

Pasivos ambientales mineros, salud y agricultura: una primera aproximación espacial

José Carlos Orihuela², César Huaroto³ y Carlos A. Pérez⁴

Resumen

En la literatura de desarrollo económico internacional abundan estudios sobre impactos nacionales y locales de las actividades extractivas en empleo e ingresos. No son frecuentes, en cambio, los estudios sobre externalidades negativas como la contaminación. Utilizando una base de datos administrativa sobre pasivos ambientales mineros (PAM) y encuestas de hogares georreferenciadas, exploramos cómo la cercanía a estos pasivos afecta las condiciones de salud y producción agropecuaria en hogares peruanos para el año 2016. Primero, obtenemos evidencia parcialmente robusta a correlación espacial de la relación entre cercanía relativa a un PAM e indicadores de salud: niños con menor altura y peso, según edad, y con mayor probabilidad de encontrarse desnutridos. Segundo, obtenemos evidencia que la cercanía a PAM se relaciona con un menor número de cabezas de ganado en hogares productores agropecuarios.

Palabras Clave: contaminación, pasivos ambientales mineros, salud, agricultura, geografía económica, maldición de los recursos naturales.

1 Esta investigación se desarrolló en el marco del Programa de Investigación Formativa y contó con la participación de los alumnos Rocío Arango y Gerald Cisneros.

2 PUCP. Contacto: orihuela.jc@pucp.pe

3 Universidad Católica de Chile.

4 PUCP.

Introducción

Durante las últimas cuatro décadas se ha discutido y cuantificado los efectos económicos de la abundancia de recursos naturales, y se ha generado una extensa literatura sobre la llamada Maldición de los Recursos Naturales (MDR). Más recientemente, se observa un incipiente interés académico por estudiar los efectos económicos de la contaminación generada por las actividades extractivas (Aragón y Rud, 2015; Rau, T., Reyes, L. y Urzua, S.2015). Para el caso peruano, más allá de Herrera y Millones (2012), desconocemos de investigación económica cuantitativa sobre el tema. En parte, esta brecha en la literatura se debe a la poca disponibilidad de información sobre contaminación y la dificultad en poder establecer una relación causal desde un enfoque econométrico. Existe evidencia sobre efectos negativos de la contaminación minera en indicadores de salud (Rau et al. 2015, Menz y Seip 2004), así como efectos negativos en la producción agrícola (Aragón y Rud, 2015; Bebbington et al. 2013).

El objetivo de esta investigación es contribuir a la aún incipiente rama en cuestión, con un estudio exploratorio sobre las relaciones geográficas entre contaminación minera e indicadores de bienestar en Perú. Para lograr este objetivo, se utilizará un conjunto de herramientas que provee la geografía económica, y se combinará análisis espacial-geográfico (mediante Sistemas de Información Geográfica, GIS, por sus siglas en inglés) con el análisis estadístico econométrico. Con estas herramientas planteamos nuestra pregunta general de investigación: *¿cuál es la relación geográfica, en términos de cercanía y altitud, de un PAM con indicadores de salud y producción agrícola? Y a su vez una interrogante específica: ¿la cercanía a un PAM significa tener algún tipo de afección de salud y menor producción agrícola?*

La incorporación del componente espacial o geográfico es un aporte en sí mismo a la literatura en cuestión. La dimensión espacial está generalmente ausente de la investigación económica tradicional sobre la MDR (Orihuela, 2017), a pesar de que las características geográficas tienen una alta influencia en los resultados económicos de un entorno dado (Dell et al. 2014; Dell, 2010; Easterly y Levine, 2003). Para este tema particular, es relevante considerar la distancia entre un centro poblado y los pasivos ambientales mineros (PAM), así como la altitud, pues el encontrarse encima o por debajo de un pasivo tiene repercusiones diferentes. Si un PAM se encuentra encima de un centro poblado, la forma cómo afecta es del tipo *down-stream*, lo que facilita el esparcimiento de la contaminación vía aérea y del suelo; mientras que es más difícil que exista afectación en el caso que el centro poblado se encuentre por encima del PAM (Hendroychová y Kabra, 2016; Phillips, 2016). Con sus limitaciones, la altitud es una importante variable para incorporar al análisis.

El desarrollo empírico de la investigación es posible debido a la combinación de tres fuentes de información: (i) una base de datos administrativa provista por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas, en la cual se encuentra la ubicación, en términos de latitud y longitud, de 8,854 PAM; (ii) un conjunto de bases

de datos con información sobre indicadores de salud y producción agrícola que se encuentran georreferenciadas a nivel de centro poblado: la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2016 y la Encuesta Nacional de Hogares 2016; y (iii) un Modelo Digital de Terreno (DEM, por sus siglas en inglés) sobre la altitud de cada 250 metros cuadrados del territorio peruano, que permite atribuir la altitud de cada PAM y centro poblado a fin de complejizar la relación geográfica propuesta.

En este estudio exploratorio obtenemos, por un lado, evidencia parcialmente robusta sobre la relación entre cercanía relativa a un PAM e indicadores de salud: niños con menor altura y peso según edad, y con mayor probabilidad de encontrarse desnutrido; por otro lado, obtenemos evidencia de que la cercanía a un PAM se relaciona con un menor número de cabezas de ganado en hogares productores agropedecarios. Estos resultados son discutidos en relación a los de otros estudios sobre el tema, los cuales no profundizan en el carácter espacial y podrían no ser robustos a correcciones aquí presentadas.

Nuestro trabajo cuenta con cinco secciones adicionales. La segunda sección expone el marco teórico, donde se discute la literatura sobre la maldición de los recursos referida a la contaminación generada por actividades extractivas. La tercera sección detalla los datos y metodología utilizados. En la cuarta sección se presenta un análisis descriptivo de los datos y en la quinta sección se expone los resultados. Finalmente, la sexta sección ofrece una breve discusión de los hallazgos, a modo de conclusión.

Marco teórico

El desempeño económico de los países ricos en recursos naturales es un tópico de amplio interés y debate en las ciencias sociales (Cust y Poelhekke, 2015; Orihuela, 2017). Dentro de este debate, surge la paradoja de la MDR, la cual refiere que países ricos en recursos naturales tienen menor desarrollo debido a sus malos desempeños económicos, sociales y políticos. Un primer grupo de investigaciones de la literatura está compuesto por estudios econométricos *cross-country*, que han recibido críticas como el de adolecer de sesgos de variables no observables. Un segundo grupo de estudios busca superar las críticas mencionadas con investigaciones *within-country*, al analizar si dentro de un país existe MDR en aquellos lugares en donde se encuentran los recursos. Nuestro trabajo se inserta en este segundo grupo, y en particular, es parte de un conjunto de investigaciones exploratorias sobre los efectos de la contaminación de las actividades extractivas. A continuación, desarrollaremos sucintamente los grupos de literatura mencionados.

Los estudios *cross-country*

Este primer grupo de estudios se ha desarrollado durante los últimos 30 años y de manera amplia. La literatura discute el rol de los recursos naturales en el desarrollo de los países, en particular si la abundancia de recursos naturales es una maldición en el

sentido de si ser rico en recursos naturales tiene un correlato negativo en indicadores económicos (posteriormente, la literatura incluirá resultados políticos y sociales). En la mayoría de trabajos se argumenta que existe una MDR, es decir que los países ricos en recursos suelen tener malos desempeños económicos.

Este grupo de estudios maneja un modelo teórico similar, buena parte referidos a la enfermedad holandesa (*Dutch disease*). Corden y Neary (1982) analiza una economía pequeña y abierta en la cual existe un *boom* en un sector primario, que trae como consecuencia el debilitamiento y reducción de la producción de sectores secundarios transables (como manufacturas) y el aumento de la producción de sectores no transables (servicios). El tipo de sectores económicos donde se dan los mecanismos favorece una inflación promovida por un exceso de demanda de productos no transables (servicios).

Se suele indicar a Auty (1993) como el pionero en acuñar la hipótesis de la “maldición” (Cust y Poelhekke, 2015; Orihuela, 2017). Posteriormente, Sachs y Warner (1995, 2001) continuaron y difundieron la idea. En 1995 Sachs y Warner encontraron que aquellos países ricos en recursos naturales (medido como tener un alto porcentaje de exportaciones primarias) tenían menores tasas de crecimiento. Posteriormente, Sachs y Warner (2001) hicieron un recuento de los estudios realizados previamente y defendieron la hipótesis de la MDR de las críticas sobre variables omitidas –geográficas o climáticas– que podrían explicar la MDR.

