemas) y no solo pensar o ver por principios propios que engrandezcan nuestro ego como ser humano en el entorno natural. Este principio constituye una base filosófica para la ética ambiental moderna y permite cuestionar las prácticas científicas que, bajo una apariencia de objetividad, pueden contribuir a la degradación ecológica.

Dentro de nuestro contexto mexicano, esta idea dialoga con la propuesta de Enrique Leff (2004) sobre la racionalidad ambiental, quien plantea que la crisis ecológica actual es el resultado de una racionalidad económica que ignora los límites naturales y los valores culturales del territorio. Por lo que siempre el ser humano buscare el beneficio económico yendo de la mano con la explotación irracional de los recursos hídricos y demás que conforman el ecosistema logrando que solo vean por el bien económico antes del ambiental. En la misma línea, Víctor M. Toledo (2013) sostiene que la sustentabilidad debe entenderse como una reconstrucción ética del vínculo entre sociedad y naturaleza, lo que implica reconocer el valor intrínseco de los ecosistemas más allá de su utilidad económica. Estas

visiones, convergentes con la ética ecocéntrica de Leopold, subrayan que el conocimiento científico debe estar orientado por una responsabilidad moral hacia la conservación y el bien común.

Ética y Geo tecnologías en el Análisis de la Calidad del Agua en Valle de Bravo

Desde esta perspectiva, el análisis espacial de la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo se convierte en un ejercicio ético además de técnico. El uso de imágenes satelitales, índices espectrales y algoritmos de Google Earth Engine permite evaluar la concentración de clorofila, sedimentos o turbidez, pero también implica decisiones sobre qué indicadores usar, cómo comunicar los resultados y con qué fines se aplicarán. En algunos casos se puede entender que los resultados o aplicación de estudios derivados de estos puedan ser usado de una manera óptima que ayuden a la preservación y monitoreo de los recursos hídricos o usarse con fines de explotación ambiental. Siguiendo la advertencia de Leopold, el investigador debe evitar convertir la información ambiental en un instrumento de control o de explotación política del territorio, y en cambio promover que sus resultados fortalezcan la protección del ecosistema.

Mientras que González Gaudiano (2015) señala que la educación y la investigación ambiental requieren una “ética de la corresponsabilidad”, en la que el conocimiento científico sea una herramienta para la acción sustentable. En el caso de Valle de Bravo, esto significa que los datos sobre la calidad del agua deben ser utilizados para generar conciencia ecológica, orientar políticas públicas y fomentar la participación comunitaria en la gestión del recurso. El investigador, por tanto, no es un observador neutral, sino un actor moral que decide cómo y para qué se produce el conocimiento.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2020) ha reconocido que la cuenca del Valle de Bravo Amanalco enfrenta procesos de eutrofización, pérdida de cobertura forestal y contaminación por descargas urbanas. Estos problemas no solo amenazan la biodiversidad local, sino que comprometen el suministro de agua hacia el Sistema Cutzamala, del cual depende buena parte de la población del Valle de México. Analizar estos fenómenos desde la ética de Leopold implica reconocer que cada dato geoespacial representa una responsabilidad: el develar una realidad ambiental obliga moralmente a actuar para preservarla.

Como afirma Enrique Dussel (2011), la ética debe orientarse al cuidado de la vida, entendida

no solo como existencia humana, sino como la totalidad de los seres vivos que sostienen el planeta. En este sentido, la investigación geoespacial debe asumirse como una práctica de cuidado: cuidar los datos, cuidar los métodos y, sobre todo, cuidar el territorio.

Esta noción de “cuidado epistemológico” coincide con la advertencia de Leopold sobre el peligro de perder la capacidad de admirar y respetar la tierra. Cuando los mapas y modelos sustituyen la experiencia directa con el entorno, el riesgo ético radica en olvidar que detrás de cada píxel hay un río, un bosque o una comunidad que vive de ellos.

Tecnología, Territorio y Responsabilidad: Una Mirada Ética al Análisis Geoespacial de Ecosistemas.

