

Escenarios ambientales y sociales de la minería a cielo abierto

♦ Enrique Sánchez Salinas
Ma. Laura Ortiz Hernández

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, que contribuye al desarrollo económico del país suministrando insumos a una serie de industrias.¹ Dentro de las tecnologías utilizadas en la minería, la de cielo abierto (o de tajo abierto) es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural; pero también es insostenible por definición, en la medida que la explotación de minerales supone su agotamiento. La minería a cielo abierto remueve la capa superficial del suelo para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de baja calidad. Existe consenso en la literatura especializada en el tema, en el sentido de que ninguna actividad industrial es tan agresiva ambiental, social y culturalmente como este tipo de minería.

La minería a cielo abierto utiliza grandes cantidades de cianuro de manera intensiva, que le permiten recuperar el oro del resto del material removido. Para desarrollar este proceso, se requiere que el yacimiento abarque grandes extensiones y

que se encuentre cerca de la superficie. Además, se cavan cráteres grandes en extensión y en profundidad.

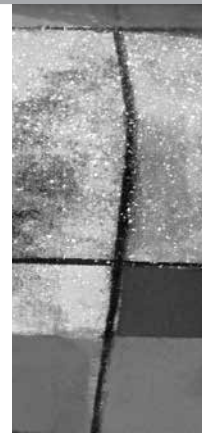
En México, la separación del mineral de los materiales sin valor se lleva a cabo básicamente a través de dos métodos: flotación e hidrometalurgia. Los efectos ambientales ocasionados por el primero aumentan proporcionalmente con el incremento en el uso de reactivos para favorecer los procesos. Los elementos potencialmente tóxicos más comunes derivados de ellos, en México, son plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), arsénico (As), selenio (Se) y mercurio (Hg).² El arsénico, el cadmio y el plomo, junto al mercurio, son los elementos químicos más tóxicos en la naturaleza, a los que no se les conoce alguna función biológica y que, aun en concentraciones bajas, pueden contaminar los ecosistemas, con el consecuente efecto nocivo para los organismos vivos.³

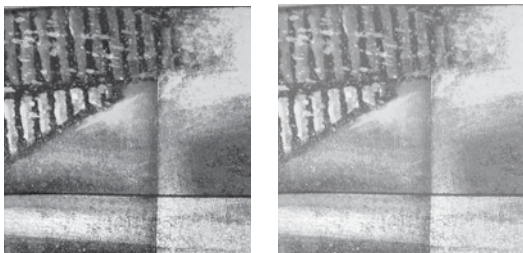
Entre los contaminantes de la minería a cielo abierto se encuentran los metales pesados, que se consideran elementos muy peligrosos para los se-

¹ Tania Volke Sepúlveda y Juan Antonio Velasco Trejo, *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*, Semarnat/INE, México DF, 2002, p. 21.

² Tania Volke Sepúlveda, Juan Antonio Velasco Trejo y David de la Rosa Pérez, *Suelos contaminados por metales y metaloides. Muestreo y alternativas para su remediación*, Semarnat/INE, México DF, 2005, pp. 25-26.

³ Margarita Gutiérrez-Ruiz, F. M. Romero y G. González-Hernández G., "Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, núm. 2, 2007, pp. 170-184.





res vivos en general, debido a su toxicidad y a su elevada tendencia a bioacumularse.⁴ Por metales pesados se entiende cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad relativa, que sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas y que no se pueda degradar por medios naturales.⁵ Los metales pesados considerados tóxicos cumplen los siguientes criterios: son relativamente abundantes en la corteza continental, se extraen y utilizan en procesos industriales, son tóxicos para el ser humano y causan perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos.⁶ La exposición ambiental crónica a los metales generalmente resulta en un continuo de “respuestas” en todos los niveles de la organización biológica. Estas respuestas pueden abarcar desde alteraciones a nivel molecular, que comprometen la salud del individuo, hasta la puesta en riesgo de la salud del ecosistema.⁷

