



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la Dinámica de Sistemas.

Pablo Esteban Londoño González

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de minas

Medellín, Colombia

2016

Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la dinámica de sistemas.

Pablo Esteban Londoño González

Tesis o trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería de sistemas

Director:

Santiago Arango Aramburo Ph.D

Codirector:

Antonio Romero Hernández Ph.D

Línea de Investigación:

Investigación de operaciones

Grupo de Investigación: IGNEA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2016

A todos los insensatos que creyeron en mí.

Resumen

El objetivo de esta investigación es evaluar políticas para fomentar los encadenamientos productivos asociados a la explotación de un mineral en una región minera de Colombia. Para realizar esto se revisó la literatura que explica el fenómeno de los encadenamientos y las experiencias internacionales en el desarrollo de políticas para los encadenamientos. Luego se desarrolló un modelo híbrido de Dinámica de Sistemas con matrices insumo producto, para evaluar dos políticas: fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social. Se concluyó que es necesario la intervención estatal para el fortalecimiento de la competitividad de la industria regional, a través de programas de financiamiento, capacitación y transferencia de conocimiento. Las políticas macroeconómicas deben estar articuladas con las políticas de desarrollo de encadenamientos, sin embargo, los efectos de la macroeconomía sobre el desarrollo de encadenamientos esta por fuera del alcance de esta investigación.

Palabras clave: Desarrollo económico, dinámica de sistemas, Desarrollo regional, encadenamientos productivos.

Abstract

The aim of this research is to assess policies to encourage economic linkages around the mineral exploitation in a region of Colombia. In order to do it we review the literature that explains the phenomenon of economic linkages and international experiences developing policies for the economic linkages. Then, we developed a hybrid model of System Dynamics and input output matrices to assess two policies: strengthening competitiveness and strengthening of social capital. We conclude that state intervention to strengthen the competitiveness of the regional industry is necessary, through financing, training programs and knowledge transfer. Macroeconomic policies must be coordinated with linkages policies, however, the effects of macroeconomics on the development of linkages is outside the scope of this investigation.

Keywords: Economic development, Dynamics Systems, Regional development, linkage,

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de ilustraciones	XI
Lista de tablas	XIII
Introducción	1
1. ¿Qué efecto tienen los encadenamientos productivos sobre el desarrollo económico de una región minera?	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Delimitación del problema.....	7
2. Marco teórico.....	9
2.1. Acerca de la teoría.....	9
2.2. Encadenamientos económicos	12
2.3. Acerca de la teoría.....	15
3. Experiencias en el desarrollo de encadenamientos	17
3.1. Experiencias en países desarrollados.	17
3.2. Experiencias en países en vía de desarrollo.....	21
3.3. Minería en Antioquia	25
3.4. Acerca de las experiencias internacionales.	27
4. Formulación del modelo	29
4.1. Metodología	29
4.2. Articulación del problema.....	30
4.3. Formulación de hipótesis dinámica.....	31
4.4. Modelo formal de simulación	34
4.5. Validación	45
5. Análisis de políticas	52
5.1. Escenario base.	53
5.2. Escenario de fortalecimiento de competitividad.....	58
5.3. Escenario de fortalecimiento de capital social.....	61
5.3.Fortalecimientodecompetitividaddcapital social.....	63
6. Conclusiones y recomendaciones.....	67
6.1. Conclusiones	67
6.2. Recomendaciones	69

X	Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la Dinámica de Sistemas.
---	--

A. Anexo: Ecuaciones del modelo.	71
---	-----------

Bibliografía	83
---------------------	-----------

Lista de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1: Estructura de matriz insumo producto simplificada (Avalos, Monroy, & Martínez, 2011).....	13
Ilustración 2: Producción histórica de oro en Antioquia (SIMCO, 2016).....	25
Ilustración 3: Tamaño de las empresas relacionadas a la industria minera en Antioquia (Cámara de comercio de Medellín, 2010).....	26
Ilustración 4: Proceso de modelación (Sterman, 2000).....	29
Ilustración 5: Encadenamientos del sector minero (Selemane & Jourdan, 2014).....	30
Ilustración 6: Diagrama causal minería.....	33
Ilustración 7: Diagrama de bloques del modelo.....	35
Ilustración 8: Capital social de compras.....	41
Ilustración 9: Capital social de ventas.....	43
Ilustración 10: Producción constante y encadenamientos hacia adelante y hacia atrás..	48
Ilustración 11: Producción cero, encadenamientos hacia adelante y hacia atrás.....	49
Ilustración 12: Análisis de sensibilidad de las proporciones de compra y venta regional con respecto a variaciones en la producción mineral.....	50
Ilustración 13: Proporciones de venta y compra regional en el escenario base.....	56
Ilustración 14: Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por sector.....	57
Ilustración 15: Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante con el sector manufacturero.....	58
Ilustración 16: Capacidad de transformación y producción regional, escenario fortalecimiento de competitividad.....	60
Ilustración 17: Proporciones de compras y ventas regionales, escenario de fortalecimiento de competitividad.....	61
Ilustración 18: capacidad de transformación y producción regional, escenario fortalecimiento de capital social.....	63
Ilustración 19: Proporciones de compra y venta, escenario de fortalecimiento de capital social.....	64
Ilustración 20: resumen de resultados de escenarios.....	65

XII Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la Dinámica de Sistemas.

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Empresas relacionadas al sector minero en Antioquia (Cámara de comercio de Medellín, 2010).....	26
Tabla 2: Escenarios de política.....	53
Tabla 3: Matriz insumo producto de Antioquia.....	53
Tabla 4: Matriz de multiplicadores de Leontief para Antioquia.....	54
Tabla 5: Ecuaciones de los encadenamientos hacia adelante.....	71
Tabla 6: Ecuaciones de los encadenamientos hacia atrás.....	75
Tabla 7: Ecuaciones de encadenamientos de impuestos y empleo.....	80

XIV Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la Dinámica de Sistemas.

Introducción

La relación entre desarrollo económico y la abundancia (y dependencia) de los recursos naturales dentro de una región ha sido tema de estudio desde los años 50 (Auty, 1993; Betz, Partridge, Farren, & Lobao, 2015; Bradbury, 1984; Innis, 1950; Nelles, 1975; Watkins, 1963). Algunos de estos estudios registran resultados positivos de desarrollo económico en una región a partir de la explotación de recursos naturales. La particularidad de estas regiones es que desarrollaron una industria alrededor de la explotación de recursos naturales. Esta industria alrededor de la explotación de los recursos naturales se encarga de desarrollar actividades proveedoras de insumos y equipos (encadenamientos hacia atrás), además de transformar los recursos con el fin de agregarles valor (encadenamientos hacia adelante).

Los estudios acerca de los encadenamientos son llevados a cabo principalmente a través de dos herramientas: las matrices input-output y las series de tiempo (Ortiz & Londoño, 2013; Villamil & Díaz, 2015). Los análisis con las matrices input-output tienen la fortaleza de que permiten observar el entramado de los encadenamientos a lo largo de toda la economía. Sin embargo, la matriz insumo producto tiene la debilidad de tener un carácter descriptivo, pues es una foto del estado de los encadenamientos en un punto del tiempo (TEILLERV, 1997). Además esta herramienta no permite planear y evaluar políticas de intervención con el fin de fomentar los encadenamientos.

Los estudios de los encadenamientos alrededor de los recursos naturales en Colombia (como los minerales y los hidrocarburos) han sido desarrollados con matrices insumo producto y análisis de series de tiempo. Por ejemplo en el trabajo de Ortiz y Londoño (2013) se desarrolla un análisis de los encadenamientos de la minería y los hidrocarburos a partir de una matriz de insumo-producto a nivel nacional. También están otros trabajos como los de que recopilan la magnitud de las transacciones de la minería con los demás sectores de la economía y analizan si la magnitud de producción mineral puede explicar las tasas de crecimiento de la economía (Gómez, 2013; Perry & Olivera, 2009; Perry & Palacios,

2012). Estos trabajos encuentran que los encadenamientos alrededor de la minería en Colombia están concentrados en productos y servicios de bajo valor agregado.

Los trabajos realizados en Colombia son importantes en el sentido de que nos permite ver los encadenamientos más importantes de la minería en un punto del tiempo. Sin embargo, estos tienen la debilidad de ser llevados a cabo con herramientas tradicionales (matrices insumo producto y series de tiempo), que no permiten analizar escenarios de evolución dichos encadenamientos. Estos estudios tampoco indagan por los factores que determinan la creación de encadenamientos. Aún más importante, estos estudios realizan recomendaciones de política, pero por ser llevados a cabo con herramientas tradicionales, no se puede realizar una evaluación del efecto de las políticas sobre los encadenamientos de la minería.

Con el fin de superar las carencias de los estudios de encadenamientos llevados a cabo con herramientas tradicionales, se propone un modelo híbrido de las matrices input-output con un modelo de Dinámica de Sistemas. Combinando estas dos herramientas se pretende extender el análisis estático de las matrices input-output, para analizar escenarios de evolución de los encadenamientos de la minería. Con el modelo de Dinámica de Sistemas se puede indagar por los factores que determinan la creación de encadenamientos; analizar sus consecuencias a nivel económico; y, evaluar políticas destinadas a fomentar los encadenamientos productivos alrededor de la explotación de un mineral, en una región de Colombia, considerando elementos de realimentación y retardos.

El modelo puede ser adecuado para ser apoyo a la toma de decisiones en ministerios, alcaldías y gobernaciones. Esto es posible ya que se puede observar que factores son más determinantes en la creación de encadenamientos. Por lo tanto esta investigación puede ser usada para estructurar la política pública concerniente al sector minero.

El siguiente documento está organizado así. En el capítulo 1 se esboza situación problemática, se hace una delimitación del problema y se definen los objetivos de la investigación. En el capítulo 2 se hace un repaso por la literatura que trata el desarrollo económico y su relación con los recursos naturales y con los encadenamientos productivos. En este capítulo también se explican las principales teorías que explican el fenómeno de los encadenamientos. En el capítulo 3 se hace un repaso de las experiencias

de desarrollo de políticas encaminadas a fortalecer los encadenamientos alrededor de la industria minera. En el capítulo 4 se muestra todo el proceso de desarrollo del modelo formal. En el capítulo 5 se muestran los resultados de la simulación de las distintas políticas propuestas por esta investigación. Finalmente en el capítulo 6 encontramos algunas conclusiones y recomendaciones producto del desarrollo de esta investigación.

1. ¿Qué efecto tienen los encadenamientos productivos sobre el desarrollo económico de una región minera?

En este capítulo se realiza una definición del problema de investigación. Para ello se realiza una revisión de los principales antecedentes en el tema del desarrollo económico y su relación con los encadenamientos productivos. Luego se finaliza con la definición del objetivo general de la investigación y los objetivos específicos.