Los estudios *cross-country* han ofrecido un rico debate de ideas que ha intentado explicar la presencia de MDR en países ricos en recursos. El debate, más que conceptual, ha sido empírico y metodológico, pues los aportes diferenciales entre trabajos suelen ser el cambiar la variable de interés, la definición de ser rico en recursos y/o la inclusión de algún covariado ausente en especificaciones econométricas previas. Estos estudios plantean algunas limitaciones recogidas por Aragón, Pole y Land (2014): i) metodologías econométricas que no permiten solucionar aspectos como endogeneidad y errores de medición; ii) estudios que esconden patrones diferenciados de influencia de las actividades extractivas al interior de un país; y iii) investigaciones que no tienen claro el concepto de instituciones y determinar cuáles podrían ser las relevantes (a pesar de reconocer la importancia de las mismas).

Los estudios *within-country*

Recientemente, existen estudios sobre el impacto de ser rico en recursos naturales dentro de una región o áreas locales más desagregadas. Siguiendo a Aragón, Pole y Land (2014), estos estudios pueden dividirse según cuatro grandes grupos: los que analizan la dotación y especialización por los recursos, los que se interesan por los ingresos fiscales locales, los que se interesan por los shocks de demanda local, y los que se interesan por las externalidades negativas de las actividades.

El primer grupo de estudios investiga si el mecanismo de *Dutch disease* (“enferme-

dad holandesa”) funciona a nivel local, dado que las regiones pueden considerarse como economías pequeñas y abiertas. El *boom* de recursos es interpretado como un cambio de dotaciones, al cobrar los recursos un valor de gran magnitud. Las regiones se especializan en la explotación del recurso en *boom* y mellan la producción de otros sectores como manufacturas y agricultura, los cuales deben competir por los factores de producción trabajo, capital y tierra; mientras que sector de servicios gira en torno a la actividad en *boom* (Michaels, 2011).

El segundo grupo de estudios se concentra en los inusitados ingresos fiscales obtenidos por la extracción de recursos naturales: regalías, impuestos. Estos ingresos fiscales son rentas que los gobiernos nacionales obtienen fortuitamente, sin necesidad de una presión tributaria a los ciudadanos. Al haber mayores ingresos se puede brindar una mejor provisión de bienes públicos con lo que se mejoran las condiciones de vida de regiones que poseen los recursos. Sin embargo, estos ingresos pueden generar otro tipo de incentivos y una conducta buscadora de rentas que devienen en corrupción y mala asignación de recursos (Caselli y Michaels, 2013; Brollo et al., 2013).

El tercer grupo, muy ligado al primero, enfatiza que el sector en *boom* impacta sobre economías locales al comprar insumos locales como trabajadores y materiales intermedios (Aragón y Rud, 2013), ello genera un dinamismo económico de envergadura local a pesar de no ser muy fuerte a nivel macroeconómico (Phelps et al., 2015). En este grupo se interpretan las investigaciones a la luz de predicciones de teorías sobre mercados laborales locales y equilibrios espaciales (Moretti, 2011; Greenstone et al., 2010): salarios y empleo aumentan, se produce migración, se benefician sectores que producen insumos intermedios y el precio de viviendas aumenta debido a la migración.

El cuarto grupo analiza las externalidades negativas como la contaminación, que genera perjuicios en la salud y producción agrícola en personas y unidades agrícolas cercanas (Aragón y Rud, 2015; Rau et al., 2015; Bebbington, 2013). Este grupo de investigaciones será analizado en la siguiente sección.

Estos cuatro mecanismos expuestos resumen las investigaciones realizadas, las cuales frecuentemente enfatizan el carácter espacial de las investigaciones. El uso de Sistemas de Información geográfica (GIS) ha facilitado este tipo de análisis, ejemplo de esto son Kostadam y Tolonen (2016) y Aragón y Rud (2015, 2013).

Para Perú existen algunos trabajos dentro de los estudios *within country*¹. El primer trabajo que utiliza los métodos resaltados para estos estudios es el de Zegarra et al. (2007), que investigan el modo en que la actividad minera impacta diferenciadamente en hogares urbanos y hogares agrícolas, y encuentra que hay un efecto positivo en hogares urbanos que no es muy claro en hogares agrícolas. Por otro lado, el estudio más conocido es el de Aragón y Rud (2013), quienes encuentran impactos positivos en indicadores de empleo e ingresos; particularmente, los autores estudian el efecto

1 Existen más estudios, que no han sido consideramos porque no han sido publicados como artículos de investigación sino que se encuentran como informes finales.

positivo que tuvo en una política de la empresa Yanacocha, de demanda de insumos locales. Escobal y Ticci (2015) utilizan censos de población y vivienda para el estudio y encuentran efectos positivos en empleo y reducción de pobreza en localidades andinas influenciadas por la minería. Del Pozo y Paucarmayta (2015) encuentran que minería y agricultura son actividades excluyentes en un mismo territorio, pues las unidades agropecuarias en el mismo ámbito geográfico de las mineras tienen menor producción agropecuaria. Loayza y Rigolini (2016) hallan que la pobreza se reduce en distritos mineros peruanos.

Se puede notar que estos trabajos son bastante empíricos y su discusión es más metodológica que teórica. La literatura no económica –entendida como aquella que no utiliza métodos cuantitativos o un marco centrado en el *Dutch disease* local– encuentra en esto una enorme debilidad, pues los resultados no pueden interpretarse y explicarse claramente, al ser una ‘caja negra’ (Orihuela, 2017; Thorp et. al., 2012). Incluso, de manera general, Angus Deaton –Premio Nobel de Economía 2015– critica esta forma de realizar investigación económica, pues para él es más importante entender el porqué de un fenómeno antes del qué (Deaton y Cartwright, 2016). Por otro lado, un aspecto no menor es que los estudios suelen tener conclusiones deterministas sobre la existencia o no existencia de MDR a nivel local.

Industrias extractivas y contaminación

Las actividades extractivas, en particular la minería, genera contaminantes diversos que impactan sobre la productividad agrícola y la salud de las personas. Estas relaciones han sido aún poco estudiadas, y los estudios realizados son aún incipientes. A continuación, revisamos algunos trabajos acerca de esta temática.

Las actividades extractivas, debido a sus particulares procesos productivos, suelen contaminar el medio ambiente de zonas en donde se realiza la actividad (Aragón, Pole y Land, 2014). Algunas consecuencias de la contaminación son: la contaminación del agua utilizada para la agricultura (Bebbington, 2013), la contaminación del aire, que mella la productividad agrícola (Aragón y Rud, 2015), pues las siembras y el rendimiento de tierras a su vez son afectadas (Miller, 1988; Marshall et al., 1997). En general, la calidad de agua y de la tierra disminuyen (Menz y Seip, 2004).

Desde las ciencias ambientales, algunos estudios han utilizado enfoques experimentales y observacionales para analizar el crecimiento y rendimiento de cultivos ante la presencia de ciertos contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), el ozono (O₃) y las micropartículas (PM). Estos trabajos llegan a la conclusión que estos contaminantes son perjudiciales y llegan a disminuir los rendimientos entre un 37 y 42% según el tipo de cultivo (Emberson, 2001; Wahid et al., 1995). En particular, estos contaminantes afectan los cultivos de tres maneras: i) deterioran el aspecto físico de las plantas visiblemente, por lo que se dificulta su venta; ii) afectan directamente el crecimiento y el rendimiento; iii) alteran los procesos químicos y fisiológicos de los

cultivos y su entorno (Marshall et al., 1997). Los contaminantes mencionados suelen ser generados por los diversos procesos de extracción y producción minera (Aragón y Rud, 2015).

Por otro lado, diversos estudios encuentran que la contaminación afecta la salud de las personas expuestas, a las cuales provoca problemas de desnutrición y anemia (Goltz y Barnwal, 2013), disminución del desempeño educativo y posteriormente un bajo desenvolvimiento en el mercado laboral (Rau et al., 2015; Lavy et al., 2014) y menor productividad laboral (Hanna y Olivia, 2011; Graff y Zivin, 2011). De manera similar a lo que sucede en el caso de cultivos, los contaminantes alteran las capacidades fisiológicas del cuerpo humano e impiden su desempeño 'normal'. En particular, los niños menores de cinco años son vulnerables a la contaminación del medio ambiente, pues sus órganos se encuentran todavía en estado de formación, y especialmente su sistema respiratorio, el cual es vulnerable a contaminantes que suelen encontrarse cerca de los establecimientos mineros (OMS, 2017)

Los trabajos relacionados con las externalidades ambientales negativas de la actividad extractiva son más recientes y aún poco explorados. El marco teórico de estos y la justificación de los mecanismos se basan sobre estudios que examinan la contaminación en otros entornos, hecho que no los invalida, pues a pesar de provenir de diferentes fuentes emisoras de contaminación, analizan los mismos tipos de contaminantes. Goltz y Barnwal (2013) estudian la relación (para un conjunto de países 'en desarrollo') entre la cercanía a yacimientos mineros y los indicadores de salud, como anemia y desnutrición, en niños. Los resultados obtenidos muestran que la cercanía a estos centros tiene impactos negativos, pues aumenta la anemia y la desnutrición en los grupos mencionados, esto incluso a pesar del aumento de ingresos que genera la actividad productiva directamente. Se trataría de un *trade-off* entre beneficios económicos y efectos nocivos en salud, o como en el caso de La Oroya en Perú: un *trade-off* entre el derecho a trabajar y tener ingresos frente al derecho a la salud (Valencia, 2016). Rau et al. (2015) encuentran que los niños cuyas escuelas se encuentran en las cercanías de un botadero de residuos mineros tienen menores resultados educativos y sus ingresos de adultos en el largo plazo son menores. Aragón y Rud (2015), mediante el uso de información satelital sobre contaminación, encuentran que en Ghana la actividad minera trae consecuencias negativas para la productividad de pequeños agricultores familiares.