El concepto de sostenibilidad, en relación con la minería, obliga a reconocer la importancia de este sector en la economía de México, pero tam-

bién a analizar las afectaciones más importantes, como la contaminación de cuerpos de agua, la sobreexplotación de acuíferos, la destrucción del paisaje —incluidas flora y fauna—, la contaminación del aire, la afectación del suelo y agua subterránea por los depósitos de residuos, y algunos efectos colaterales en el turismo y la cultura regional.⁸ A la fecha, en la minería mundial y en la iberoamericana en particular, los indicadores geológicos, mineros, ambientales y técnico-económicos no han logrado integrar a este sector con un sistema de sostenibilidad.⁹

Consecuencias ambientales

Los métodos de extracción y procesamiento de recursos minerales han producido durante siglos grandes cantidades de residuos y han contaminado sitios a lo largo del país.¹⁰ La minería aporta el mayor porcentaje de los residuos industriales que se producen en México.¹¹ La actividad minera, afecta los recursos naturales de que disponen las

⁴ Luis Manuel Martínez R., Demetrio Meza R., Ángel Aguirre G. y Josué M. Corza Camacho, *Impacto de metales pesados en el ecosistema acuático del río Ayuquila*, UdeG/DERN-Imecbio, Autlán de Navarro, 2008, p. 9.

⁵ José Celis Hidalgo, Julio Junod Montano y Marco Sandoval Estrada, “Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas”, *Theoria*, vol. 14, núm. 1, 2005, p. 18.

⁶ Ofelia Morton-Bermea, “Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México”, *TIP Rev. Esp. Cienc. Quim. Biol.* vol. 9, núm. 1, 2006, p. 45.

⁷ Patricia Mussali-Galante, Efraín Tovar-Sánchez, Mahara Valverde y Emilio Rojas del Castillo, “Biomarkers of exposure for assessing environmental metal pollution: from molecules to ecosystems”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29, núm. 1, 2013, p. 117.

⁸ Margarita Gutiérrez-Ruiz y Manuel Moreno Turrent, “Los residuos en la minería mexicana”, en Francisco Javier Garfías Ayala y Luis Barojas Weber (eds.), *Residuos peligrosos en México*, Semarnap/INE, México DF, 1995, pp. 37-44.

⁹ D. Guerrero Almeida, R. Guajardo Lacaba y R. Blanco Torrens, “Propuesta metodológica para el diseño de sistemas de indicadores de sostenibilidad (SIS), en regiones mineras de Iberoamérica”, *Boletín Geológico y Minero*, vol. 117, núm. 2, 2006, pp. 245-249.

¹⁰ Luis Alberto Pacheco-Gutiérrez y María del Carmen Durán de Bazúa, “El agua en la industria minera mexicana. Parte 1. Balance de materia en una empresa cooperante”, *Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 21, núm. 2, 2006, pp. 96-102.

¹¹ Jesús Mejía, Leticia Carrizales, Verónica M. Rodríguez, María E. Jiménez-Capdeville y Fernando Díaz-Barriga, “Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras”, *Salud Pública de México*, vol. 41, núm. 2, 1999, p. 133; Patricia Mussali Galante, Efraín Tovar Sánchez y Rolando Ramírez Rodríguez, “Manejo inadecuado de los residuos mineros: salud ambiental y humana”, *El Caudillo del Sur*, 9 de julio de 2013.

comunidades para sustentar su futuro.¹² En México no existe suficiente información para apreciar el costo del impacto ambiental que ha causado la minería, pero sí se reconoce que es significativo y mayor que el de otras ramas industriales.¹³