1.1. Antecedentes

Existe un amplio debate acerca del rol de los recursos naturales – en nuestro caso nos referimos a recursos minerales – en el desarrollo económico de las regiones. Las posturas en esta discusión se pueden reducir a dos grandes grupos de opinión: los teóricos de la dependencia, que sostienen que la dotación y explotación de recursos naturales es un factor que ralentiza la economía de las regiones; y los teóricos de la ventaja comparativa, que sostienen que la dotación y explotación de los recursos naturales son factores que facilitan (o aceleran) el desarrollo económico de las regiones (Gunton, 2003). A continuación se hace una pequeña descripción de estas teorías, pero su evolución detallada se trata en el capítulo 2, el cual contiene el marco teórico.

La posición de los teóricos de la dependencia se basa en el trabajo de Innis, el cual se remonta hasta la década de los 40. En este trabajo se muestran algunos de los mecanismos mediante los cuales la dotación y explotación de recursos naturales ralentiza el desarrollo económico en las regiones. Entre estos contamos: la economías de las regiones con gran dotación de recursos naturales suele subordinarse a la explotación de los mismos, lo cual significa que son economías muy vulnerables a cambios de mercado y cambios macroeconómicos (Gómez, 2013; J. D. Sachs & Warner, 1997; Solano & Conde, 2011); la explotación competitiva de los recursos naturales suele ser intensiva en capital, por lo que esta explotación genera efectos pequeños en términos de generación de

empleo; la explotación de recursos naturales suele ser llevada a cabo por empresas extranjeras que poseen su propia red de trabajo, lo cual significa que la entrada en explotación de estos recursos no significan mayor dinámica en la economía regional a través de los encadenamientos (Bas & Kunc, 2009; Buitelaar, 2001; Dohnert, 2003; Gunton, 2003); la explotación de algunos recursos naturales, como los minerales, suele generar un impacto negativo sobre el capital natural de las regiones (Rincon, 2003; Salamanca et al., 2013).

La posición de los teóricos de la ventaja comparativa se basa en el trabajo de Makintosh, el cual también se remonta a la década de los 40. Para estos, la rapidez del progreso económico de una región depende de la capacidad de descubrir y desarrollar materias primas para su exportación. Los defensores de la teoría de la ventaja comparativa sostienen que es posible obtener efectos positivos de la dotación y explotación de recursos naturales, pero esto depende de la rapidez con que se genere el conocimiento necesario para crear una industria alrededor de los recursos. Esta industria alrededor de la minería se debe encargar de desarrollar actividades proveedoras de insumos y equipos, además de transformar los recursos con el fin de agregarles valor (David & Wright, 1995; Gunton, 2003; North, 1955; Ramos, 1999).

Regiones como Ontario-Canadá (Buitelaar, 2001; Cámara de comercio de Medellín, 2010) o Queensland-Australia (Ivanova, 2014) muestran como a partir de la minería se puede alcanzar un crecimiento económico sostenido. Las políticas de estas regiones tienen algunos elementos en común: ambas ponen énfasis en desarrollar la competitividad de los proveedores de insumos, maquinaria y servicios para la minería a través de programas de capacitación, de desarrollo de infraestructura y programas de mejoramiento de productividad; ambas tienen como objetivo desarrollar centros de investigación para el sector; ambas ponen énfasis en incrementar la producción de productos de mayor valor agregado a partir de los recursos minerales. Estas regiones han convertido la actividad minera en un factor que dinamiza la economía, a través de estas políticas que incentivan y fortalecen los encadenamientos a lo largo de la industria minera, y que facilitan la creación de clústeres para proveer servicios y productos especializados a la minería. En el caso latinoamericano se destaca el caso de la región de Antofagasta en Chile. La

política de fortalecimiento de encadenamientos se lleva a cabo a través del programa Proveedores de clase mundial. Este tiene como objetivo desarrollar la capacidad de los proveedores chilenos de la minería para exportar servicios intensivos en tecnología y conocimiento, y también para transferir su experiencia a otros sectores de la economía chilena y mundial (Fischer, 2012). Los casos de estas regiones se tratan con más detalle en el capítulo 3, en el cual se analizan distintas experiencias en el desarrollo de políticas de encadenamiento.

A partir del 2005 se comienza a observar el interés del gobierno colombiano por mejorar los encadenamientos alrededor de la minería. Esto se evidencia en acciones como el proyecto para el mejoramiento de la competitividad del sector joyero en Colombia (Artesanías de Colombia, 2005). También se evidencia en el texto de planeación minera *Colombia País Minero - Plan Nacional para el Desarrollo Minero visión 2019*, donde se hace énfasis en la importancia de los encadenamientos (UPME, 2006). Sin embargo, en estudios de encadenamientos más exhaustivos, como el llevado a cabo por (Ortiz & Londoño, 2013), se evidencia que los encadenamientos de la minería se encuentran concentrados en actividades de bajo valor agregado. El 31% del consumo intermedio de la minería en el país fue por servicios de transporte y mantenimiento, mientras que las manufacturas (que incluye productos químicos, de caucho y plástico, productos metalúrgicos, maquinaria y equipo) solo representan el 16% del consumo intermedio.

El hecho de que no se logren establecer encadenamientos con gran valor agregado (tanto hacia atrás como hacia adelante), implica que en las regiones mineras no se aproveche el potencial de desarrollo económico que podría generar la explotación de un mineral. Esto significa que las comunidades no perciben la riqueza de los minerales que son explotados en sus regiones, pero si sufren las consecuencias negativas asociadas a esta explotación –tanto las consecuencias ambientales como las económicas– situación que pone en riesgo la sostenibilidad del negocio minero en el país (Salamanca et al., 2013).

1.2. Delimitación del problema.

Dentro de este contexto, hay una necesidad de llevar a cabo una investigación que estudie los encadenamientos alrededor de la minería con el fin de proponer políticas para su

fortalecimiento. Por eso nosotros proponemos el desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas, con el cual se pueda estudiar la evolución de los encadenamientos bajo distintos escenarios, en una región minera de Colombia. Utilizando esta metodología podemos superar la debilidad de estudios como los llevados a cabo por (Gutiérrez-rodríguez, 2015; Ortiz & Londoño, 2013), que tienen un carácter descriptivo, puesto que son la foto de los encadenamientos de la minería en un punto en el tiempo. Además, los modelos de dinámica de sistemas tienen la ventaja de servir como una plataforma de experimentación (Stermán, 2000), para proponer políticas y evaluar su resultado sobre la evolución de los encadenamientos (lo cual no se puede hacer con las herramientas tradicionales con las que se estudia este fenómeno).

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar políticas para fomentar los encadenamientos productivos asociados a la explotación de un mineral en una región minera de Colombia

1.3.2. Objetivos específicos.

- I. Revisar la bibliografía de encadenamientos productivos de recursos naturales y de desarrollo económico a partir de los mismos.
- II. Construir un modelo de simulación que represente la explotación de un mineral en una región junto con sus encadenamientos productivos.
- III. Evaluar los efectos de los encadenamientos productivos sobre la economía de una región.
- IV. Evaluar políticas encaminadas a fomentar los encadenamientos alrededor de la explotación de un mineral en una región de Colombia.

2. Marco teórico

En este capítulo se realiza la revisión bibliográfica. Primero se procede a realizar una revisión del concepto de desarrollo económico, su evolución y relación con los recursos naturales. Luego se revisa el concepto de encadenamiento económico, las principales teorías que explican este fenómeno y su relación con el desarrollo económico de una región.

2.1. Acerca de la teoría

Existe un consenso más o menos generalizado acerca de la génesis del concepto de *desarrollo* como lo concebimos hoy en día. Muchos economistas del desarrollo se refieren al 20 de enero de 1949 como el día del nacimiento del concepto de desarrollo, cuando en su discurso el presidente Truman dice:

Más de la mitad de la población del mundo vive en condiciones cercanas a la miseria. Su alimentación es inadecuada, es víctima de la enfermedad. Su vida económica es primitiva y está estancada. Su pobreza constituye un obstáculo y una amenaza tanto para ellos como para las áreas más prósperas. ... Lo que tenemos en mente es un programa de **desarrollo** basado en los conceptos del trato justo y democrático... producir más es una aplicación mayor y más vigorosa del conocimiento técnico y científico moderno (Truman, 1964).

Con este discurso el presidente Truman inaugura la primera etapa de la evolución del concepto de *desarrollo*. Durante la primera década del *desarrollo* este es concebido como un concepto netamente económico. Como consecuencia las discusiones en esta época giraban alrededor de la industrialización y del crecimiento del producto nacional. En esta época el PIB (y el PIB per cápita) se consolida como la herramienta de medición del *desarrollo*.

A partir de la década de los sesenta la agenda del desarrollo comienza a introducir factores de corte social como la distribución de la riqueza. Así, en 1960 el Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social declararía que “el

desarrollo social ‘era una precondition del crecimiento económico y en parte...la justificación moral de éste” (W. Sachs, 1996).

En la década de los 70 se comienza a introducir las problemáticas ambientales asociadas al desarrollo económico. Esta introducción fue concretada con la conferencia sobre el medio humano llevada a cabo en 1972 en Estocolmo. En esta época también surgen corrientes importantes del pensamiento económico ambiental asociadas al primer informe del Club de Roma y a las tesis de los límites físicos del crecimiento (Pierri, 2005).

Esta tendencia se termina de configurar en la década de los 80 en la cual se destaca el informe de Brundtland llamado *Only One Earth: the Care and Maintenance of a Small Planet*. Con este se conforma la corriente del ambientalismo moderado que considera posible la conjunción del desarrollo económico y la conservación del medio ambiente (Pierri, 2005). En contraposición se crean las escuelas más estrictas de la sostenibilidad dura (como los ecologistas conservacionistas) que consideraban que debido a la imposibilidad de sustituir el capital natural y social de las regiones, por capital de tipo físico, económico y humano, el crecimiento económico es contrario al cuidado del medio ambiente. Desde estas escuelas más estrictas se propone el crecimiento cero de la economía o inclusive el decrecimiento de la misma.

Finalmente en la década de los 90 se termina de constituir el desarrollo económico como un concepto integral que incluye tanto factores económicos como factores sociales (en cuanto a la distribución de la riqueza) y factores ambientales. En concordancia con esta concepción, se desarrollan herramientas de medición que reemplazan al PIB como indicador del desarrollo. Por ejemplo el HDI (Human Development Index) que busca la medición del *desarrollo económico* a partir de tres factores: educación, esperanza de vida, y PIB per cápita. A pesar de estos intentos, la idea generalizada que equipara el *crecimiento económico* con el *desarrollo económico* sigue siendo bastante común.