El desarrollo tecnológico y la ética ambiental no deben concebirse como campos opuestos. La obra de Leopold demuestra que el progreso científico puede armonizarse con la conservación si se guía por principios de humildad y respeto hacia la naturaleza. Por ello, la investigación sobre la calidad del agua en Valle de Bravo, al integrar métodos geoespaciales con fundamentos éticos, puede convertirse en un ejemplo de lo que Leff (2004) denomina una “ciencia con conciencia”: un conocimiento que no solo describe el mundo, sino que lo protege.

Finalmente, la ética de la tierra invita a repensar el papel del investigador como parte de la comunidad biótica. No se trata de observar la naturaleza desde fuera, sino de reconocer la interdependencia entre quien investiga y el objeto investigado. En el caso del análisis espacial, esto significa asumir que cada modelo, mapa o índice tiene consecuencias en la toma de decisiones ambientales. De acuerdo con Leopold (1949), el verdadero progreso moral de la humanidad se mide por la ampliación de su sentido de comunidad. Así, incorporar la ética de la tierra al trabajo científico no es un gesto idealista, sino una necesidad urgente para construir una relación más justa entre ciencia, sociedad y naturaleza.

Además, resulta indispensable cuestionar cómo la creciente dependencia de plataformas digitales como Google Earth Engine transforma la manera en que percibimos los ecosistemas. Si bien estas herramientas permiten representar de forma precisa fenómenos como la eutrofización o la variabilidad espectral del agua, también corren el riesgo de reducir la complejidad ambiental a simples métricas numéricas, una ética de la información requiere reconocer que los datos no son neutrales, sino construcciones que responden a decisiones humanas. En este sentido, considero necesario que el investigador mantenga una actitud

crítica frente a la “ilusión de objetividad” que producen los modelos geoespaciales, reconociendo que ningún algoritmo sustituye la comprensión integral del territorio ni la interacción directa con las comunidades afectadas.

Esto implica complementar el análisis satelital con procesos de verificación en campo, diálogo con actores locales y reflexión ética sobre las consecuencias de cada interpretación generada a partir de los datos. Solo así es posible evitar que la tecnología se convierta en un filtro que deshumanice el paisaje o que simplifique en exceso la complejidad ecológica.

La Tensión Entre Desarrollo Tecnológico y Justicia Ambiental

Un aspecto que suele pasar desapercibido en la investigación geoespacial es la manera en que la tecnología puede reproducir desigualdades socioambientales. La justicia ambiental, tal como la definen Bullard (2005) y Martínez-Alier (2014), implica garantizar que ninguna comunidad cargue desproporcionadamente con los costos ecológicos derivados de decisiones políticas, económicas o científicas. En el caso de la presa de Valle de Bravo, la información generada por sensores remotos puede convertirse en una herramienta poderosa para visibilizar problemáticas como la contaminación, la expansión urbana o la sobreexplotación del recurso hídrico. Sin embargo, también existe el riesgo de que dicha información sea utilizada sin considerar el impacto en las poblaciones locales, especialmente aquellas con menor capacidad de influencia en la toma de decisiones.

Desde esta perspectiva, sostengo que el uso de Google Earth Engine y de otros sistemas de análisis espacial debe acompañarse de un enfoque ético que tome en cuenta no solo a los ecosistemas, sino también a las comunidades humanas que dependen directamente del ambiente. Si, como afirma Leff (2004), los conflictos ambientales son también conflictos epistemológicos, entonces la producción de datos debe incorporar principios de equidad, transparencia y corresponsabilidad. Por ello, considero necesario integrar la justicia ambiental como criterio ético en cada etapa del análisis espacial: desde la selección de parámetros hasta la interpretación final de los mapas. Solo así es posible asegurar que el conocimiento geoespacial contribuya a la protección de la comunidad biótica y humana.