Otro tipo de literatura aborda el tema desde una perspectiva más cualitativa. Orihuela (2013) y Valencia (2016) analizan el caso de La Oroya con enfoques institucionales y de desarrollo de capacidades. Van Hoecke (2006), Ghose (2010) y Mucchloch (2010) analizan las dinámicas sociales de las mujeres en torno a la presencia de contaminantes. Otro tipo de literatura –no tan usual para el caso peruano– es aquel que valúa la contaminación ambiental minera, entendida como el costo que se incurriría para paliar la contaminación. Glave y Kuramoto (2002) señalan estudios de Evaluación Ambiental Territorial que realizaba el Ministerio; Herrera y Millones

(2012) se aproximan a los costos de la contaminación minera sobre los recursos hídricos para los años 2008 y 2009, y proponen, además, un esquema de multas y sanciones ambientales.

La maldición de los recursos naturales

En los diversos tipos de literatura revisados, las conclusiones obtenidas por los autores suelen ser determinísticas: existe (o no) MDR debido a un resultado en una variable determinada. Siguiendo a Orihuela (2017), creemos que la MDR es un concepto de tipo ‘sombrija’ que sirve para llamar a un conjunto diverso e interrelacionado de enfermedades que podría conllevar el desarrollo basado en recursos naturales. La MDR no debe ser interpretada de manera universal, ni determinista. La multidimensionalidad del desarrollo plantea situaciones en las que puede haber ‘maldición’ en un aspecto y ‘bendición’ en otro; por ejemplo, el último *boom* de precios de minerales trajo una ‘bendición’ macroeconómica, pero una ‘maldición’ social al agravarse los conflictos sociales. Por otro lado, una maldición podría volverse bendición, y viceversa.

Consideramos que el concepto de MDR tiene una taxonomía particular que conlleva retos de gobernanza en aspectos macroeconómicos, de sectores y economías locales, de sostenibilidad del crecimiento económico; de manejo del control democrático y político; de justicia ambiental y de paz y manejo de conflictos. Cada uno de estos desafíos de gobernanza está asociado con distintas ‘enfermedades del desarrollo’ y con mecanismos peculiares (Orihuela, 2017).

Particularmente, este trabajo se enfoca en los retos de gobernanza de justicia ambiental y de paz. La ‘bendición’ en empleo e ingresos que puede generar la actividad extractiva puede conllevar una ‘maldición’ al emitirse externalidades negativas (contaminación) que afectan el desempeño de otras actividades económicas (agricultura) y la salud de las personas. Esta convivencia entre maldición y bendición genera el *trade-off* discutido anteriormente (Valencia, 2016), y plantea un reto fundamental de gobernanza para un país con una economía dependiente de estas actividades, con diversos conflictos sociales generados en torno a esta actividad y a la vez con 8,854 PAM a lo largo de su territorio.

Fuentes de información y metodología

El objetivo de este trabajo es proveer un análisis exploratorio sobre las relaciones geográficas entre contaminación minera e indicadores de bienestar en el Perú. Al ser un tema nuevo en la agenda de investigación del medio y por características propias de la información disponible, el presente trabajo tiene un carácter exploratorio y brinda conjeturas sobre el modo en que indicadores de salud e indicadores de producción agrícola se encuentran relacionados al hallarse ‘cerca’ de un PAM. Investigaciones detalladas en la sección anterior utilizan la cercanía –a un centro minero o a una fuente de contaminación minera– como una distancia euclidiana (Aragón y

Rud, 2015; Kostadam y Tolonen, 2016; Rau et al., 2015; entre otros), pero obvian que la altitud juega un rol importante, sobre todo en contextos geográficos como la sierra peruana, en donde la ausencia de llanuras invalidaría o cuestionaría el uso de distancias euclidianas.

La hipótesis principal de esta investigación es que la cercanía a una PAM tiene una relación negativa en indicadores de salud y producción agrícola, tal como ha encontrado la literatura reseñada en la sección 2.3. Además, la relación se intensifica al considerar un componente geográfico importante como la altitud (Phillips 2016, Emel et al 2014); particularmente, cuando la fuente de contaminación se encuentra por encima de las personas y unidades agrícolas, la relación tipo *downstream* favorece la expansión de la contaminación.

Se corroborará la hipótesis combinando técnicas de análisis espacial (típicamente utilizados por geógrafos) y análisis estadístico-econométrico, aprovechando tres fuentes de información debidamente georreferenciadas. En las siguientes sub-secciones describiremos estas fuentes y explicitaremos la metodología de análisis.

Fuentes de información

Esta investigación utilizará tres fuentes de información, las cuales tienen en común el encontrarse debidamente georreferenciadas en términos de longitud y latitud, así como de altitud para las dos últimas. La primera fuente será proyectada y junto a un DEM de altitud se podrá extraer las características de altitud requeridas para el análisis geográfico.

La primera fuente de información es el registro de Pasivos Ambientales Mineros (PAM) provisto por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Esta información se ha publicado en la página web del MINEM, pero no en formato de base de datos. Esta base de datos es una especie de censo de PAM que se encuentran tipificada y georreferenciada. El no contar con información sobre la fecha en que se originó el pasivo o una medida sobre el nivel de contaminación o riesgo de cada pasivo imposibilita realizar un análisis más fino. No obstante, se selecciona ciertos PAM, pues existe un grupo que incluye infraestructura minera no contaminante como oficinas: i) del tipo labor minera seleccionamos los tajos; ii) del tipo productos químicos seleccionamos todos: aceites, combustibles y cianuros; y, iii) del tipo residuos mineros seleccionamos todos: desmontes mineros, relaves mineros, lodos de neutralización, material de desbroce, pilas de lixiviación, residuos de carbón y suelo orgánico.

La segunda fuente de información es la Encuesta Nacional de Hogares 2016 (ENAH), la cual provee un módulo detallado sobre Producción Agropecuaria de Hogares cuyos miembros se dediquen a la agricultura como actividad principal, que son la mayoría de hogares rurales. Esta encuesta cuenta con una georreferenciación bastante precisa a nivel de centro poblado (para zonas rurales) y a nivel de manzana (para zonas urbanas).

La tercera fuente de información es la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2016 (ENDES) que provee indicadores de salud objetivos (talla, peso, hemoglobina) para niños menores de cinco años, y que posee la georreferenciación a nivel de centro poblado².

Una fuente adicional que se usa para obtener la altitud a la que se encuentran los PAM es un DEM de altitud (el Shuttle Radar Topography Mission -SRTM) desarrollado por la NASA y el Ministerio de Economía de Japón y se encuentra en formato de ráster³. Este, proyectado en un GIS es una imagen en la cual cada píxel de resolución representa una información distinta sobre la altitud. El píxel cuenta con una resolución de 250 metros cuadrados, y al superponer la capa que provee la ubicación de los PAM se puede obtener la altitud de cada uno de estos. Con este DEM se calcula también la pendiente de los centros poblados y los PAM, pues indica lo rápido que se puede esparcir una fuente contaminante. Debe considerarse que existen DEM con mayor precisión, como de 30 y 90 metros cuadrados; sin embargo, estos requieren un tratamiento especial para llenar 'huecos' de información en ciertas nubes, el SRTM a 250 metros facilita el análisis.

Metodología

Dados los objetivos del estudio y el carácter exploratorio de la investigación, la metodología a seguir constará de un análisis de regresión de corte transversal cuya interpretación causal es discutible, debido a falta de información como una medida objetiva sobre contaminación en los PAM, desde la fecha que existen, problemas de endogeneidad, entre otros. A pesar de estas limitaciones, se plantean diversos modelos basados en estudios especializados acerca de los temas que permiten incluir las variables relevantes que controlen las características que influyen en los indicadores seleccionados.