Paralelo a la evolución del concepto de desarrollo económico, surge la discusión acerca del rol de los recursos naturales en el desarrollo de las regiones. La literatura que documenta esta discusión puede ser clasificada en términos temporales (esta clasificación no pretende ser exhaustiva solo es una forma presentar la evolución de la controversia alrededor del desarrollo económico regional a partir de los recursos naturales).

La primera parte de la literatura que relaciona el desarrollo económico con la explotación (y dependencia) de los recursos naturales comprende los trabajos hechos entre 1940-1990. La visión preponderante de los investigadores respecto a la relación entre la abundancia de recursos naturales y el desarrollo económico era optimista, en el sentido de que hallaban en estos recursos una oportunidad para dar arranque al desarrollo económico de las regiones (Hirschman, 1957; Innis, 1950; North, 1955; Scott, 1962). Estos autores concebían el desarrollo económico como un proceso lineal. Por ejemplo North con su esquema de desarrollo en el cual se pretendía que las regiones con abundantes recursos utilizaran estos para su abastecimiento y para el intercambio; luego se moverían hacia la producción y a crecer en términos de población debido a la demanda de mano de obra; y, finalmente se moverían hacia el sector de los servicios.

Una corriente minoritaria consideraba a la abundancia de recursos naturales un factor que ralentiza el desarrollo. Esta corriente (conocida como los estructuralistas) era liderada por el economista Raul Prebisch. Este hacía énfasis en la diferencias entre las productividades de las regiones periféricas (o sub desarrolladas) y las centrales (o mundo desarrollado), y el efecto de estas productividades sobre las tendencias de largo plazo de los precios de los recursos naturales en comparación con las manufacturas. Este autor también inicia un debate acerca de la importancia de la estructura de la demanda y del comercio internacional sobre el desarrollo (Prebisch, 1949).

La segunda parte de la discusión del rol de los recursos naturales en el desarrollo arranca entre finales de los años 80 y principio de los 90. En esta época hay un cambio de paradigma con respecto al papel que juegan los recursos naturales en el desarrollo económico de las regiones; el nuevo paradigma es más pesimista. Esto sucede debido a que (Auty, 1993) acuña por primera vez el término “maldición de los recursos” y luego (J. D. Sachs & Warner, 1997) logran probar que las tasas de crecimiento de los países con abundantes recursos naturales son menores que las tasas de crecimiento de los países sin los mismos. A partir de allí se han llevado a cabo múltiples trabajos para probar la tesis de la maldición de los recursos naturales en distintos lugares (Auty, 1995, 2002; J. D. Sachs & Warner, 2001). También se han estudiado los mecanismos mediante los cuales se manifiesta la maldición de los recursos, como los enfoques del comportamiento, de las instituciones y de la enfermedad holandesa (Rosser, 2006; Solano & Conde, 2011).

La tercera clasificación tiene un límite temporal difuso, pues entre los años 2000-2003 los investigadores se dejaron de interesar en probar la tesis de la maldición de los recursos naturales y se comenzaron a interesar más en responder a la pregunta ¿Qué condiciones hacen que una región caiga en la maldición de los recursos naturales? (Wright & Czelusta, 2002a, 2002b, 2003, 2004). A partir de allí hasta la actualidad se han generado gran cantidad de trabajos que indagan por diferentes aristas de la maldición de los recursos naturales.

Trabajos importantes en esta última ola son los llevados a cabo por (Morris & Fessehaie, 2014; Morris, Kaplinsky, & Kaplan, 2011; Sinnott, Nash, & Torre, 2010; Söderholm & Svahn, 2015; United Nations, 2013) los cuales se enfocan en el desarrollo basado en recursos naturales para distintas regiones. Una particularidad importante de estos trabajos es que en ellos se comienza a resaltar la importancia de fortalecer el entramado económico local y regional a través de los encadenamientos (hacia atrás y hacia adelante). También se comienzan a resaltar las dificultades que se tienen para consolidar encadenamientos, debido a problema de disponibilidad de capital humano, social y financiero (Aroca, 2001; Bloch & Owusu, 2012; Ebert & La Menza, 2015; Lydall, 2009; Mjimba, 2011; Morris & Fessehaie, 2014; Pardo & Ortiz, 2010; Rehner, Baeza, & Barton, 2014).

2.2. Encadenamientos económicos

A continuación esbozamos los principales elementos de las teorías que intentan explicar el fenómeno de los encadenamientos económicos. Estas serán utilizadas como base para desarrollar el modelo de dinámica de sistemas en el capítulo 4.

- **Teoría de los encadenamientos:** Muestra como en un determinado sector económico, a partir de un umbral mínimo de producción, la inversión en un sector económico ligado al susodicho se vuelve atractiva (Hirschman, 1957).

Según (Hirschman, 1957), el encadenamiento se define como un proceso mediante el cual los nuevos ingresos de un producto primario lleva al aumento de la producción doméstica. Este concepto se extiende también a los beneficios fiscales y de empleo que generan estos aumentos en la producción doméstica.

El proceso de encadenamiento no se da espontáneamente. Este depende en buena parte de las capacidades (en términos de capital humano, financiero y físico) que tengan las regiones (Bloch & Owusu, 2012; Dohnert, 2003; Morris et al., 2011). Por lo tanto es indispensable el trabajo conjunto del estado y de las grandes empresas en temas como promoción de emprendimientos, transferencia de conocimiento, acceso a capital y promoción de la capacitación.

Paralelo al trabajo de Hirschman en la década de los 50 se desarrolla la herramienta por excelencia para estudiar y medir el imbricado de la economía, la cual se sigue utilizando hasta el día de hoy: la matriz de insumo-producto, desarrollada por Wassily Leontief. “El modelo básico insumo producto busca encontrar una relación entre las industrias de tal manera que permita conocer los consumos que realiza cada industria de las otras con el objetivo de producir un determinado bien” (SUÁREZ, 2007). O en palabras de Leontief: “las cantidades que figuran en las filas indican la manera como la producción de cada uno de los sectores de la economía se distribuye entre los demás. Recíprocamente, las cantidades que figuran en las columnas indican los insumos de bienes y servicios que cada sector recibe de los demás” (LEONTIEF, 1951).

El parámetro a_{ij} representa las transacciones del i-esimo sector con el j-esimo. La representación gráfica de la matriz insumo producto se puede apreciar en la Ilustración 1. Cabe mencionar que las filas de la matriz representan las ventas que hace cada sector, mientras que las columnas representan las compras que realiza cada sector a los demás.

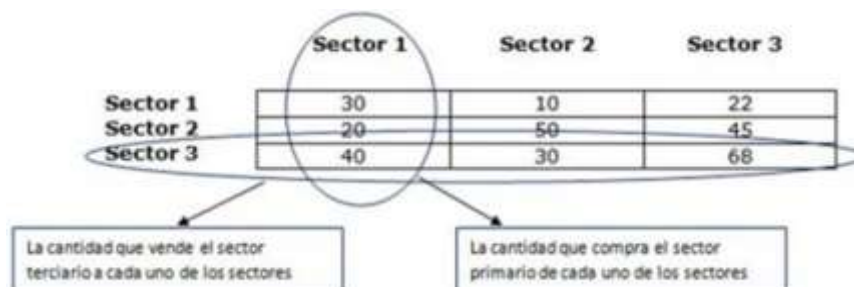


Ilustración 1: Estructura de matriz insumo producto simplificada (Avalos, Monroy, & Martínez, 2011).

La matriz insumo-producto busca registrar todas las transacciones entre los distintos sectores de la economía, pues esta no fue desarrollada específicamente para el sector minero. Esta matriz no solo registra las transacciones entre los distintos sectores económicos, sino que también, a partir de esta, se desarrolla la matriz de multiplicadores de Leontief (la cual es la matriz inversa de la matriz de transacciones). La matriz de multiplicadores representa la interdependencia entre los sectores, puesto que un aumento en la producción de un sector tiene dos efectos: un efecto de arrastre (encadenamientos hacia atrás) en la forma de un aumento de demanda de insumos; y un efecto de empuje (encadenamientos hacia adelante) en la forma de un aumento en la oferta de dicho sector como insumo para los demás sectores (Schuschny, 2005).

La matriz insumo producto fue desarrollada inicialmente para evaluar los encadenamientos a nivel nacional. Sin embargo, con el tiempo se empezó a ver la necesidad de ver el detalle de los encadenamientos a nivel regional y local. Para dar solución a estos problemas se han considerado dos opciones: llevar a cabo el trabajo de campo (encuestas) para recolectar la información correspondiente a los encadenamientos regionales; y, estimar estos a partir de la información de escala nacional (Fuentes, 2005).

Debido a los cuantiosos costos asociados al método de trabajo de campo, se opta por utilizar el método de estimación de matrices regionales a partir de la matriz nacional, llamado coeficiente de localización o procedimiento RAS. Se elige este, debido a que es la metodología más utilizada para la estimación de la matriz regional, además de ser el método con menos requerimientos de información (Bonet, 2005; Chisari, Maquieyra, & Miller, 2012). “El RAS se considera un método matemático de optimización que tiene como restricciones los totales por columnas y filas (vectores límites) de la matriz de transacciones intermedias” (SUÁREZ, 2007).

En términos prácticos solo se necesita conocer la Producción Bruta, el Valor Agregado Total y la Demanda Final por actividad económica de la región para llevar a cabo la estimación. Aunque existen trabajos como el de (Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007), en el cual solo se posee la información del valor agregado, y se construye a partir de este la información de producción total y demanda final, ambos por actividad económica.

- **Teoría de la interacción y los distritos industriales:** Pretende explicar la especialización económica de las regiones (Sforzi, 2008).

Este intenta explicar la formación de los encadenamientos productivos a través de factores más sociales (como la cultura) que terminan por tener efectos económicos. Está sustentada principalmente por el trabajo de Marshall y el posterior desarrollo de este trabajo en el análisis de los distritos italianos realizado por autores como Becattini (Becattini, 2006).

Alfred Marshall con su teoría de distritos industriales fue el que señaló los beneficios de la interacción geográfica entre las empresas. Entre estos beneficios contamos la disponibilidad de algunos bienes públicos, como servicios de energía y de infraestructura (como calles y trenes). También la disponibilidad de mano de obra especializada; esta posibilidad de movilidad laboral y la cercanía geográfica facilita la transferencia de conocimiento y reduce los costos de transacción. Finalmente la aglomeración lleva a la especialización de los negocios, lo que tiene un impacto positivo sobre la innovación.