La explotación minera a cielo abierto conlleva el uso de sustancias contaminantes (por ejemplo, cianuro o ácido sulfúrico); grandes necesidades energéticas (1 000 000 m³ de gas natural/día); importantes volúmenes de agua por periodos largos (350 L/s durante quince años o más); producción y amplificación de drenaje ácido de mina y roca; niveles de tráfico elevados (un camión con acoplado cada diez minutos, 24 h/día), y generación de pasivos ambientales importantes.¹⁴ Así, las operaciones mineras se han convertido en un grave problema de salud pública, debido a la contaminación del ecosistema y a la exposición de la población a ella.¹⁵

Los principales efectos en el ambiente durante la fase de exploración son la destrucción de la vegetación y la remoción e inhabilitación de suelos al cubrirlos con material mineral subterráneo.¹⁶

Fase de explotación

Superficie. Se devasta la superficie, se modifica severamente la morfología del terreno, se apilan y dejan al descubierto grandes cantidades de material estéril, y se destruyen áreas cultivadas y otros patrimonios superficiales, lo cual puede alterar cursos de aguas y formar grandes lagunas para el material descartado. También se requiere la tala de árboles y el desbroce o quema de vegetación localizada sobre el yacimiento. El uso de maquinaria pesada, normalmente excavadoras y camiones de carga, es la forma más frecuente de retirar excedentes. Debido a que la minería de tajo abierto frecuentemente comprende la remoción de áreas con vegetación nativa, este es uno de los tipos de minería más destructivos para el medio ambiente, especialmente de bosques tropicales.¹⁷

Entorno. Se transforma radicalmente el entorno, el cual pierde su posible atracción escénica y se ve afectado por el ruido que emiten las operaciones realizadas. Lo anterior tiene un impacto negativo

¹² Carmen Almaguer Riverón, "Desarrollo local sostenible y comunidad minera: un enfoque sociocultural", *Futuros*, vol. 5, núm. 17, 2007, p. 4.

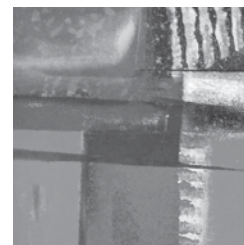
¹³ Margarita Gutiérrez-Ruiz y Manuel Moreno Turrent, "Los residuos...", *op. cit.*, p. 38.

¹⁴ Emiliano Donadio, "Ecólogos y mega-minería, reflexiones sobre por qué y cómo involucrarse en el conflicto minero-ambiental", *Ecología Austral*, núm. 19, 2009, p. 248.

¹⁵ Pedro Herrera Catalán y Óscar Millones Destefano, *¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú?*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2012, pp. 134; Álvaro J. Idrovo, Luis E. Manotas, Gladys Villamil de García, Jaime E. Ortiz, Elizabeth E. Silva, Saúl A. Romero y Carlos E. Azcárate, "Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana)", *Biomédica*, núm. 21, 2001, p. 134.

¹⁶ Tania Volke Sepúlveda et al., *Suelos contaminados...*, *op. cit.*, p. 22.

¹⁷ *Guía para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*, ELAW, Eugene, 2010, p. 4.



en casas, autos y vestimenta de la gente, y se produce una decoloración y erosión de edificios debido a la presencia de ácidos.¹⁸

Contaminación del aire. Los contaminantes del proceso de extracción originan vapores o gases de cianuro, mercurio y dióxido de azufre contenidos en gases residuales, procesos de combustión incompleta o emanaciones de charcos o lagunas de aguas no circulantes con materia orgánica en descomposición. En un sitio minero, las principales rutas de exposición pueden ser las partículas suspendidas en el aire; el suelo contaminado (por el polvo producido en la mina, el material proveniente de los jales o la deposición del material particulado en el aire); el polvo contaminado, e inclusive la contaminación de cuerpos de agua por el lavado de jales o de suelos contaminados.¹⁹ Otros contaminantes potenciales son los metales pesados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.²⁰ Las partículas del suelo con metales pesados, como las < 10 µg y, especialmente, las < 2,5 µg, pueden cruzar las defensas del sistema respiratorio y entrar en los pulmones.²¹