Los modelos presentados tienen como interés principal determinar cómo afecta la 'cercanía' de un PAM en indicadores de agricultura y de salud de un centro poblado. Estudios previos definen esta cercanía como la distancia euclidiana, la cual, dado el contexto geográfico de la sierra debe reconsiderarse si se toma en cuenta la altitud relativa y la pendiente del suelo donde se ubican los PAM. La altura relativa tiene importancia, pues si la fuente contaminante se encuentra más elevada que un centro poblado, podría producir filtraciones que podrían trasladarse por tierra, agua y aire con mayor facilidad (Hendrychova y Kabrna, 2016; Phillips, 2016; Dufflo y Pande, 2005). Dicho esto, el modelo general es el siguiente:

$$y_{ic} = \alpha_0 + \beta(\text{cerca}_c \times \text{pam_alto}_c) + \beta_0 \text{cerca}_c + \beta_1 \text{pam_alto}_c + X'_{ic} \theta + \epsilon_{it}$$

² Si bien la ENDES provee otros indicadores de salud que suelen utilizarse en otros estudios, estos indicadores son subjetivos o de autorreporte, y existe una gran posibilidad de que contengan errores de medición; estos autorreportes se refieren a enfermedades diarreicas y respiratorias. Las medidas de hemoglobina y antropométricas permiten un acercamiento más objetivo.

³ El formato ráster es una imagen que puede entenderse como la combinación de píxeles. Cada píxel tiene un valor que refleja el atributo de la localización del píxel. Para nuestro caso, cada píxel representa la altitud y cuenta con una resolución de 250 metros cuadrados.

Donde 'y' es la variable dependiente de interés para el individuo 'i' ubicado en el centro poblado 'c'. El coeficiente de interés es β , de la interacción entre las variables cerca y pam_alto, *dummies* que toman el valor de 1 en caso el centro poblado 'c' donde vive el individuo 'i' se encuentre 'cerca' de un PAM y a una altura menor que el del PAM 'cercano'. X representa un conjunto de características de cada individuo, ϵ representa los errores del modelo. No existe un criterio para definir qué significa estar 'cerca' a un PAM, por lo que se proponen tres distancias (5, 10 y 15 kilómetros) y se espera que el efecto sea mayor a mayor cercanía. Debe resaltarse que el coeficiente de interés, al ser una interacción de variables 'dummies' debe interpretarse como la diferencia o comparación entre individuos 'cercanos' y ubicados por debajo de un PAM respecto a individuos 'cercanos' pero ubicados por encima de un PAM.

Existe multicausalidad en los desempeños de salud de niños menores de 5 años, al igual que en el valor de producción de pequeños productores. Por ese motivo, es importante elegir un conjunto de variables de control que la literatura especializada indique como relevantes a fin de tener estimadores insesgados; es decir, considerar otras variables que pueden ser explicativas sobre la salud y la producción agropecuaria. Para lograr este objetivo seguimos las especificaciones y variables de control de dos interesantes estudios, en los cuales se discute la importancia de incluir las variables mencionadas.

Para el caso de los indicadores de salud, seguimos a León et al. (2016), quienes estudian el efecto de la violencia doméstica en la salud de niños menores de 5 años. Los autores utilizan la base de datos ENDES y las mismas variables dependientes, por lo que su estudio representa un buen 'modelo' a seguir. Las variables dependientes son 'objetivas', en el sentido que se basan sobre mediciones antropométricas y no autorreportes o percepciones sobre salud, y son: i) índices estandarizados de mediciones alternativas de peso y talla, de acuerdo con criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS); ii) mediciones de hemoglobina y su derivación en condición de anemia. Por otro lado, las variables de control escogidas son características relevantes que también podrían explicar estos indicadores de salud: i) características del niño: edad en meses y sexo; ii) características de la madre: edad, escolaridad, condición laboral y condición conyugal; iii) características del hogar: resumidas en un índice de riqueza.

Por otro lado, para el caso de los indicadores agropecuarios, seguimos a Aragón y Rud (2015), quienes estudian el efecto de la contaminación aérea de la minería sobre la productividad agropecuaria en Ghana. El indicador agropecuario escogido es el valor de producción agropecuaria y la mejor forma de explicarlo es bajo un enfoque de función de producción, considerando los factores de producción utilizados: tierra, mano de obra (familiar y contratada) e insumos intermedios. Otras características relevantes son las referentes al productor agropecuario (sexo, edad, estado civil, nivel educativo, distrito de nacimiento) y a la unidad agropecuaria (superficie titulada, superficie bajo riego).

Aparte del modelo propuesto inicialmente, se realizarán modificaciones que incluyan ciertos efectos fijos para probar la robustez de los resultados. En particular, debe considerarse que hacemos uso de datos georreferenciados, por lo que es esperable

encontrar correlación espacial (Dell, 2010; Dell et al., 2014) que debe tenerse en cuenta al momento de discutir los resultados. Tradicionalmente, los estudios no han prestado mucha atención a este carácter, a pesar de que en presencia de correlación espacial, los estimadores obtenidos podrían ser insesgados e inconsistentes (Anselin, 2010; Lesage y Pace, 2014); ello debe tenerse en cuenta.

Presentamos dos especificaciones que suelen realizarse para corregir la correlación espacial, discutidos en Hsiang (2016) quien hace un recuento sobre los estudios econométricos sobre clima, contexto con alta correlación espacial. Una primera manera es agrupar los errores estándares a un nivel desagregado como el distrital (*clusterized standard errors*), y otra alternativa es presentar errores estándares siguiendo a Conley (1999). Siguiendo a Hsiang (2016), preferimos la primera alternativa (*clusterized standard errors*) debido a que con la segunda podría haber dificultades en estimar una matriz de varianza-covarianza bien definida (Hsiang 2016).

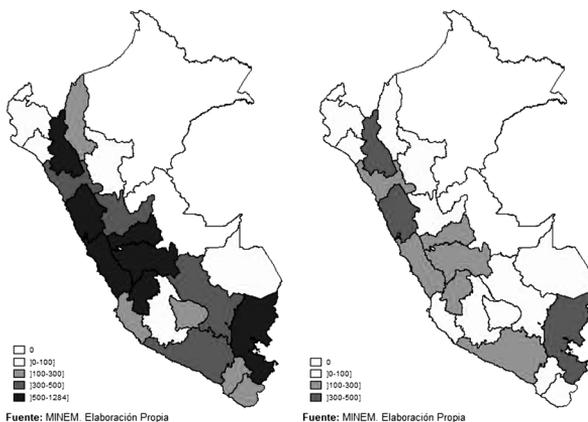
Análisis descriptivo

Ubicación de PAM

Como se ha mencionado, en el Perú existen 8854 PAM a lo largo de 21 departamentos. Los departamentos en los cuales no existen son Tumbes, Loreto y Ucayali. Estos pasivos incluyen infraestructura que no puede considerarse como contaminante, por lo que se hace una selección de un subgrupo de estos (ver sección anterior) y se obtienen 3021 PAM considerados como potencialmente contaminantes y dañinos. Los departamentos con mayor número de pasivos seleccionados son Cajamarca, Áncash y Puno, con más de 300 cada uno.

Figura 1

Mapas de Pasivos ambientales mineros (PAM) por departamento

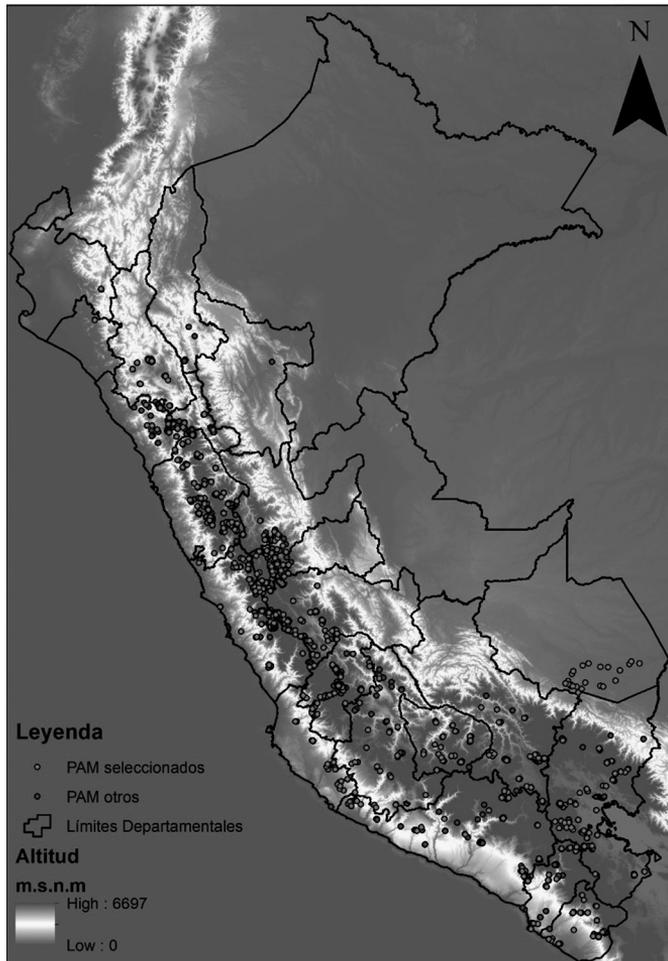


Mapa 1. PAM totales.