Becattini señala la importancia de los factores sociales en el desarrollo de los distritos y en su éxito alcanzando los beneficios señalados por Marshall. En palabras de Becattini las políticas de distrito productivo deben “combinar sinérgicamente las medidas orientadas a acelerar el crecimiento del aparato productivo privado con aquellas dirigidas, en definitiva, al mismo objetivo, pero pasando por una mejora de la cohesión social y del bienestar en los lugares en los que vive y trabaja la gente” (Becattini, 2006).

La particularidad de los distritos que estudia Becattini es que estaban conformados por pequeñas y medianas empresas, de corte familiar mayoritariamente “unidas entre sí por una misma cultura (incluso por vínculos familiares o amistosos) así como por dinámicas endógenas de desarrollo y por una estrecha colaboración entre las comunidades locales y las empresas” (Sforzi, 2008).

2.3. Acerca de la teoría

En este capítulo se intentó dar un vistazo a la evolución de la discusión acerca del rol que juegan los recursos naturales en el desarrollo económico. Primero se mostró como desde

los años cincuenta el concepto de desarrollo económico evoluciono desde un paradigma econo-centrista (desarrollo económico igual a crecimiento económico) hacia un paradigma más integral que considera factores ambientales, sociales y humanos.

También se mostró como el estudio de la relación de los recursos naturales con el desarrollo económico evoluciono. Primero los estudios solo se hacían a nivel país; por lo tanto las explicaciones del desempeño económico de los países con abundantes recursos naturales son de tipo macroeconómico (como la enfermedad holandesa – revaluación del tipo de cambio). Luego, los estudios se comenzaron a enfocar en el nivel regional arrojando dos conclusiones principales: los encadenamientos son muy importantes si se quiere alcanzar el desarrollo económico a partir de los recursos minerales; los encadenamientos dependen en buena medida de la disponibilidad de capital humano, social, físico y financiero que tengan las regiones con abundantes recursos.

Habiendo observado la evolución de estos conceptos, en este trabajo se utiliza: una visión integral del desarrollo económico (a pesar de que solo se evalúan los efectos económicos de los encadenamientos); una escala de estudio regional que no considera los efectos macroeconómicos. También se utilizan las teorías de Hirshman y de Beccatini. La primera se utiliza porque permite ver la minería dentro de una red (o sistema) de interdependencias económicas con los demás sectores, esto con la ayuda de las herramientas desarrolladas por Leontief. La segunda nos permite tener en cuenta el efecto de los factores sociales sobre la reducción de costos de transacción y la creación de encadenamientos.

3. Experiencias en el desarrollo de encadenamientos

En este capítulo se tratan las experiencias internacionales en desarrollo de políticas encaminadas a fomentar y fortalecer los encadenamientos alrededor de la industria minera a nivel regional, las cuales fueron mencionadas en el capítulo 1. Este capítulo está dividido en las experiencias de regiones de países desarrollados y en regiones de países en vía de desarrollo. Esta división es efectuada debido a las particularidades que tienen los países en vía de desarrollo (escaso capital social, humano, físico y financiero), lo cual hace que el enfoque de políticas llevadas a cabo difieran significativamente. También se hace un repaso por las cifras de la minería en la región de Antioquia y por las políticas para incentivar los encadenamientos de la industria. Al final del capítulo se hace una síntesis de las enseñanzas del análisis de políticas internacionales para fomentar los encadenamientos.

3.1. Experiencias en países desarrollados.

Queensland, Australia

Esta región de Australia ha sustentado gran parte de su desarrollo en la explotación de sus recursos naturales, en especial, sus recursos minerales. El sector minero de Australia es intensivo en conocimiento; solamente durante la década de los 90 los ingresos por la propiedad intelectual minera crecieron de 40 millones a 1,9 billones de dólares; la industria minera gasto en promedio (durante 1996) 896 dólares en entrenamiento, mientras el promedio de todas las industrias fue de 185 dólares (Wright & Czelusta, 2002b).

A pesar de estos números positivos, ha habido críticas debido a la falta de diversidad económica de la que sufre la región y de los escasos encadenamientos locales que esta industria generaba (Ivanova, 2014). En respuesta a estas críticas el concejo de recursos

de Queensland (QRC por sus siglas en inglés) lanzó *Queensland Resources and Energy Sector Code of Practice for Local Content*. Este es un documento creado para asistir a las compañías mineras en el diseño de acciones que permitan a la industria local competir para proveer bienes y servicios a los grandes proyectos en sus fases de construcción y operación (The Queensland Resources Council, 2013a, 2013b).

El código tiene la particularidad de ser una iniciativa liderada por las grandes empresas y no por el estado. Su principio dicta: “de acuerdo con un régimen voluntario auto-regulatorio; brindar completa, justa y razonable oportunidad a la industria local para competir para proveer bienes y servicios a los grandes proyectos” (The Queensland Resources Council, 2013a, 2013b). En este código se consignan elementos clave para el desarrollo de una estrategia de contenido local; elementos clave para llevar a cabo programas de construcción de capacidades; y, elementos clave para monitorear y evaluar dichas estrategias. El código busca solucionar los problemas de asimetrías de información que tienen las empresas locales.

Una parte importante de este texto es que señala los múltiples beneficios que trae desarrollar una fuerte red local de proveedores: mejoras en disponibilidad y tiempos de entrega; mejoras en la predictibilidad de las provisiones; reducción de inventarios y costos logísticos; facilidad de la comunicación; fortalecimiento de la licencia social de la compañía (The Queensland Resources Council, 2014).

Para el periodo 2013-14, 46 compañías se acogieron al código. Estas procuraron aproximadamente 43 billones de dólares (en gastos operativos y de capital) de los cuales 29 billones (es decir el 68%) fueron comprados a vendedores ubicados en Queensland. Esto en términos directos, pues en términos indirectos se estima que este flujo de recursos respalda la creación de casi 500000 empleos (The Queensland Resources Council, 2014).

Otro elemento clave en la política de Queensland tiene que ver con la captación y locación de recursos. Esto se debe a que las compañías mineras deben pagar regalías que son administradas a nivel local y que suelen invertirse en educación y capacitación, mejoras en el sistema de salud, construcción de infraestructura, construcción de independencia económica y sostenimiento la cultura local (Söderholm & Svahn, 2015).

Agder, Noruega

Noruega es otra economía que ha basado su desarrollo en la explotación de recursos naturales, en especial los hidrocarburos. Hoy esta industria es la más importante del país en términos de exportaciones y creación de valor. Pero para sustentar su desarrollo a partir de los recursos petroleros este país tuvo que desarrollar una industria competitiva que se encargue de proveer servicios y bienes a las empresas explotadoras. Hoy esta industria emplea a más de 85000 personas en todo el país (Heum, 2008; Wright & Czelusta, 2002b).

Una región de Noruega que sobresale es la región de Agder, la cual cuenta con un clúster de provisión de equipamientos con cerca de 50 firmas, ocupando aproximadamente 8000 personas y con un volumen de negocios que ronda los 6 billones de dólares. Esta región se especializa en la provisión de equipamiento para la industria petrolera, ganando el liderazgo en algunos nichos de mercado intensivos en conocimiento como: los sistemas de perforación, sistemas de anclaje y de carga, y grúas especializadas para esta industria (Isaksen & Karlsen, 2012).

Para llevar a cabo esto, el gobierno noruego ha combinado políticas de tipo macroeconómico y microeconómico. A nivel macroeconómico la política noruega ha sido bastante exitosa, tanto así que distintos países con abundantes recursos naturales (como Chile y Botswana) la han copiado. Su política consistía en la creación de un fondo de estabilización, donde se recogen las ganancias extraordinarias fruto de las fluctuaciones de los precios internacionales de los commodities. Esta política fue muy importante, pues le da estabilidad a los ingresos petroleros, los cuales suelen ser muy variables debido a los cambios del precio. Esta estabilidad permite mantener los gastos estatales durante las etapas contractivas del precio. También protegió al país de la revaluación del tipo de cambio que acompaña las etapas expansivas del precio, lo cual era muy importante para mantener la competitividad de la industria noruega, en el sentido de que este país se especializó, más que en la explotación de petróleo, en la provisión de equipamientos y servicios para esta industria (Auty, 2001; Solano & Conde, 2011).

A nivel meso y microeconómico, las políticas se han concentrado en la construcción de capital humano y social. Entre las políticas llevadas a cabo se destaca la política de contenido local. Esta, tal como la política australiana, busca dar posibilidad de competencia a la industria local para proveer los bienes y servicios que requiere la industria petrolera.

Sin embargo, la política noruega es un poco más estricta, en el sentido de que parte de los requerimientos para obtener una concesión de explotación es la presentación de un plan que mejore la competitividad de la industria proveedora local. Los costos de llevar a cabo dicho plan son deducibles de impuesto, lo cual sirve para motivar a las grandes empresas (Heum, 2008).

Ontario, Canadá

Esta región ha alcanzado un grado considerable de diversificación económica en torno a la extracción de minerales, además de ser centro de una amplia gama de actividades de carácter gubernamental, empresarial, o relacionadas con la salud y la educación (Buitelaar, 2001). Tal como en las regiones de Australia y Noruega, esta ha logrado esto, poniendo un énfasis especial en desarrollar industrias intensivas en conocimiento e innovación alrededor de la minería.

Las políticas de Ontario para desarrollarse a partir de la minería tienen cinco ejes: desarrollo de conocimiento geológico; desarrollo de infraestructura; apoyo a la comercialización internacional; educación; y apoyo general a la aglomeración (Buitelaar, 2001).

Un ejemplo de política es la conocida como *operation trasure hunt*. En esta se busca ampliar la base de información pública geológica que sirva de base el desarrollo de proyectos mineros. Por ejemplo el descubrimiento de petalitas y pegmatitas por el *Ontario Geological Survey* conllevó un agresivo programa de exploración por varias empresas (Wright & Czelusta, 2002a). Este trabajo intensivo en conocimiento ha estado sustentado por el sistema educativo e investigativo de la región, cuya espina dorsal es la *Laurentian University*.

En términos de infraestructura, los gobiernos regionales han promovido la creación de proyectos mineros en regiones apartadas cuando el desarrollo de infraestructura por parte de los privados genera beneficios sociales, y no sólo un beneficio particular para los propietarios de la mina. Los gobiernos también han adoptado la visión opuesta en la cual se llevan a cabo proyectos de infraestructura que a la larga facilitarían el desarrollo de nuevas zonas mineras (Buitelaar, 2001).

Finalmente, se señalan una serie de factores importantes en la consolidación de Ontario como una importante región minera: “el tamaño y la diversidad de los recursos minerales, la proximidad a los principales mercados, la estrecha vinculación con algunos centros de innovación tecnológica y el desarrollo de un sector de productores de maquinaria y equipo especializado en comunicación con las empresas mineras. El sector financiero, en particular la bolsa de valores, ha jugado un papel crucial en la evolución de la minería, proveyendo capital de riesgo para la exploración” (Buitelaar, 2001).