Aguas superficiales. Uno de los efectos más significativos de un proyecto minero es el efecto que se da en la calidad y disponibilidad de recursos hídricos en la zona del proyecto.²² El agua se emplea de manera intensiva a lo largo del proceso productivo, y se combina con reactivos químicos (cianuro, arsénico, reactivos espumantes y depresores, entre otros) para separar el metal de la roca y así obtener el mineral con valor comercial. Como resultado, se producen desechos de roca triturada, agua y reactivos químicos residuales, denominados "relaves mineros", los cuales llegan a los ríos, lagos y lagunas ubicados en las zonas aledañas a la mina, contaminando así los recursos hídricos.²³ El drenaje ácido y la lixiviación contaminante son la fuente más importante de efectos nocivos en la calidad del agua relacionados con la minería metálica, así como en la agricultura, ganadería y acuicultura, entre otras actividades, de los cuales se originan conflictos sociales. La competencia con otros sectores de la sociedad por los recursos hídricos propicia la reducción en el suministro a pueblos, ciudades y grupos indígenas.²⁴

¹⁸ Robert Moran, "Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería", *Ambiente y Desarrollo*, vol. XVII, núm. 1, 2001, p. 62.

¹⁹ Jesús Mejía *et al.*, "Un método...", *op. cit.*, p. 133.

²⁰ *Guía para evaluar EIAs...*, *op. cit.*, p. 13.

²¹ John Astete, Walter Cáceres, María del Carmen Gastañaga, Martha Lucero, Iselle Sabastizagal, Tania Oblitas, Jessie Pari y Félix Rodríguez, "Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros", *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 26, núm. 1, 2009, p. 15.

²² *Guía para evaluar EIAs...*, *op. cit.*, p. 9.

²³ Pedro Herrera Catalán y Óscar Millones Destefano, *¿Cuál es el costo...?*, *op. cit.*, p. 7; Francisco Martín Romero y Margarita Gutiérrez-Ruiz, "Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 62, núm. 1, 2010, p. 45.

²⁴ Robert Moran, "Aproximaciones...", *op. cit.*, p. 60.

Aguas subterráneas. La inadecuada disposición de relaves y desmontes, así como los métodos de disposición de efluentes peligrosos y materiales contaminantes de las operaciones mineras, producen casos graves de filtraciones, drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, además de efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.²⁵ Aguas contaminadas con aceite usado, reactivos, sales minerales provenientes de contenedores de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento, así como aguas de lluvia contaminadas por dichos contenedores, o aguas contaminadas provenientes de pilas, diques de colas o de procesos, pueden llegar a las aguas subterráneas. Además, puede haber un descenso en los niveles de estas aguas cuando se utilizan como fuente de abastecimiento para operaciones de tratamiento de minerales.

Las zonas urbanas cuentan con conos de abatimiento local, con niveles de varias decenas de metros por debajo del nivel estático, lo cual permite a los usuarios de la zona solicitar la reposición de pozos profundos.²⁶

Suelos. El suelo es uno de los componentes ambientales más afectados por el desarrollo de la minería. La principal afectación resulta del cambio en el uso del suelo por las actividades de desmonte y despalme de terreno; otros efectos significa-

tivos importantes se derivan del depósito temporal y permanente de materiales de proceso y deshecho que inhabilitan los suelos y disminuyen su capacidad de infiltración. Además, disminuyen el rendimiento agrícola y suelen provocar hundimientos y formar pantanos si el nivel de las aguas subterráneas vuelve a subir.