Mapa 2 PAM contaminantes.

Los mapas 1 y 2 proveen información interesante, aunque no muestran la distribución de los pasivos en el espacio de manera más detallada. En el Mapa 3 presentamos la ubicación de cada PAM en el espacio, con una capa previa que brinda información sobre la altura de estos. En este mapa, podemos rescatar que la mayoría de los PAM se encuentran en zonas altas, es decir la sierra peruana. Este resultado es esperable, debido a que los minerales, por motivos geológicos se encuentran en estas zonas (Zegarra et al., 2007). Del Mapa 3 se desprende una observación interesante que puede ser obviada en mapas como los anteriores mostrados: no todo el departamento se encuentra afectado por los PAM sino ciertos espacios particulares dentro de estos.

Figura 2
Mapa de ubicación de PAM y su altitud



Fuente: MINEM y SRTM. Elaboración propia.

Indicadores de salud

La fuente de información utilizada para analizar los indicadores de salud es la ENDES 2016, que entre otros indicadores provee indicadores objetivos sobre la salud de niños menores de 5 años. En la Tabla 1 presentamos los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas. Se puede notar que según distancia, los niños no tienen características totalmente diferentes.

Tabla 1.
Estadísticos descriptivos. ENDES 2016

Variables	Distancia 5 km			Distancia 10 km			Distancia 15 km			Distancia > 15 km		
	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd
Indicadores de resultado												
Hemoglobina	1724	11.06	1.20	3523	11.15	1.20	4811	11.18	1.21	7567	11.38	1.16
Anemia	1724	43.91	49.64	3523	40.70	49.14	4811	40.43	49.08	7567	33.53	47.21
Altura según edad	1846	-1.00	1.00	3770	-0.96	1.00	5149	-0.99	1.00	8083	-0.92	1.05
Peso según edad	1846	-0.31	0.98	3770	-0.22	1.01	5149	-0.23	1.01	8083	-0.10	1.08
Peso según altura	1846	0.36	0.96	3770	0.45	0.98	5149	0.46	0.98	8083	0.59	1.02
Desnutrición	1846	14.68	35.40	3770	13.66	34.35	5149	14.31	35.02	8083	14.82	35.53
Bajo Peso	1846	3.68	18.84	3770	3.18	17.56	5149	3.34	17.97	8083	2.98	17.01
Características niño												
Edad en meses	1865	29.91	16.53	3819	30.14	16.58	5223	30.14	16.66	8159	30.53	16.64
Sexo (=1 Mujer)	1865	0.47	0.50	3819	0.48	0.50	5223	0.48	0.50	8159	0.48	0.50
Características madre y hogar												
Años educación	1838	3.92	1.47	3751	3.94	1.47	5124	3.97	1.47	7980	4.01	1.49
Índice riqueza	1865	0.14	0.78	3819	0.18	0.88	5223	0.12	0.90	8159	0.03	0.97
Edad	1865	29.75	6.69	3819	30.06	6.83	5223	30.09	6.85	8159	30.06	7.05
Jefe de hogar	1865	0.13	0.34	3819	0.12	0.33	5223	0.12	0.32	8159	0.11	0.31
Tiene pareja	1865	0.85	0.36	3819	0.86	0.35	5223	0.86	0.35	8159	0.87	0.34
Trabaja	1865	0.53	0.50	3819	0.56	0.50	5223	0.57	0.50	8159	0.56	0.50

Indicadores de producción agropecuaria

La fuente de información utilizada para analizar los indicadores de producción agrícola es la ENAHO 2016, en particular el módulo de Productor Agropecuario, que entre otros provee indicadores de producción agropecuaria y factores de producción utilizados. En la Tabla 2 presentamos los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas. Se puede notar que según distancia, los hogares productores no tienen características totalmente diferentes.

Tabla 2
Estadísticos descriptivos. ENAHO 2016

Variables	Distancia 5 km			Distancia 10 km			Distancia 15 km			Distancia > 15 km		
	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd
Variables de resultado												
Prod. agrícola (Ln)	685	7.18	1.61	1850	7.19	1.62	3035	7.23	1.52	6497	7.53	1.62
Prod. pecuaria (Ln)	742	6.10	2.48	1925	6.08	2.54	3113	6.05	2.57	6608	6.09	2.42
# Ganado	742	2.27	1.62	1925	2.22	1.65	3113	2.21	1.65	6608	2.32	1.58
Prod. agropecuaria (Ln)	854	7.63	1.88	2172	7.76	1.75	3467	7.80	1.73	7406	7.96	1.75
Factores de producción												
Superficie agropecuaria (Ln)	854	-0.61	1.40	2172	-0.46	1.38	3467	-0.39	1.33	7406	-0.12	1.40
Gasto en L agrícola (Ln)	686	0.65	3.90	1855	0.82	3.89	3043	0.69	3.83	6508	1.01	4.08
L familiar	854	-1.89	1.01	2172	-1.79	1.09	3467	-1.74	1.14	7406	-1.81	1.07
Gasto en insumos agrícolas	686	6.11	1.63	1855	6.10	1.60	3043	6.12	1.54	6508	6.24	1.77
Gasto en L pecuario (Ln)	706	-1.80	2.04	1849	-1.92	1.74	2990	-1.99	1.56	6416	-2.09	1.28
Gasto en insumos pecuarios	706	5.65	1.57	1849	5.66	1.58	2990	5.67	1.57	6416	5.70	1.52
Gasto en L agropecuario	854	0.38	3.86	2172	0.55	3.85	3467	0.47	3.79	7406	0.70	4.01
Gasto en insumos agropecuarios	854	6.34	2.03	2172	6.46	1.86	3467	6.51	1.80	7406	6.68	1.81
Características hogar - Unidad agropecuaria												
Sexo (Mujer)	854	0.25	0.43	2172	0.24	0.43	3467	0.24	0.43	7406	0.19	0.39
Edad	854	55.06	14.59	2172	54.67	15.19	3467	54.50	15.38	7406	53.83	15.55
Edad 2	854	3244.82	1624.38	2172	3219.17	1702.47	3467	3206.67	1722.60	7406	3199.89	1736.95
Nació en mismo distrito	854	0.88	0.32	2172	0.91	0.29	3467	0.91	0.28	7406	0.88	0.33
% Tierra titulada	699	16.23	35.68	1884	14.74	33.97	3084	13.32	32.47	6587	14.85	34.53
% Tierra bajo riego	699	46.02	46.51	1884	50.44	46.31	3084	49.25	46.19	6587	42.23	46.40

Variables	Distancia 5 km			Distancia 10 km			Distancia 15 km			Distancia > 15 km		
	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd	N	Media	Sd
Estado civil												
Conviviente/Casado	854	0.71		2172	0.71		3467	0.71		7406	0.75	
Viuado	854	0.15		2172	0.15		3467	0.15		7406	0.13	
Separado/Divorciado	854	0.09		2172	0.09		3467	0.09		7406	0.08	
Soltero	854	0.05		2172	0.05		3467	0.05		7406	0.04	
Nivel educativo												
Sin nivel	854	0.21		2172	0.20		3467	0.19		7406	0.15	
Inicial	854	0.12		2172	0.15		3467	0.15		7406	0.16	
Primaria completa	854	0.28		2172	0.30		3467	0.32		7406	0.37	
Secundaria completa	854	0.39		2172	0.36		3467	0.34		7406	0.32	
Superior completa	854	0.15		2172	0.12		3467	0.11		7406	0.09	
Postgrado	854	0.01		2172	0.01		3467	0.01		7406	0.00	

Resultados

Los resultados obtenidos indican que la cercanía a un PAM afecta negativamente algunos indicadores de salud y de producción agropecuaria. Para la facilidad de lectura, presentamos el coeficiente de interés para tres bloques, el cual resulta de la interacción entre la cercanía y la altitud relativa, según la distancia definida. El coeficiente mostrado compara la diferencia entre quienes están ‘cerca’ y debajo del PAM con aquellos que están ‘cerca’ y encima de un PAM.