3.2. Experiencias en países en vía de desarrollo.

La experiencia africana

En este apartado reunimos las experiencias de los países africanos que se encuentran por debajo del desierto del Sahara (lo que se ha denominado como el África subsahariana) los cuales se caracterizan por tener una abundante dotación de recursos naturales. Entre los países que se destacan en este grupo se encuentran: Mozambique, Botswana, la República Democrática del Congo, Tanzania y Ghana.

Las políticas llevadas a cabo en los países desarrollados (como los señalados en el apartado anterior) no suelen ser útiles en los países en vía de desarrollo, debido a las particularidades de estos países: escasa disponibilidad de recursos financieros, una base pequeña de capital humano, infraestructura subdesarrollada y un capital social socavado.

Un buen ejemplo de esto son las políticas de contenido local llevadas a cabo en la región de Tete Mozambique. Estas comparten similitudes con las políticas australianas en el sentido de que las empresas las llevan a cabo voluntariamente. También en el sentido de que su principal objetivo es brindar la posibilidad de que los actores locales compitan para proveer a las grandes mineras. Sin embargo, estar informado acerca de los requerimientos de las mineras (parte principal de las estrategias de contenido local) no es suficiente para generar encadenamientos, puesto que no está acompañado de programas de apoyo financiero y de capacitación, muy necesarios por las carencias en los capitales humano, financiero y social (Selemane & Jourdan, 2014).

Tete se ha visto beneficiado por la construcción de infraestructura (ferrocarriles y puertos que son las infraestructuras más importantes para la minería). Sin embargo los beneficios de esta han sido reducidos, debido a la descoordinación de los proyectos de distintos

privados, lo que ha llevado a la duplicación de algunas líneas férreas (como las de Mozambique-Nacala). Además, esta infraestructura no está al servicio público, pues no existen políticas para que otros actores puedan utilizar las mismas. (Dondeyne & Ndunguru, 2014; Selemane & Jourdan, 2014).

Una experiencia más positiva en el desarrollo de encadenamientos alrededor de la minería en el África sub sahariana es la de Botswana. La política de este país se concentraba tanto en aspectos macroeconómicos como microeconómicos. Como primera medida el gobierno desarrollo un fondo de estabilización; esto le permitió evitar las inestabilidades producidas por los cambios de precio de los minerales. En el ámbito microeconómico, el gobierno se esforzó en el desarrollo de infraestructura y en el mejoramiento de los servicios de salud y de educación – transformando así capital natural en capital humano y físico (Auty, 2001).

También buena parte de los recursos fueron dirigidos a incursionar en el beneficio de los minerales, en especial de los diamantes. Para ello se llevó a cabo una política de desarrollo de capacidades, en conjunto con una política que restringía el comercio de diamantes en bruto y obligaba a DeBeers (el cual es uno de los mayores productores y comercializadores de diamantes en el mundo) a trabajar en cooperación con la industria local de beneficio de diamantes (Morris & Fessehaie, 2014). Hoy, Botswana ha diversificado su economía hacia el corte y pulido de los diamantes, sector que ocupa entre 2000 y 3000 trabajadores (United Nations, 2013). Una parte decisiva del éxito de la política de Botswana fue la creación del fondo de estabilización y su correcta administración, pues esto le permitió mantener una tasa de cambio relativamente estable evitando las dificultades asociadas a la enfermedad holandesa.

No todos los países del África sub sahariana han seguido políticas similares. Por ejemplo la República Democrática del Congo ha desarrollado una industria minera muy dinámica (entre 2001 y 2005 la industria minera aportó el 30% del crecimiento del PIB congolés), que sin embargo se encuentra superficialmente ligada a la economía local. Esto se debe en especial a la revaluación del tipo de cambio, que le quita competitividad a la industria local con respecto a las importaciones (enfermedad holandesa) y a la carencia de personal capacitado (Otchia, 2015).

Otro caso importante es el de Tanzania. La política de este país ha sido de *laissez faire*. Sin embargo esta no ha tenido resultados efectivos en términos de diversificación y fortalecimiento de la economía local y regional. Esto se observa en los encadenamientos que se han desarrollado, los cuales son todos de productos de consumo y de bajo valor agregado (Mjimba, 2011).

Otro caso positivo de desarrollo de encadenamientos alrededor de la minería es el la región occidental de Ghana. Su política tiene varios frentes. Primero, para llevar a cabo una concesión, las empresas mineras tienen que entregar planes de contratación y capacitación de empleados locales. Segundo, se han desarrollado una serie de instrumentos (cuotas e impuestos) para incentivar el uso de los productos producidos por empresas ghanesas y para incentivar la transformación local de los minerales explotados. En Ghana hay una tendencia creciente de proveedores de servicios intensivos en conocimiento de la minería de oro que están exportando sus servicios a los países vecinos con una incipiente industria de oro (Bloch & Owusu, 2012; United Nations, 2012).

Antofagasta, Chile

La experiencia de desarrollo económico a partir de la explotación de recursos minerales más exitosa en América Latina es posiblemente la de Chile, en especial la de la región de Antofagasta. La clave del éxito de Chile y de la región de Antofagasta, está en conjugar políticas de corte macroeconómico que permitan un entorno estable para el desarrollo industrial, con políticas de corte microeconómico que resuelven fallas de mercado como altas barreras de entrada y carencia de información.

Por el lado macroeconómico se debe señalar la importancia del fondo de estabilización de reservas mineras. Este fue creado en 1982 y ha permitido proteger la economía chilena de las fluctuaciones del precio del cobre (mayor producto de exportación), en el sentido de que ha evitado la apreciación del tipo de cambio durante la etapa expansiva del ciclo de precios, y ha permitido estabilizar las inversiones estatales durante las fases contractivas del mismo (Auty, 2001; Söderholm & Svahn, 2015).

En el tema microeconómico se destaca el programa de proveedores de clase mundial. Este tiene como objetivo establecer una relación ganar-ganar, teniendo como premisa que los desafíos que enfrenta una compañía minera estimulan a los proveedores a desarrollar mayor capacidad tecnológica y de gestión. Para hacer esto se identifican los proveedores

capaces y dispuestos a responder con mejoras e innovación a los desafíos, para luego invitarlos a enviar sus propuestas y comprometerse en un proceso de desarrollo colaborativo, que cree valor a largo plazo para la industria minera y para la economía chilena (Fischer, 2012).

Este programa ha tenido resultados positivos en distintos sectores conexos a la minería. En los temas de mantenimiento se desataca los proyectos de aumento de vida útil de neumáticos y del cableado de carga. En los temas de mejoramiento ambiental se destacan: el desarrollo de un sistema de pronóstico de material particulado con 48 horas de anticipación y con 75% de confiabilidad; el desarrollo de un sistema de extracción de niebla acida. Cabe decir que todos estos desarrollos son intensivos en conocimiento y tienen potencial de exportación alto (Fischer, 2012).

Un elemento importante de esta iniciativa es que involucra al estado, a la academia y a las empresas mineras privadas. Los principales actores son: El Estado de Chile a través de sus instituciones (GORE, CORFO, SEREMIS); las empresas mineras de la Región (Codelco y Escondida, principalmente); las Universidades Regionales (Católica del Norte y Antofagasta); la Asociación de Industriales de Antofagasta (AIA); las PYMES de la Región; Otros organismos como el Instituto de Ingeniero de Minas de Chile y La Corporación de Desarrollo Productivo de Antofagasta (Jara, 2006).

Otras actividades importantes llevadas a cabo en el marco de este proyecto son: fortalecimiento de las Pymes, creación de nuevas empresas de innovación tecnológica; estudios sobre encadenamientos productivos por parte de la Universidad Católica del Norte; avances en la creación de parques industriales; creación de un mercado electrónico para que las Pymes accedan a mercados más amplios; encuentros para debatir el tema y buscar estrategias comunes (Jara, 2006).

A pesar de los resultados positivos de esta política, existen críticos que señalan que la proporción de pymes que se ha beneficiado de este programa es muy pequeña. Esto se observa en sus bajos niveles de desarrollo tecnológico, escasa innovación y sofisticación de sus procesos de negocios. Además no existe un fácil acceso a los recursos por parte de las pymes para alcanzar dicho desarrollo (Pardo & Ortiz, 2010). La consecuencia de

esto es que la región sigue dependiendo mucho del sector minero lo que la hace vulnerable a los choques externos (Rehner et al., 2014).

3.3. Minería en Antioquia

El departamento de Antioquia es uno de los departamentos con mayor potencial minero. El Departamento es reconocido entre otros aspectos por una larga tradición minera, sobre todo en la explotación del oro, que se remonta a la época precolombina. Hoy en día, al igual que en el pasado, la actividad minera es un eje fundamental en la dinámica de crecimiento y desarrollo del Departamento. Según las cuentas departamentales del DANE, el sector minero aporta 1,86% al PIB de Antioquia. La ilustración 2 muestra la producción histórica de oro en Antioquia.



Ilustración 2: Producción histórica de oro en Antioquia (SIMCO, 2016).

En la actualidad el departamento es uno de los principales productores de oro. En los últimos cincuenta años las subregiones del Nordeste y el Bajo Cauca produjeron más de 16 millones de onzas troy de oro, que equivalen, a precios actuales, a 21616 millones de dólares aproximadamente. Por otra parte, en calizas, según estimaciones realizadas, el departamento tiene unas reservas potenciales de 500 millones de toneladas localizadas en la cuenca del Magdalena Medio, en una posición estratégica envidiable. En carbón, los estudios determinan reservas de 315 millones de toneladas en la cuenca del Sinifaná, explotables en su mayoría a nivel subterráneo (Cámara de comercio de Medellín, 2010).

En el Departamento se ubican más de 850 empresas pertenecientes al sector minero y sus principales derivados. Aproximadamente 35% de dichas empresas están localizadas

en Medellín. El detalle de la distribución geográfica de las empresas relacionadas con la minería en Antioquia se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1: Empresas relacionadas al sector minero en Antioquia (Cámara de comercio de Medellín, 2010).