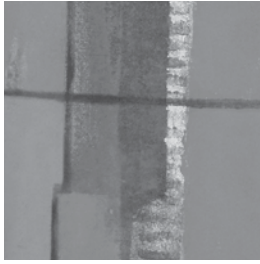
Flora. Con las actividades mineras se elimina la vegetación en el área de operaciones, se destruye parcialmente o se modifica la flora en áreas circunvecinas. Como consecuencia de la remoción de la vegetación, se producen cambios en las condiciones del hábitat de la fauna asociada con ella. Además, un proyecto minero pone en riesgo a las especies protegidas y a otras de interés biológico y local por los desmontes y despalmes.

Fauna. La fauna se ve perturbada o es ahuyentada por el ruido y la contaminación del aire y del agua, así como por el aumento en el nivel de sedimentos en los ríos. También puede haber envenenamiento por reactivos residuales contenidos en aguas provenientes de la zona de explotación. De esta manera, los desmontes y despalmes afectan a mamíferos, reptiles y aves asociados a la vegetación, y se ha demostrado que los residuos de metales pesados tienen efectos mutagénicos en la flora y fauna circundantes a los sitios de disposición.²⁷

²⁵ *Riqueza y sostenibilidad. Dimensiones sociales y ambientales de la minería en el Perú*, Banco Mundial, Lima, 2005, p. 5.

²⁶ *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuernavaca, estado de Morelos*, Conagua, México DF, 2002, p. 4.

²⁷ Efraín Tovar-Sánchez, Laura Tatiana Cervantes, César Martínez Becerril, Emilio Rojas del Castillo, Mahara Valverde, Ma. Laura Ortiz Hernández y Patricia Mussali-Galante, "Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings", *Environmental Science and Pollution Research*, núm. 19, junio de 2012, p. 1682, doi: 10.1007/s11356-011-0680-4; Patricia Mussali Galante, Efraín Tovar Sánchez, Mahara Valverde, Leticia Valencia Cuevas y Emilio Rojas del Castillo, "Evidence of population genetic effects in *Peromyscus melanophrys* chronically exposed to mine tailings in Morelos, Mexico", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 20, núm. 11, noviembre de 2013, pp. 7666-7679, doi: 10.1007/s11356-012-1263-8.



Poblaciones. Como en cualquier proyecto productivo, los aspectos social y económico de la región son indicadores relevantes de su impacto en la población. La creación de empleos directos en la etapa de construcción y operación de la mina puede, en su momento, tener un efecto económico negativo por la pérdida de empleos al concluir esta etapa, y por el desplazamiento de otras actividades económicas locales actuales o futuras, principalmente porque el recurso se agota después de su extracción. Los potenciales conflictos por derechos de utilización de la tierra dan lugar al surgimiento descontrolado de asentamientos humanos, ocasionando una problemática social. Las actividades mineras tienen impacto en aspectos sociales y culturales, como la presión sobre los gobiernos locales y en la infraestructura de servicios; en el aumento de delitos; incremento de tránsito vehicular por caminos locales, congestión y accidentes; aumento en costos de mantenimiento de caminos; inflación en costos de bienes, trabajo, propiedad e impuestos, y otros en áreas o actividades importantes o sagradas para grupos indígenas.²⁸

Por otro lado, una manifestación de impacto ambiental de un proyecto minero no incluye los efectos en la salud. Existen investigaciones en las cuales se ha demostrado que, al estar en contacto con residuos de metales pesados, la población humana padece efectos mutagénicos.²⁹

Cambio climático. La deforestación disminuye la capacidad de captura de carbono, por lo que se contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, al calentamiento global.

Impacto escénico posterior. La explotación minera dejará profundos tajos que afectarán el entorno en general, transformando radicalmente el paisaje. La modificación de la estructura del paisaje es consecuencia directa del desmonte de la cobertura, el minado del yacimiento, la extracción del mineral y el depósito de materiales de proceso y estériles en ubicaciones distintas a la original.