Indicadores de salud

Nuestra primera aproximación a los efectos de los PAM sobre el bienestar de personas cercanas es considerando indicadores de salud de niños menores a 5 años. En particular, elegimos siete indicadores: nivel de hemoglobina ajustado por altura, probabilidad de tener anemia (medida según el nivel de hemoglobina), los índices estandarizados de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para talla según edad (HA), peso según edad (WA) y peso según talla (WH), y la probabilidad de encontrarse desnutrido y bajo de peso (según los estándares de la OMS a partir de los índices de HA y WA).

El modelo principal considera las variables de control propuestas por León et al., (2016), efectos fijos a nivel de provincia y controles por el grado de pendiente del PAM ‘cercano’ y el centro poblado. En la Tabla 3 se muestra los resultados para las definiciones de ‘cercanía’ de 5, 10 y 15 kilómetros de distancia entre centro poblado y PAM. El coeficiente de interés es aquel sobre la interacción entre la definición de cercanía y la condición de que el PAM se encuentre a mayor altura que el centro poblado. En adelante llamaremos a la interacción ‘cercanía relativa’. Restringimos la muestra a aquellos centros poblados ubicados a menos de 100 kilómetros de un PAM y no consideramos Lima Metropolitana, por ser un caso particular.

Encontramos que el hecho que hallarse relativamente cerca de un PAM tiene efectos negativos en la altura y peso según edad de los niños menores de 5 años. Los niños que se encuentran a 5 kilómetros de un PAM tienen una altura para la edad menor en -0.121 desviaciones estándar y -0.110 desviaciones estándar en peso para la edad. Considerando una cercanía de 10 kilómetros, se obtiene -0.136 para altura según edad y -0.098 para peso según edad; y además que la probabilidad de encontrarse desnutrido aumenta en 5%. No se encuentran resultados significativos al considerar una distancia de 15 kilómetros. Los demás indicadores (hemoglobina, anemia, entre otros) no tienen significancia estadística; sin embargo, debe rescatarse que el coeficiente tiene un signo teóricamente esperable: positivo en la probabilidad de anemia, desnutrición y bajo peso, y negativo en hemoglobina y peso según altura.

Tabla 3.
**Resultados principales de cercanía y altitud relativa de un PAM
sobre indicadores de salud en niños menores de 5 años**

VARIABLES	Hemoglobina	Anemia	HA (OMS)	WA (OMS)	WH (OMS)	Desnutrido	Bajo peso
Cercanía: 5 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.0914 (0.0826)	1.879 (3.351)	-0.121* (0.0633)	-0.110* (0.0648)	-0.0406 (0.0659)	3.531 (2.574)	0.0121 (1.393)
Constante	10.13*** (0.0763)	72.82*** (3.147)	-1.093*** (0.0614)	-0.188*** (0.0629)	0.538*** (0.0636)	17.72*** (2.416)	3.165** (1.274)
R2	0.226	0.168	0.236	0.207	0.097	0.113	0.039
Cercanía: 10 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.00620 (0.0667)	1.477 (2.736)	-0.136*** (0.0525)	-0.0981* (0.0535)	-0.00338 (0.0540)	5.170** (2.152)	1.010 (1.156)
Constante	10.15*** (0.0776)	73.58*** (3.221)	-1.126*** (0.0629)	-0.211*** (0.0646)	0.539*** (0.0649)	19.12*** (2.502)	3.803*** (1.370)
R2	0.226	0.168	0.237	0.207	0.097	0.114	0.039
Cercanía: 15 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	0.0465 (0.0681)	-0.811 (2.782)	-0.0839 (0.0536)	-0.0656 (0.0533)	-0.00206 (0.0533)	3.534 (2.264)	0.537 (1.189)
Constante	10.17*** (0.0815)	72.23*** (3.330)	-1.105*** (0.0655)	-0.202*** (0.0667)	0.535*** (0.0666)	18.81*** (2.618)	3.492** (1.446)
R2	0.226	0.168	0.236	0.207	0.097	0.114	0.039
Observaciones	12,116	12,116	12,955	12,955	12,955	12,955	12,955
Controles Niño-Madre	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Controles pendientes	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Ef. Fijo Provincia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Nota: Errores estándares robustos entre paréntesis. *** 99% sig ** 95% sig * 90 % sig. Los controles niño-madre incluyen edad y sexo del niño, y edad, educación, condición laboral, condición conyugal, condición de jefe de hogar de la madre del niño. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

Como se mencionó, la validez de los resultados descansa en que estos sean robustos a especificaciones que consideren una posible correlación espacial. La Tabla 4 muestra la especificación que corrige la correlación espacial siguiendo a Conley (1999)⁴. Los resultados dejan de ser significativos. Por otro lado, la Tabla 5 muestra los resultados considerando la segunda forma de corregir la correlación espacial: errores agrupados. Bajo este último se mantienen los resultados encontrados en la especificación principal, aunque con menor significancia.

Tabla 4.

Indicadores de Salud. Errores estándar corregidos por correlación espacial - Conley (1999)

VARIABLES	Hemoglobina	Anemia	HA (OMS)	WA (OMS)	WH (OMS)	Desnutrido	Bajo Peso
Cercanía: 5 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.073	2.734	-0.156	-0.088	0.021	2.105	0.344
Err. Est	0.139	4.820	0.184	0.145	0.104	3.467	1.668
Cercanía: 10 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.084	3.727	-0.104	0.004	0.113	3.487	0.148
Err. Est	0.122	4.431	0.137	0.112	0.084	2.724	1.175
Cercanía: 15 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	0.033	-1.156	-0.064	0.036	0.126	2.904	-0.112
Err. Est	0.096	3.406	0.118	0.091	0.070	2.973	1.407
Observaciones	12,116	12,116	12,955	12,955	12,955	12,955	12,955

Nota: *** 99% sig ** 95% sig * 90% sig. Los controles niño-madre incluyen edad y sexo del niño, y edad, educación, condición laboral, condición conyugal, condición de jefe de hogar de la madre del niño. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

⁴ El método de Conley (1999) requiere gran intensidad computacional, por lo que la especificación propuesta se diferencia de la tabla principal al no incluir efectos fijos. Como el propósito es probar la influencia de la correlación espacial, no creemos que se generen complicaciones.

Tabla 5
Indicadores de salud. Errores estándar agrupados a nivel distrito

VARIABLES	Hemoglobina	Anemia	HA (OMS)	WA (OMS)	WH (OMS)	Desnutrido	Bajo Peso
Cercanía: 5 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.0914 (0.105)	1.879 (3.649)	-0.121 (0.0793)	-0.110* (0.0656)	-0.0406 (0.0594)	3.531 (2.941)	0.0121 (1.620)
Constante	10.13*** (0.0814)	72.82*** (3.208)	-1.093*** (0.0734)	-0.188*** (0.0688)	0.538*** (0.0668)	17.72*** (2.713)	3.165** (1.356)
R2	0.226	0.168	0.236	0.207	0.097	0.113	0.039
Cercanía: 10 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	-0.00620 (0.0810)	1.477 (3.107)	-0.136** (0.0623)	-0.0981* (0.0555)	-0.00338 (0.0533)	5.170** (2.377)	1.010 (1.216)
Constante	10.15*** (0.0855)	73.58*** (3.357)	-1.126*** (0.0765)	-0.211*** (0.0700)	0.539*** (0.0673)	19.12*** (2.832)	3.803*** (1.441)
R2	0.226	0.168	0.237	0.207	0.097	0.114	0.039
Cercanía: 15 kilómetros							
Cerca x Pam_alto	0.0465 (0.0816)	-0.811 (3.295)	-0.0839 (0.0637)	-0.0656 (0.0567)	-0.00206 (0.0585)	3.534 (2.523)	0.537 (1.279)
Constante	10.17*** (0.0890)	72.23*** (3.537)	-1.105*** (0.0799)	-0.202*** (0.0736)	0.535*** (0.0727)	18.81*** (3.076)	3.492** (1.584)
R2	0.226	0.168	0.236	0.207	0.097	0.114	0.039
Observaciones	12,116	12,116	12,955	12,955	12,955	12,955	12,955
Controles niño-madre	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Controles pendientes	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Ef. Fijo departamento	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Errores agrup. distrito	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Nota: Errores estándar robustos en paréntesis. *** 99% sig ** 95% sig * 90% sig. Los controles niño-madre incluyen edad y sexo del niño, y edad, educación, condición laboral, condición conyugal, condición de jefe de hogar de la madre del niño. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

Tener resultados significativos que agrupan errores, pero no considerar la corrección de Conley (1999), sugiere tomar los resultados con cuidado. El estudio más cercano con el cual discutir resultados es el de Goltz y Barnwal (2013), quienes encuentran que la cercanía de las unidades mineras aumenta la anemia y la desnutrición; sin embargo, no se evalúa si sus resultados son robustos a correlación espacial siguiendo a Conley (1999), pero sí cuando agrupan errores. Dadas las tablas mostradas, solo podremos decir que se tiene evidencia parcial del efecto de la cercanía de un PAM en indicadores de salud en niños menores de 5 años.