Municipio	Participación porcentual	Municipio	Participación porcentual
Medellín	34,00%	Amagá	2,00%
Segovia	12,00%	Caldas	2,00%
Remedios	4,00%	Zaragoza	2,00%
Caucasia	4,00%	Angelópolis	1,00%
Itagüí	3,00%	Barbosa	1,00%
Envigado	3,00%	Copacabana	1,00%
Rionegro	3,00%	Puerto Triunfo	1,00%
El Bagre	2,00%	Sabaneta	1,00%
Bello	2,00%	Anorí	1,00%
Amalfi	2,00%	Guarne	1,00%
La Estrella	2,00%	Sonsón	1,00%
Puerto Berrio	2,00%	Resto de municipios	13,00%

En cuanto a la dedicación de estas empresas, la mayor participación la tiene la explotación de metales preciosos con un 41%. Le sigue la fabricación de joyas y artículos conexos con un 12%. Otras participaciones importantes las tienen la extracción de piedras, arena y arcillas comunes y la extracción de aglomeración de hulla con 12% y 7%, respectivamente. La última participación importante la tienen las industrias de otros metales no ferrosos con 5% (Cámara de comercio de Medellín, 2010). El detalle del tamaño de las empresas relacionadas a la industria minera en Antioquia se puede observar en la ilustración 3.

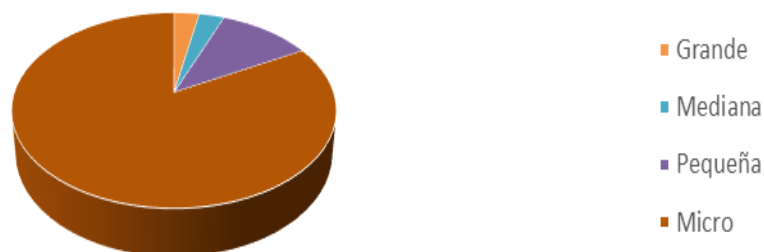


Ilustración 3: Tamaño de las empresas relacionadas a la industria minera en Antioquia (Cámara de comercio de Medellín, 2010).

Entre estas empresas relacionadas con la minería se destaca el segmento de producción de joyería y artículos conexos, por tener un gran potencial de encadenamiento y de generación de valor (pues estos negocios suelen tener márgenes que oscilan entre 40 y 50%). En el censo nacional joyero se observa que para el 2002 hay aproximadamente 300 persona dedicadas a la producción de joyas, ubicados en Medellín, Segovia, El Bagre, Frontino, Santa Fe de Antioquia, Caucasia y Envigado.

En cuanto a las exportaciones del sector, estas ascendieron a \$ 1.3 millones de dolares durante el 2009. Aproximadamente el 94% de estas exportaciones correspondieron a la venta de oro. Los demás minerales exportados fueron el cobre, platino, plata y carbón, con participaciones de 2,2% 1,8% 1,5% y 0,5% respectivamente.

Los datos de empleo no son concluyentes, debido a la gran cantidad de empleos no registrados, producto de la proliferación de la minería ilegal en Antioquia. Sin embargo, la gobernación de Antioquia estima que la minería emplea directamente en la región 8000 personas (Gobernación de Antioquía, 2016).

Finalmente es importante mencionar dos proyectos de explotación de oro que planean entrar en fase de producción entre el 2016 y 2020: el proyecto san ramón de la minera Red Eagle ubicado en Santa Rosa de Osos y el proyecto Buritcá de Continental Gold ubicado en Buritcá. El primero se estima que entrara en etapa de producción a finales del 2016 y que tendrá una producción de aproximadamente 1500 kgr al año. El segundo proyecto se estima que entrara en etapa de producción entre el 2019 y el 2020 y se espera que tenga una producción de aproximadamente 9000 kg/año (Continental Gold, 2015; Red Eagle Mining, 2015).

3.4. Acerca de las experiencias internacionales.

En este capítulo hemos intentado reunir las experiencias internacionales en el desarrollo de políticas encaminadas a la creación y fortalecimiento de los encadenamientos alrededor de la minería. Hemos separado las experiencias en dos partes: las experiencias en regiones de países desarrollados y las experiencias en regiones de países en vía de desarrollo. De esta revisión se ha logrado reunir elementos de política importante, los cuales servirán como insumo para nuestra evaluación de políticas.

Primero, hemos evidenciado de la revisión, la importancia de que haya coherencia entre las políticas macroeconómicas y las políticas microeconómicas. Esto debido a que las regiones están supeditadas a las políticas de nivel nacional; si no se toman medidas para proteger la economías de los choques externos, la industria regional no podrá mantenerse competitiva. Esto se evidencia en los efectos positivos que ha tenido esta coordinación en Noruega, Botswana y Chile, con la creación de fondos soberanos de estabilización.

Segundo, las políticas de desarrollo de capital humano, físico y financiero son fundamentales, para poder desarrollar encadenamientos, pues de estos depende la competitividad de la industria local. Esto se puede observar en los resultados positivos que ha obtenido Australia con sus fuertes inversiones en capacitación. Pero también se puede observar en los resultados negativos que ha tenido Mozambique con su política de contenido local, la cual tiene un carácter de *laissez faire*.

El tercer elemento que se rescata de esta revisión es la importancia del capital social en el desarrollo de encadenamientos. Esto se observa en los efectos positivos que ha tenido los esfuerzos estatales por conectar a la gran minería con la industria doméstica y con la academia. Esto también se puede observar en el beneficio que han traído los esfuerzos por asociar la industria local, con el fin de que estas unidades mas grandes tengan un mayor musculo financiero. Esto se puede observar en casos como el de DeBeers en Botswana o en el programa de proveedores de clase mundial de Chile.

Al llevar a cabo nuestro modelo, probaremos el efecto de dos políticas sobre los encadenamientos: mejoramiento de la competitividad de la industria local y mejoramiento del capital social. No se evalúa con el modelo políticas que tengan que ver con la coordinación entre las decisiones macroeconómicas y microeconómicas, pues estas están por fuera del alcance de este trabajo.

4. Formulación del modelo

4.1. Metodología

Se decide utilizar la metodología de Dinámica de Sistemas por varios motivos: esta permite analizar las relaciones en sistemas complejos como el socio económico; permite tener en cuenta elementos de los sistemas complejos como la retroalimentación y los retardos; permite hacer un análisis del desarrollo temporal de las variables de interés. Finalmente, la mayor ventaja que ofrece este método sobre otras herramientas de análisis más tradicionales como las series de tiempo o las matrices de insumo producto (Lei et al., 2013), es la posibilidad de utilizar los modelos de simulación como una plataforma para evaluar políticas (J. Sterman, 2000) encaminadas a desarrollar y fortalecer los encadenamientos productivos de las regiones colombianas.

La ilustración 4 resume el proceso de modelación con la metodología de dinámica de sistemas. Hasta ahora solo se ha desarrollado el paso de articulación del problema. En el capítulo 4 se llevan a cabo los pasos hipótesis dinámica, formulación y validación, mientras que en el capítulo 5 se lleva a cabo el paso de formación y evaluación de políticas.



Ilustración 4: Proceso de modelación (Sterman, 2000)

La siguiente serie de pasos para llevar a cabo la investigación está basado en el trabajo de (J. D. Sterman, 2000) y de (Barlas & Carpenter, 1990; Barlas, 1996).

4.2. Articulación del problema

Como hemos visto a lo largo del texto, fomentar los encadenamientos de la minería es fundamental para el desarrollo económico de una región (en nuestro caso, Antioquia). Por eso nosotros desarrollamos un modelo de dinámica de sistemas que refleja los encadenamientos de la minería de oro en el departamento de Antioquia, para analizar políticas que busquen fortalecerlos y fomentarlos. Se escoge el mineral oro debido a la importancia que tiene este en la economía regional y nacional.

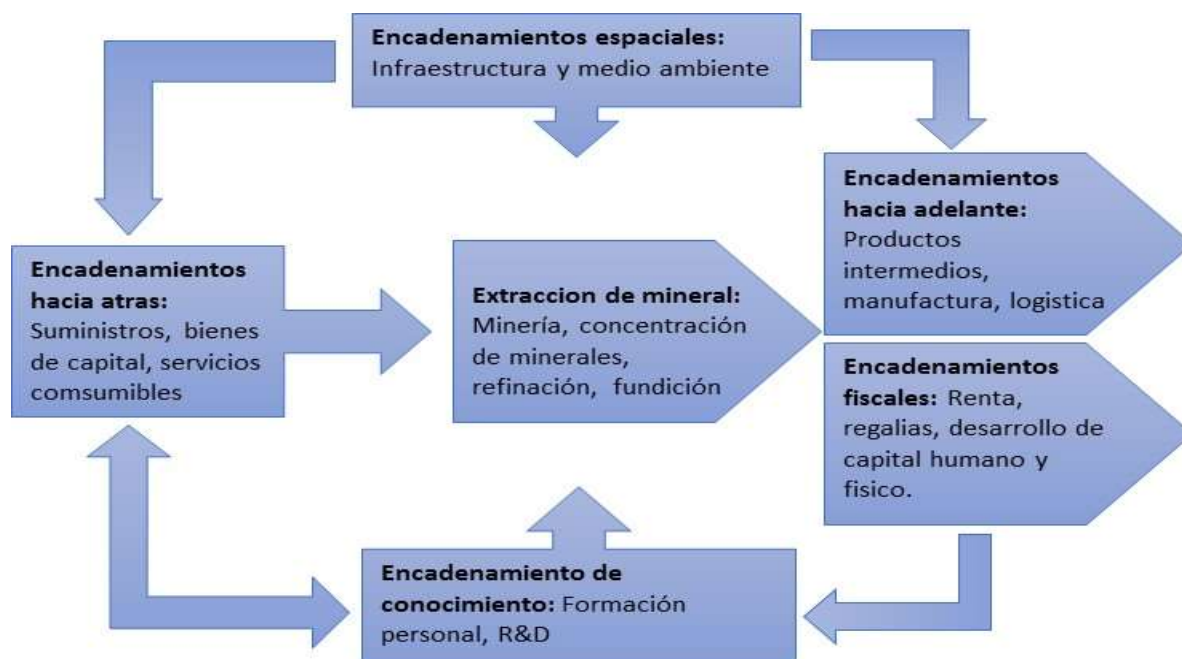


Ilustración 5: Encadenamientos del sector minero (Selemene & Jourdan, 2014).

La teoría de los encadenamiento de Hirschman esbozada en el capítulo 2 de marco teórico considera que una industria puede tener encadenamientos hacia atrás (suministros provenientes de otras empresas) y encadenamientos hacia adelante (ventas a otros sectores). Otra parte importante de los encadenamientos tiene que ver con los beneficios

fiscales, el empleo y la transferencia de conocimiento. La ilustración 5 muestra con más detalle esto.

4.3. Formulación de hipótesis dinámica

La Ilustración 6 muestra la hipótesis dinámica. En esta se muestran los elementos conceptuales clave para modelar el negocio minero, los cuales son adaptados del trabajo *SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ESTRATEGIAS EN EL DESARROLLO DEL SECTOR MINERO 2014 – 2032*, llevado a cabo por la UPME. También se muestran los elementos conceptuales clave del fenómeno de los encadenamientos alrededor de la minería, los cuales están sustentados en los trabajos de (Becattini, 2006; Hirschman, 1957; Sforzi, 2008) los cuales fueron revisados en el capítulo 2.