Residuos. La minería produce residuos granulares sólidos y semisólidos no explotables (jales), residuos peligrosos y aguas residuales. Las estructuras poco consolidadas de un depósito de jales y la falta de cobertura vegetal provocan que los residuos sean susceptibles a la erosión eólica e hídrica³⁰ y puedan dispersarse en una zona de hasta cien kilómetros cuadrados.³¹ Actualmente no existe una estimación confiable de la cantidad de depósitos de jales distribuidos en el territorio de la república mexicana.³²

Fase de procesamiento o beneficio. Además de la emisión de ruidos, vibraciones y polvo, el proceso de beneficio produce un gran volumen de desechos llamados "relaves", que son los residuos del

²⁸ Robert Moran, "Aproximaciones...", *op. cit.*, p. 62.

²⁹ Patricia Mussali-Galante *et al.*, "Biomarkers of exposure...", *op. cit.*, p. 121.

³⁰ Yann René Ramos-Arroyo, Rosa María Prol Ledesma y Christina Siebe Grabach, "Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 21, núm. 2, 2004, p. 271.

³¹ Javier Castro Larragoitia, Utz Kramar y Harald Puchelt, "200 years of mining activities at La Paz/San Luis Potosí/México. Consequences for environment and geochemical exploration", *Journal of Geochemical Exploration*, núm. 58, 1997, p. 81.

³² Francisco Martín Romero y Margarita Gutiérrez-Ruiz, "Estudio comparativo...", *op. cit.*, p. 45.

mineral que permanecen después de que este ha sido triturado para extraer el metal valioso. Muchas empresas mineras descargan los relaves en sitios cercanos, entre ellos ríos y arroyos, afectando impactos en la calidad del agua y amenazando la vida silvestre³³ —algunos organismos presentan daños significativos en el ADN cuando están expuestos a estos residuos.³⁴

Fase de fundición y refinación. Las empresas de la gran minería desarrollan esta etapa de producción, en la que los metales se purifican y funden para su comercialización; la contaminación atmosférica se asocia con esta fase del proceso.³⁵ Muchos productores de metales preciosos realizan procesos de fundición antes de transportar el material a las refinerías. Por lo general, el oro y la plata producidos en los hornos de fundición y flujo producen niveles elevados de mercurio, arsénico, dióxido de azufre y otros metales.³⁶

Responsabilidad social empresarial

A pesar de que una manifestación de impacto ambiental establece las medidas de mitigación de las actividades de la industria minera, muchos autores coinciden en que estas son incosteables, por lo que finalmente se tiende a abandonar el sitio de explotación con diversas afectaciones y grandes cantidades de residuos, considerados como pasivos ambientales.³⁷

Los pasivos ambientales tienen un alto costo que deberá asumir la sociedad y, en consecuencia, el Estado deberá destinar grandes cantidades de recursos para la recuperación y remediación de los sitios afectados. A nivel mundial muchas empresas en quiebra le dejan los daños y costos ambientales a los contribuyentes, y varias tienen una casa matriz extranjera, con gran parte de las utilidades fuera del país donde sus minas están operando.³⁸

La responsabilidad social empresarial implica un cambio de paradigma desde una concepción de mera obtención de riqueza, a una más abierta y plurifuncional, con un sustrato ético que permee los ámbitos internos y externos de su organización.³⁹ Las circunstancias históricas del desarrollo socioeconómico muestran un desdén hacia los procesos ambientales y la perpetuación de una actitud agresiva con la naturaleza, que estamos obligados a eliminar.

El modelo económico construido por el pensamiento neoliberal y fundamentado en el libre mercado, no se debe imponer a los aspectos socioculturales y ambientales de una región. Las empresas mineras deben cumplir con una exigencia social o contar con un respaldo de la comunidad, que podría llamarse "licencia social", independiente de los requisitos legales para la explotación. Las alternativas de desarrollo regional deben integrar los aspectos social, económico y ambiental como pilares fundamentales de sostenibilidad.

³³ *Guía para evaluar EIAs...*, *op. cit.*, pp. 7 y 12.