Indicadores de producción agropecuaria

La segunda manera de aproximarnos a los efectos de la contaminación de un PAM sobre el bienestar es analizando la producción agrícola y pecuaria de hogares productores agropecuarios cercanos a estas fuentes de contaminación. Particularmente, nos concentramos en cuatro indicadores bajo un enfoque de función de producción siguiendo a Aragón y Rud (2015), a fin de estimar el impacto en la productividad. Los indicadores son el valor de producción agrícola, el valor de producción pecuario, el número de ganado y la producción agropecuaria. Seguimos las definiciones sobre valor de producción de Escobal y Armas (2015), quienes corrigen valores atípicos en los precios de cada cultivo.

El modelo principal incluye los factores de producción y variables de control utilizadas en Aragón y Rud (2015). Particularmente, se consideran los factores de producción tierra (superficie agropecuaria), trabajo (familiar y asalariado) e insumos intermedios (gasto). Se consideran como variables de control características del jefe de hogar-productor: sexo, edad, edad al cuadrado, estado civil, nivel educativo y si es oriundo del distrito donde vive; características de la unidad agropecuaria: porcentaje de superficie con título de propiedad y superficie bajo riego; y, el grado de pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

En la Tabla 6 mostramos los resultados para las definiciones de ‘cercanía’ de 5, 10 y 15 kilómetros de distancia entre centro poblado y PAM. Al igual que el caso de salud, el coeficiente de interés es aquel sobre la interacción entre la definición de cercanía y la condición de que el PAM se encuentre a mayor altura que el centro poblado. Restringimos la muestra a aquellos centros poblados ubicados a menos de 100 kilómetros de un PAM y no consideramos Lima Metropolitana, por ser un caso particular.

Tabla 6.
**Resultados principales de cercanía y altitud relativa de un PAM
 sobre indicadores de producción agropecuaria**

VARIABLES	Producción agrícola	Producción pecuaria	Número de ganado	Producción agropecuaria
Cercanía: 5 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	-0.131 (0.0975)	-0.104 (0.207)	-0.196 (0.133)	-0.0400 (0.0748)
Constante	3.439*** (0.184)	1.897*** (0.347)	-0.440** (0.217)	3.467*** (0.161)
R2	0.570	0.226	0.265	0.622
Cercanía: 10 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	0.103 (0.0762)	-0.140 (0.151)	-0.232** (0.0964)	0.00940 (0.0531)
Constante	3.505*** (0.185)	1.868*** (0.349)	-0.467** (0.217)	3.481*** (0.162)
R2	0.571	0.226	0.266	0.622
Cercanía: 15 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	0.0512 (0.0651)	-0.0612 (0.139)	-0.159* (0.0882)	0.0343 (0.0483)
Constante	3.491*** (0.186)	1.897*** (0.352)	-0.457** (0.219)	3.493*** (0.162)
R2	0.570	0.226	0.266	0.622
Observaciones	9,532	8,328	8,328	9,671
Controles JH-UA	SI	SI	SI	SI
Controles pendientes	SI	SI	SI	SI
Ef. Fijo provincia	SI	SI	SI	SI

Nota: Errores estándar robustos en paréntesis. *** 99% sig ** 95% sig * 90% sig. Los controles JH-UA incluyen sexo, edad, estado civil, nivel educativo y distrito de nacimiento del jefe de hogar productor, y porcentaje de tierra con título y porcentaje con riego de la unidad agropecuaria. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

No encontramos efectos significativos en la productividad agrícola, pecuaria y agropecuaria, pero sí era esperable un valor negativo. Por otro lado, encontramos que el número de ganado es menor en unidades agropecuarias que se hallan relativamente cercanas considerando las distancias de 10 y 15 kilómetros. Las tablas 7 y 8 muestran los resultados al controlar una posible correlación espacial siguiendo a Conley (1999) y agrupando errores, respectivamente. Al agrupar errores el resultado para el número de ganado se mantiene a la distancia de 10 kilómetros; mientras que de la manera alternativa es significativa la menor cantidad de ganado en unidades agropecuarias cercanas a un PAM, en las tres distancias señaladas.

Tabla 7.

Indicadores de producción agropecuaria. Errores estándar corregidos por correlación espacial - Conley (1999)

VARIABLES	Producción agrícola	Producción pecuaria	Número de ganado	Producción agropecuaria
Cercanía: 5 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	-0.115	-0.106	-0.397**	-0.060
Err. Est	0.115	0.233	0.171	0.079
Cercanía: 10 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	-0.049	-0.190	-0.464***	-0.070
Err. Est	0.118	0.170	0.152	0.069
Cercanía: 15 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	-0.143	0.007	-0.280*	-0.025
Err. Est	0.101	0.211	0.162	0.064
Observaciones	9,532	8,328	8,328	9,671

Nota: *** 99% sig ** 95% sig * 90 % sig. Los controles JH-UA incluyen sexo, edad, estado civil, nivel educativo y distrito de nacimiento del jefe de hogar productor, y porcentaje de tierra con título y porcentaje con riego de la unidad agropecuaria. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

Tabla 8
Indicadores de producción agropecuaria. Errores estándar agrupados

VARIABLES	Producción agrícola	Producción pecuaria	Número de ganado	Producción agropecuaria
Cercanía: 5 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	-0.131 (0.114)	-0.104 (0.237)	-0.196 (0.164)	-0.0400 (0.0871)
Constante	3.439*** (0.208)	1.897*** (0.352)	-0.440* (0.226)	3.467*** (0.184)
R2	0.570	0.226	0.265	0.622
Cercanía: 10 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	0.103 (0.107)	-0.140 (0.172)	-0.232* (0.122)	0.00940 (0.0656)
Constante	3.505*** (0.199)	1.868*** (0.353)	-0.467** (0.227)	3.481*** (0.183)
R2	0.571	0.226	0.266	0.622
Cercanía: 15 kilómetros				
Cerca x Pam_alto	0.0512 (0.0924)	-0.0612 (0.160)	-0.159 (0.112)	0.0343 (0.0568)
Constante	3.491*** (0.198)	1.897*** (0.362)	-0.457** (0.228)	3.493*** (0.183)
R2	0.570	0.226	0.266	0.622
Observaciones	9,532	8,328	8,328	9,671
Controles JH-UA	SI	SI	SI	SI
Controles pendientes	SI	SI	SI	SI
Ef. Fijo Departamento	SI	SI	SI	SI
Errores Agrup. Distrito	SI	SI	SI	SI

Nota: Errores estándar robustos en paréntesis. *** 99% sig ** 95% sig * 90 % sig. Los controles JH-UA incluyen sexo, edad, estado civil, nivel educativo y distrito de nacimiento del jefe de hogar productor, y porcentaje de tierra con título y porcentaje con riego de la unidad agropecuaria. Los controles pendientes incluyen la pendiente del centro poblado y del PAM cercano.

A diferencia de Aragón y Rud (2015), no se determina que el encontrarse cerca de fuentes contaminantes tenga un efecto significativo en la productividad agrícola. Hay coincidencia con Del Pozo y Paucarmayta (2015) respecto al menor número de ganado. Ambos trabajos agrupan errores, mas no presentan los errores estándar corregidos siguiendo a Conley (1999). Los resultados mostrados permiten afirmar que si bien no se tiene evidencia sobre el efecto en productividad, si se tiene en menor número de ganado.

Conclusiones

Este estudio es una aproximación exploratoria sobre los efectos de la contaminación minera en el bienestar de poblaciones locales cercanas. Desde las ciencias sociales, la investigación sobre las actividades extractivas suele girar en torno al concepto de la maldición de los recursos naturales, a fin de verificar si esta teoría se cumple en contextos determinados y para variables de empleo e ingresos. Presentamos un concepto más amplio sobre la maldición de los recursos naturales y sostenemos que en un mismo espacio geográfico nacional pueden existir bendiciones y maldiciones, de manera no determinística.

En particular, nos concentramos en los potenciales efectos que los PAM pueden tener en la salud y la producción agropecuaria de las localidades cercanas a estos. Mediante la combinación de elementos de análisis espacial (utilizados en geografía) y análisis econométrico, se obtiene algunos resultados para discutir sobre la cercanía a pasivos ambientales mineros: a) los niños menores de 5 años tienen menor altura y peso según edad, así como mayor probabilidad de encontrarse desnutridos, aunque los resultados son parcialmente robustos; y b) los hogares productores agropecuarios tienen menor número de ganado, resultado robusto a correlación espacial.