Es importante mencionar que el trabajo de *SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ESTRATEGIAS EN EL DESARROLLO DEL SECTOR MINERO 2014 – 2032*, fue llevado a cabo para simulaciones a nivel país, mientras que nuestro trabajo se centra en el nivel regional. Sin embargo ambos se enmarcan en el ciclo de negocio minero por lo que comparten conceptos como: producción, reservas y utilidad (o ganancias)

La hipótesis dinámica está enmarcada en el ciclo de vida del negocio minero, el cual está conformado por las variables *exploración, producción, ingresos, utilidades e inversión*. La variable *producción* se refiere a los kilogramos de oro recuperados por año; la variable *ingresos* representa los ingresos brutos por venta de oro. Las *utilidades* son la diferencia entre los *ingresos* y los costos (*costo de empleo, consumo intermedio, regalías e impuestos*). La *inversión* se refiere a las inversiones en capital que se requieren para mantener y ampliar la *producción*. Finalmente la variable *exploración* se refiere a los esfuerzos por ampliar las reservas probadas de mineral.

Estas variables se relacionan entre si de una forma positiva, para conformar los ciclos de refuerzo (R1) y (R2), los cuales se pueden apreciar en la ilustración 6. El mecanismo de refuerzo funciona de la siguiente manera: un aumento en cualquiera de las variables del ciclo positivo resultara en aumento de la misma variable al final del ciclo (Sterman, 2000). Por ejemplo, un aumento en la actividad de exploración, aumentara las reservas disponibles para la exploración, lo que permitirá producir una mayor cantidad de oro y tener

mayores ingresos (y utilidades), que a su vez permitirán aumentar la inversión en exploración (ciclo R2) y la inversión en nueva producción (ciclo R1).

En el negocio minero también intervienen las variables *costo de empleo*, *consumo intermedio*, *regalías*, *impuestos* e *inversión*. El *costo de empleo* se refiere al costo del empleo directo generado por la minería. El *consumo intermedio* se refiere a la compra de insumos necesarios para llevar a cabo la producción de oro, los cuales adquiere la industria de los demás sectores de la economía. Las *regalías* y los *impuestos* son los encadenamientos fiscales. Y la *inversión*, como ya se mencionó, tiene que ver con la adquisición de capital necesario para mantener y ampliar la producción de oro.

Acerca de la variable *consumo intermedio* se deba hacer una claridad. En el modelo no se considera una economía cerrada, puesto que la industria minera tiene la posibilidad de vender y comprar en el exterior.

Estas variables se relacionan en los ciclos de realimentación negativa (o de balance) (B1), (B2), (B3), (B4), (B5). El mecanismo de balance funciona de modo tal que el aumento (disminución) en cualquiera de las variables del ciclo resultara en una disminución (aumento) de la misma variable al final del ciclo (Sterman, 2000). Por ejemplo un aumento en las *regalías* conlleva una disminución en las *utilidades*, reduciendo los montos de inversión, lo que lleva a una disminución en la producción, que a la larga traerá consigo una disminución en el monto de regalías cobrado por el estado.

Los últimos ciclos son los relacionados con el fenómeno de los encadenamientos y están relacionados con las variables capital social y costos de transacción. El capital social se refiere al valor de los recursos que pertenecen a una red de relaciones sociales (institucionalizadas o no). Parafraseando a (INKPEN & TSANG, 2005), el capital social representa la capacidad de un ente de beneficiarse por virtud de pertenecer a una red de trabajo u otra estructura social. El capital social representa entonces “el papel y el valor de instituciones informales, como las costumbres comerciales en el desarrollo de los intercambios” (Becattini, 2006).

La variable costos logísticos representan los beneficios económicos que se pueden alcanzar a través del mejoramiento de capital social. Estos beneficios son los documentados por (Becattini, 2006; Sforzi, 2008; The Queensland Resources Council, 2013a), entre los cuales podemos contar: la transmisión cara a cara del know how productivo; mejoras en disponibilidad y tiempos de entrega; mejoras en la predictibilidad de las provisiones; reducción de inventarios y costos logísticos; facilidad de la comunicación; fortalecimiento de la licencia social de la compañía.

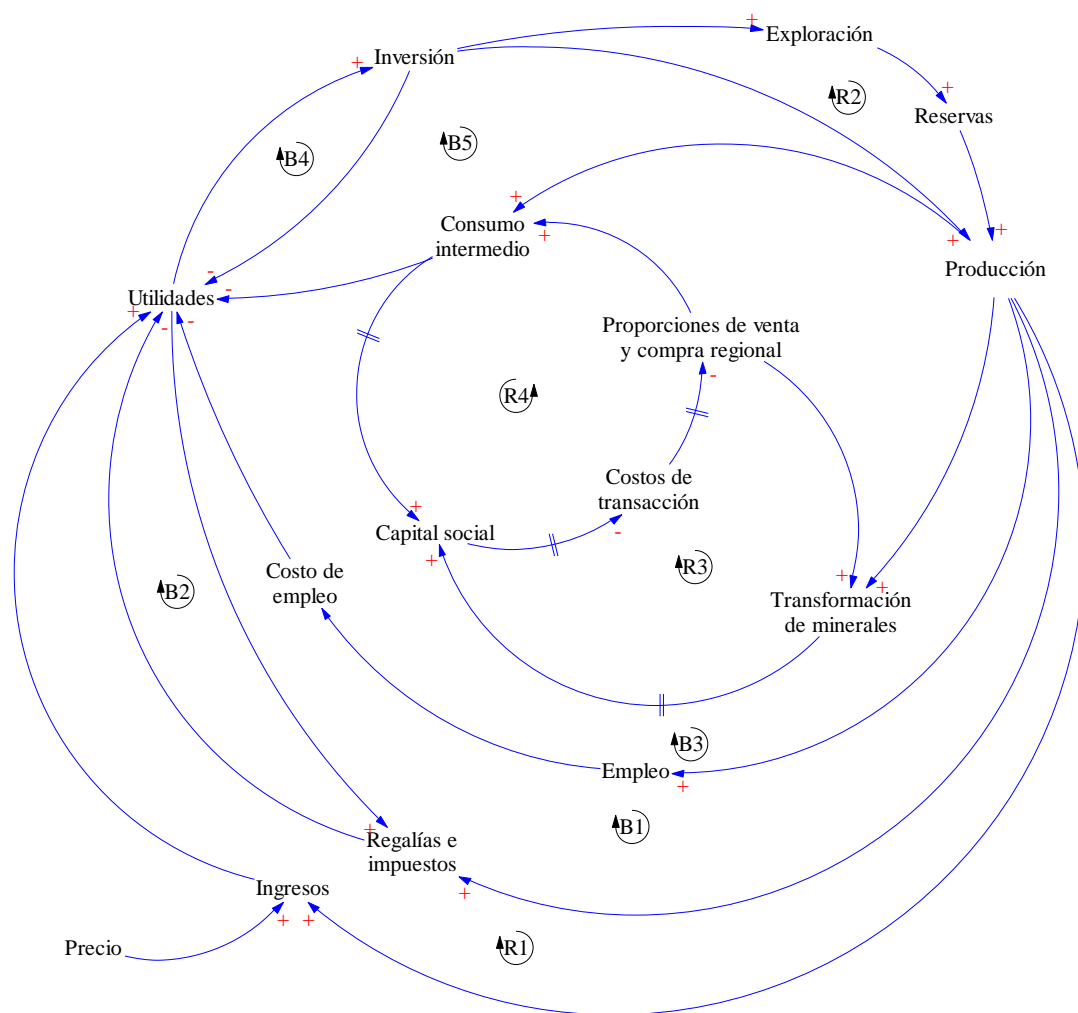


Ilustración 6: Diagrama causal minaría.

Estas dos variables (capital social y costos de transacción) se acoplan al ciclo del negocio minero del siguiente modo. Un aumento en la producción implica más insumos para la explotación de oro (aumento de consumo intermedio a nivel regional) y más oro para vender a los demás sectores de la economía (aumento de transformación de minerales a nivel regional). Conforme se aumentan la transformación de minerales y el consumo intermedio, se mejora el capital social producto de la interacción de la industria minera con las empresas que se encadenan hacia adelante y hacia atrás (dentro de la región). El fruto de esta mejora en la interacción es una reducción de los costos de transacción, (tal como lo documentan (Becattini, 2006; Sforzi, 2008)). Esto fomenta un aumento de la proporción de ventas y compras a nivel regional, lo que a su vez aumenta las variables consumo intermedio y transformación de minerales. Así se conforman los últimos dos ciclos de realimentación positiva (R4) y (R5).

4.4. Modelo formal de simulación

En la ilustración 7 se puede observar el diagrama de bloques, el cual muestra los diferentes componentes del modelo de simulación. El modelo consta de tres partes fundamentales: la explotación mineral, los encadenamientos hacia adelante y los encadenamientos hacia atrás. Los encadenamientos hacia adelante constan de la transformación de los minerales y de los recaudos fiscales, mientras que los encadenamientos hacia adelante constan de los suministros y el empleo. El cambio, positivo o negativo, de la explotación mineral, provocará cambios en los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. De este modo, si la explotación minera se reduce, los insumos necesarios para llevar a cabo la labor minera se verán reducidos, al igual que los empleos, los recaudos fiscales y las ventas de mineral a los demás sectores de la economía local. Un aumento en la explotación mineral provocara a su vez un aumento en las variables, empleo, recaudo fiscal, ventas de mineral y compras de insumos.

Debido a la carencia de información de encadenamientos a nivel regional, se debe estimar la matriz insumo producto de la región antioqueña utilizando el llamado coeficiente de localización o procedimiento RAS descrito en el capítulo 2 de marco teórico. El RAS se considera un método matemático de optimización que tiene como restricciones los totales por columnas (suma de la demanda regional y el valor agregado regional) y los totales por

filas (producción bruta regional sectorial) de la matriz de transacciones de regional. La idea fundamental de este enfoque radica en que se supone que la matriz regional está inscrita en la nacional (ARRIAGADA & HIDALGO, 2003; Chisari et al., 2012; Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007).