³⁴ Efraín Tovar-Sánchez *et al.*, "Comparison of...", *op. cit.*, p. 1677.

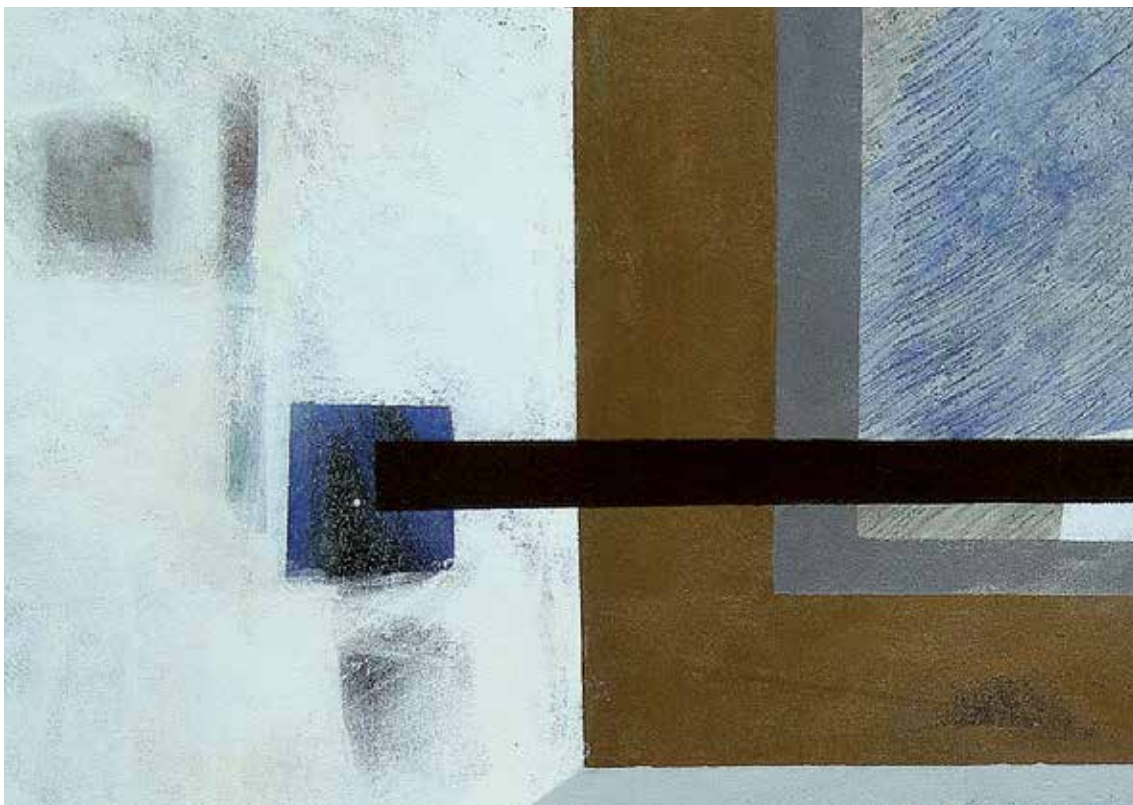
³⁵ Pedro Herrera Catalán y Óscar Millones Destefano, *¿Cuál es el costo...?*, *op. cit.*, p. 23.

³⁶ *Guía para evaluar EIAs...*, *op. cit.*, p. 35.

³⁷ Enrique Sánchez Salinas y Ma. Laura Ortiz Hernández, "Riesgos y estrategias en el uso de plaguicidas", *Inventio*, núm. 14, p. 24.

³⁸ Robert Moran, "Aproximaciones...", *op. cit.*, p. 65.

³⁹ Carmen Almaguer Riverón, "Desarrollo local sostenible...", *op. cit.*, p. 4.



Casa contemporânea 2 (fragmento), de la serie *Memória da cidade*. Técnica mixta, 186 x 50 cm, 2012