Los estudios previos sobre el tema son pocos y no suelen considerar que, dado el carácter de los fenómenos estudiados, es necesario contrastar los resultados con métodos o especificaciones que consideren correlación espacial. Las limitaciones de datos no permiten un análisis más profundo como el de considerar la antigüedad de los pasivos y su nivel de contaminación. En conjunto, debido al carácter exploratorio del estudio y a las limitaciones de la información disponible, interpretamos los resultados como correlaciones más no en términos de causalidad. Instamos a la audiencia especializada a continuar produciendo investigación sobre los efectos de la contaminación minera.

Referencias bibliográficas

- Alexeev, M. y Conrad, R. (2009). *The elusive curse of oil*. *The Review of Economics and Statistics*, 91 (3), 586-598.
- Aragón, F., Chuhan-Pole, P. y Land, B. (2014). *The local economic impacts of resource abundance*. Manuscrito no publicado.
- Aragón, F. y Rud, J. (2013). *Natural resources and local communities: evidence from a peruvian gold mine*. *American Economic Journal: Economic Policy*, 5 (2), 1-25.
- Aragón, F. y Rud, J. (2015) *Polluting industries and agricultural productivity: evidence from mining in Ghana*. *The Economic Journal*, 126, 1980-2011.
- Auty, R. (1993) *Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis*. London: Routledge.

- Bebbington, A. (Ed.) (2012). *Social conflict, economic development and extractive industry: evidence from South America*. London: Routledge.
- Brollo, F., Nannicini, T., Perotti, R. y Tabellini, G. (2013). The political resource curse. *The American Economic Review*, 103 (5), 1759-1796
- Caselli, F. y Michaels, G. (2013). Do oil windfalls improve living standards? Evidence from Brazil. *American Economic Journal: Applied Economics*, 5 (1), 208-238.
- Collier, D., Hoeffler, A. (2005) Resource Rents, Governance and Conflict. *The Journal of Conflict Resolution*. 49 (4), pp. 625-633.
- Corden, W. y Neary, J. (1982). Booming sector and de-industrialisation in a small open economy. *The Economic Journal*, 92, 825-848.
- Conley, T. (1999). GMM estimation with cross sectional dependence. *Journal of Econometrics*. 92 (1), pp. 1-45.
- Cust, J. y Poelhekke, S. (2015). The local impacts of natural resource extraction. *Annual Review of Resource Economics*, 7, 251-268.
- Deaton, A. y Cartwright, N. (2016). Understanding and misunderstanding randomized controlled trials. National Bureau of Economic Research, working Paper no. 22595.
- Del Pozo, C., y Paucarmayta, V. (2014). *Impacto de la minería en la producción agropecuaria en el Perú, impactos heterogéneos y determinación de los canales de transmisión*. Lima: CIES - Concurso Anual de Investigación.
- Dell, M. (2010) The persistent effects of Peru's Mining Mita. *Econometrica*, 78 (6), pp. 1863-1903.
- Dell, M., Jones, B. y Olken, B. (2014) What do we learn from weather? The New Climate-Economy Literature. *Journal of Economic Literature*. Vol 52 (3) 740-798.
- Dufflo, E. y Pande, R. (2005) Dams. MIT Working Paper.
- Easterly, W. y Rose L., (2003) Tropics, Germs, and Crops: The Role of Endowments in Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 50(1), January 2003.
- Emel, J., Plisinski, J. y Rogan. J. (2014) Monitoring geomorphic and hydrologic change at mine sites using satellite imagery: The Geita Gold Mine in Tanzania. *Applied Geography* 54, pp. 243-249
- Ghose, M. (2010). Impact of mining on the female community: A perspective of female miners in the Indian context. *Minerals and Energy - Raw Materials Report* 19: 16-24.

- Glave, M. y Kuramoto, J. (2002) *Minería, minerales y desarrollo sustentable en el Perú*. Lima: GRADE.
- Graff-Zivin, J. y Neidell, M. Environment, Health, and Human Capital. *Journal of Economic Literature* 51, 689–730.
- Greenstone, M. Hornbeck, R. y Moretti, E. (2010) Identifying Agglomeration Spillovers: Evidence from Winners and Losers of Large Plant Openings. *Journal of Political Economy*, 118 (3), 536–598.
- Hanna, R. y Oliva, P. (2011). The Effect of Pollution on Labor Supply: Evidence from a Natural Experiment in Mexico City. Technical Report, National Bureau of Economic Research.
- Hendrychova, M. y Kabrna, M. (2016) An analysis of 200-year-long changes in landscape affected by large-scale surface coal mining: History, present and future. *Applied Geography*, 74, pp. 151-159.
- Herrera, P. y Millones, O. (2012) Aproximando el costo de la contaminación minera sobre los recursos hídricos: metodologías paramétricas y no paramétricas. *Economía* 35 (70) pp. 9-59.
- Hsiang, S. (2016) *Climate Econometrics*. NBER Working Paper.
- Kotsadam, A. y Tolonen, A. (2014) African Mining, Gender, and Local Employment. *World Development* 83, 325-339.
- Leite, C., y Weidman, J. “Does Mother Nature Corrupt? Natural Resources, Corruption, and Economic Growth,” IMF Working Paper, 1999, (99/85).
- León, J., Benavides, M. y otros (2016) *Los efectos de la violencia doméstica sobre la salud infantil de los niños y niñas menores de cinco años en el Perú*. Lima: GRADE: Documento de Trabajo 82.
- Loayza, N. y Rigolini, J. (2016) *The Local Impact of Mining on Poverty and Inequality: Evidence from the Commodity boom in Peru*. *World Development*. Elsevier, vol. 84 (C), 219-234.
- Marshall, F., Ashmore, M. y Hinchcliffe, F. (1997) A Hidden Threat to Food Production: Air Pollution and Agriculture in the Developing World. International Institute for Environment and Development London.
- Mcculloch, J. (2003). Women Mining Asbestos in South Africa, 1893-1980. *Journal of Southern African Studies* 29(2): 413-432.
- Menz, F. y Seip, H. (2004) Acid Rain in Europe and the United States: an Update. *Environmental Science & Policy* 7 (4), 253–265.

- Michaels, G. (2011) The Long Term Consequences of Resource-Based Specialisation. *The Economic Journal*, 121 (551), 31–57.
- Miller, J., (1988) Effects on Photosynthesis, Carbon Allocation, and Plant Growth Associated with Air Pollutant Stress,. En “Assessment of Crop Loss from Air Pollutants,” Springer, 287–314.
- Moretti, E. (2011) Local Labor Markets. *Handbook of Labor Economics*, 4, 1237-1313.
- Orihuela, J. (2017) Institutions and Place: Bringing Context Back into the Study of Resource Curse. *Journal of Institutional Economics*, 1-24, doi: 10.1017/S1744137417000236.
- Phelps, N., Atienza, M. y Arias, M. (2015). Encore the enclave: the changing nature of the industry enclave with illustrations from the mining industry. *Economic Geography*, 91 (2), pp 119-146.
- Phillips, J. (2016) Climate Change and Surface Mining: A review of environment-human interaction and their spatial dynamics. *Applied Geography*, 74, pp. 95-108.
- Rau, T., Reyes, L. y Urzua, S. (2015) Early Exposure to Hazardous Waste and Academic Achievement: Evidence from a Case of Environmental Negligence. *Journal of Association of Environmental and Resource Economists* 2 (4) pp. 527-563.
- Ross, M. (2013) *The Oil Curse: How Petroleum Wealth Shapes the Development of Nations*. Princeton University Press.
- Sachs, J. y Warner, A. (1995). Natural resource abundance and economic growth. National Bureau of Economic Research, Reporte técnico.
- Sachs, J. y Warner, A. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45 (4), 827-838.
- Ticci, E. y Escobal, J. (2015) Extractive industries and local development in the Peruvian Highlands. En *Environment and Development Economics*, 18 (6),1-26.
- Thorp, R., Battistelli, S., Guichaoua, Y., Orihuela, J. y Paredes, M. (2012). *The developmental challenges of mining and oil: lessons from Africa and Latin America*. Basingstoke: Palgrave McMillan
- Van Hoecke, E. (2006). The invisible work of women in the small mines of Bolivia. En *Women Miners in Developing Countries: Pit Women and Others*. Burlington, VT: Ashgate.
- Van der Ploeg, F. (2011). Natural resources: curse or blessing?. *Journal of Economic Literature*, 49 (2), 366-420

Valencia Areli (2016) Human Rights Trade-off in Times of Economic Growth. The Long-Term Capability Impacts of Extractive.Led Development. Palgrave.

WHO - World Health Organization- (2017) *Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment*. Suiza: WHO.