Conclusión

Mirar la calidad del agua en la presa de Valle de Bravo desde una perspectiva ética no solo implica analizar datos o procesar imágenes satelitales; significa reconocer que detrás de cada mapa hay un ecosistema vivo y comunidades que dependen de él. A lo largo del ensayo, quedó claro que la propuesta de Aldo Leopold no es solo una teoría filosófica, sino una invitación urgente a replantear cómo nos relacionamos con la naturaleza. Su idea de que formamos parte de una comunidad biótica nos recuerda que nuestras acciones científicas, tecnológicas o cotidianas tienen efectos reales en la vida que nos rodea.

Trabajar con herramientas como Google Earth Engine puede ofrecernos una visión poderosa del territorio, pero también nos exige mantener los pies en la tierra. La tecnología no sustituye la responsabilidad humana ni la sensibilidad necesaria para interpretar los datos con conciencia. Por eso, el reto no es únicamente producir información precisa, sino hacerlo con un sentido ético que considere a las personas, a los ecosistemas y a las generaciones que vendrán.

En este sentido, investigar la calidad del agua no es solo un ejercicio académico: es un acto de cuidado. Cada indicador de turbidez, cada índice espectral y cada mapa representa una oportunidad para proteger un espacio que sostiene vida, historias y culturas. La ética de la tierra, junto con otras miradas ambientales contemporáneas, nos recuerda que la ciencia tiene valor solo cuando contribuye al bien común.

Mirando hacia el futuro, es necesario impulsar prácticas de investigación más participativas, transparentes y sensibles a las realidades sociales. La gestión del agua exige no solo conocimiento técnico, sino empatía y colaboración. Si logramos que la tecnología, la ética y la comunidad trabajen juntas, estaremos más cerca de construir una relación justa y equilibrada con la naturaleza, una que realmente honre la responsabilidad que tenemos como parte de esta gran comunidad planetaria.

Bibliografía

- Boada, M., & Toledo, V. M. (2019). *El planeta es un ser vivo*. Tusquets Editores. <https://www.planetadelibros.com/libro-el-planeta-es-un-ser-vivo/292084>
- Bullard, R. D. (2005). *The quest for environmental justice: Human rights and the politics of pollution*. Sierra Club Books. <https://www.sierraclub.org>
- Dussel, E. (2011). *Filosofía de la liberación*. Fondo de Cultura Económica. <https://books.google.com/books?id=ZslfEAAAQBAJ>
- Floridi, L. (2006). Information ethics: Its nature and scope. *ACM SIGCAS Computers & Society*, 36(2), 21–36. <https://philpapers.org/archive/FLOIEI.pdf>
- Floridi, L. (2013). *The ethics of information*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/the-ethics-of-information-9780199641321>
- González Gaudiano, E. (2015). *Educación ambiental: Epistemología y currículum*. Siglo XXI Editores. https://www.sigloxxieditores.com.mx/libro/educacion-ambiental_13595
- Jonas, H. (1979). *The imperative of responsibility: In search of an ethics for the technological age*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/I/bo5951832.html>
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores. <https://ru.iis.sociales.unam.mx/handle/IIS/4937>
- Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia “otro” programa de sociología ambiental. *Revista Mexicana de Sociología*, 73(1). <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2011.1.23562>
- Leopold, A. (1949). *A Sand County Almanac: And Sketches Here and There*. Oxford University Press. https://books.google.com/books?id=F1k_AAAAYAAJ
- Martínez-Alier, J. (2014). *El ecologismo de los pobres: Conflictos ecológicos y lenguajes de valoración* (2.ª ed.). Icaria Editorial. <https://icariaeditorial.com/edicion/el-ecologismo-de-los-pobres/>
- Nussbaum, M. C. (2011). *Creating capabilities: The human development approach*. Harvard

- University Press. <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674050549>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2020*. SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe2020/00_introduccion.html
- Siqueira, J. E. (2001). El principio de responsabilidad de Hans Jonas. *Acta Bioethica*, 7(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2001000200009>
- Toledo, V. M. (2013). *El metabolismo social: Una teoría socioecológica para la sustentabilidad*. Fondo de Cultura Económica. <https://books.google.com/books?id=z0vqAgAAQBAJ>
- UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377897>
-