El método RAS partiendo de una matriz inicial A y de vectores que contengan las sumas totales requeridas por fila y por columna, busca una matriz A^* que respeta dichos totales (ARRIAGADA & HIDALGO, 2003; Chisari et al., 2012). Los dos vectores que se mencionan serán el vector de producción regional sectorial (suma de filas) y la demanda regional sectorial (suma de columnas). Entonces el proceso busca iterativamente vectores r_i y s_j tal que:

$$a_{ij}^* = r_i a_{ij} s_j \quad (1)$$

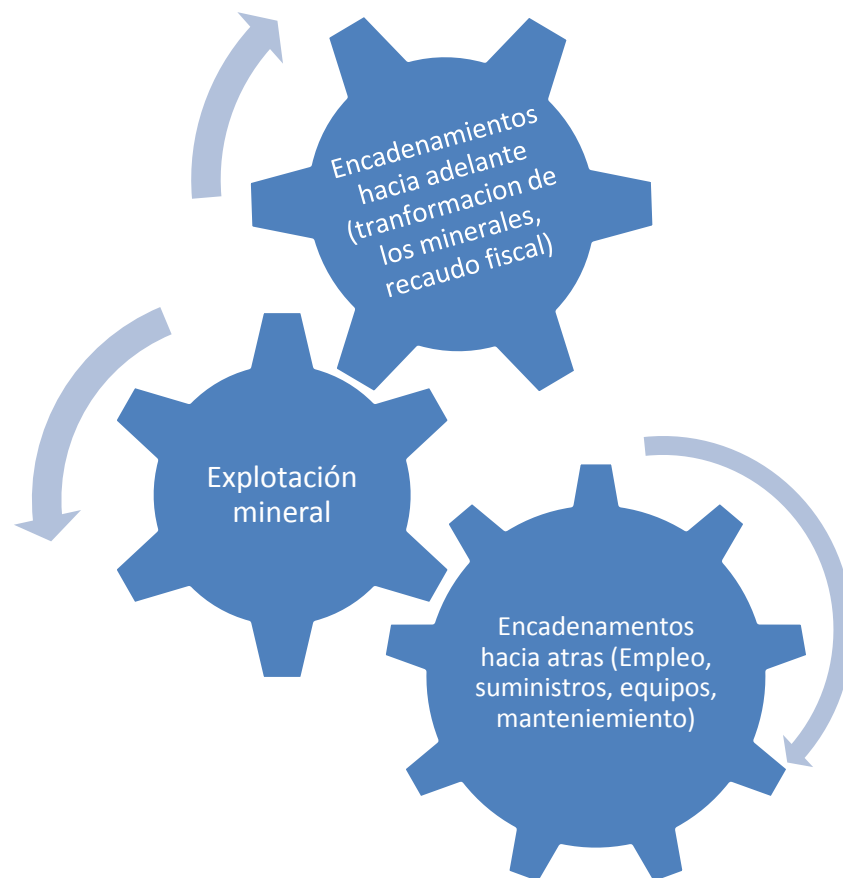


Ilustración 7: Diagrama de bloques del modelo.

Para llevar a cabo este procedimiento se necesita la matriz insumo producto a nivel nacional y los vectores de demanda final, valor agregado y producción bruta sectorial a nivel departamental. Sin embargo debido a solo existe el vector de valor agregado sectorial a nivel departamental, se utiliza este para estimar la demanda final y la producción bruta, utilizando el método descrito por (Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007).

Supongamos una matriz de transacciones 3x3 con sus correspondientes totales de venta (suma de filas) y de compra (suma de columnas), que requiere ser actualizada para que sea consistente con nuevos totales por fila y columna. Entonces el procedimiento RAS inicia por calcular iterativamente los coeficientes para cumplir con los nuevos totales de columnas. Multiplicando estos coeficientes por la matriz se obtienen los nuevos resultados de compras, pero aún no se cumple con los nuevos resultados de venta, por lo que se repite el mismo procedimiento para las filas. Finalmente se repiten ambos pasos hasta satisfacer los nuevos valores de venta y de compra (Bonet, 2005; Chisari et al., 2012; Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007).

Para calcular la matriz de insumo producto de Antioquia el primer paso es agregar los sectores de la matriz insumo producto a nivel nacional (la cual consta de 61 sub sectores), puesto que el vector de valor agregado regional se encuentra desagregado en los 9 macro sectores (SUÁREZ, 2007). Los macrosectores son: agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca; explotación de minas y canteras; industrias manufactureras; suministro de electricidad, gas y agua; construcción; comercio, reparación, restaurantes y hoteles; transporte, almacenamiento y comunicaciones; establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas; actividades de servicios sociales, comunales y personales.

Tras agregar la matriz en los 9 macro sectores se procede a estimar el valor bruto de producción a través de la ecuación 1 y 2. Primero se calcula la proporción de valor agregado nacional del sector i (VA_i^N) que corresponde a la producción nacional del sector i (X_i^N). Luego se divide el valor agregado regional del sector i (VA_i^R) entre dicha proporción, para obtener la producción bruta del sector i en la región X_i^R (Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007).

$$\frac{VA_i^N}{X_i^N} = m \quad (1)$$

$$\frac{VA_i^R}{m} = X_i^R \quad (2)$$

Luego para estimar la demanda final se suma el consumo y la inversión en capital. El consumo regional del sector i (C_i^R) se calcula dividiendo el consumo del sector i a nivel nacional (C_i^N) sacado de la matriz insumo producto nacional, entre el valor de la población nacional (P^N) y multiplicándolo por la población regional (P^R). En cuanto a la inversión regional (I_i^R) se calcula como la razón entre la formación de capital (I_i^N) y el producto nacional por industria (X_i^N), seguidamente multiplicada por el valor de la producción bruta regional para cada sector i (X_i^R) (Fuentes, 2005; SUÁREZ, 2007).

$$C_i^R = \frac{C_i^N}{P^N} * P^R \quad (3)$$

$$I_i^R = \frac{I_i^N}{X_i^N} * X_i^R \quad (4)$$

Tras estimar los vectores de demanda final, producción bruta y valor agregado regional sectorial (con las ayuda de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4) podemos proceder a estimar la matriz insumo producto de la región antioqueña a través del procedimiento RAS. Tras estimar la matriz de transacciones de Antioquia a través del procedimiento RAS, hallamos su matriz inversa, la cual es conocida como matriz de multiplicadores de Leontief.

La matriz de insumo producto (Tabla 3) nos da información acerca de los montos monetarios de las compras del sector minero a los distintos sectores de la economía regional (valores de la columna). También da información acerca las ventas que realiza el sector minero a los demás sectores de la economía regional (valores de la fila) (LEONTIEF, 1951).

La matriz de multiplicadores (Tabla 4) nos muestra el efecto monetario directo e indirecto de un aumento en la producción minera (valores de la fila) y los efectos directos e indirectos de un aumento en las compras del sector minero (valores de la columna). La interpretación de los valores de la matriz es la siguiente: la suma de filas significa que un aumento en 1 peso de la producción minera generara un aumento equivalente a 2,47 pesos para la economía regional; por otro lado, la suma de las columnas significa que un aumento de la demanda minera en 1 dólar generara una producción de 1,25 dólares a nivel regional.

Con las matrices de insumo producto y de multiplicadores, y con el diagrama causal, se construye el modelo formal de simulación (también conocido como modelo de flujos y niveles, modelo de Forrester o modelo formal). Con este se evaluarán los efectos económicos de los encadenamientos productivos sobre una región (Antioquia), en el mediano-largo plazo.

En el modelo, la variable *compras iniciales (CI)*, se representa como un vector con 9 elementos que guardan los valores de las transacciones de la minería con sí misma y con los restantes 8 sectores de la economía regional; para las *ventas iniciales (VI)* funciona igual. En las ecuaciones 5 y 6 se representan las *compras y las ventas totales iniciales de la minería* en la región (CTI y VTI respectivamente). Estos valores corresponden a la suma de la columna dos de la Tabla 3 y a la fila dos de la misma tabla.

$$CTI = \sum_{i=1}^9 a_{i2} [\$/año] \quad (5)$$

$$VTI = \sum_{j=1}^9 a_{2j} = Ingresos [\$/año] \quad (6)$$

Las *compras iniciales totales (CTI)* de la minería se obtienen sumando la columna del sector y las *ventas totales iniciales (VTI)* sumando los valores de la fila. Luego están los *ingresos (Ing)*, los cuales se calculan multiplicando los kilogramos producidos de oro (*producción*) con el *precio* por kilogramo de oro. Esto se puede ver en la ecuación 7.

$$Ing = Produccion * precio \left[\frac{\$}{año} \right] \quad (7)$$

Cuando se divide las *compras iniciales* entre las *ventas totales iniciales* se obtiene proporción de ingresos dedicados a la compra de productos y servicios a otros sectores (*reinversión*). La variable *reinversión* se define como el porcentaje del ingreso neto que es reinvertido en el negocio. Su cálculo se muestra en la ecuación 8.

$$Tasa\ reinversión = \frac{CI}{VTI} [\%] \quad (8)$$

Cuando multiplicamos la *tasa de reinversión* por los *ingresos totales*, le restamos las *compras iniciales en región y mundo (CIRM)* y multiplicamos esta diferencia por la variable *multiplicadores de leontief de compra (MLC)*, se obtiene el *valor total de compra nueva en la región y el mundo (VTCN)*. Cabe señalar que los *multiplicadores de Leontief de compra* son extraídos de la segunda columna de la matriz de multiplicadores que se enseña en la Tabla 4. También cabe señalar que las *compras iniciales en región y mundo* se obtienen de la matriz insumo producto, en la Tabla 3 (LEONTIEF, 1951).

$$VTCN = ((Ing * tasa\ reinversion) - CIRM) * MLC \left[\frac{\$}{año} \right] \quad (9)$$

En la ecuación 10 se calcula la variable *compras potenciales de la minería a los demás sectores de la región (CPMS)*. Esta representa el aumento de demanda de insumos y servicios que hace la minería al aumentar su producción mineral. Esta variable se calcula como la suma de las *compras iniciales (CI)* y el *valor total de compra nueva en región y mundo (VTCN)* multiplicado por la *proporción de compras hechas a nivel regional (PCR)*. La variable *proporción de compras a nivel regional* habla del porcentaje de compras que hace la minería a nivel regional en comparación con sus compras totales. El valor de esta variable es obtenido de la matriz insumo producto. Luego vienen las *compras potenciales de la minería a los demás sectores de Antioquia retardadas (CPMSR)*. Estas se modelan como un retardo de información de primer orden como se enseña en la ecuación 11.

$$CPMS = (CI + VTCN) * PCR \left[\frac{\$}{año} \right] \quad (10)$$

$$CPMSR(t) = (CPMS - CPMSR(t - 1)) [\$] \quad (11)$$

Luego se procede a calcular la *capacidad de producción regional (CPR)*. Esta variable representa la disponibilidad de capital humano y físico para responder a las demandas por insumos y servicios que se generan con un aumento de producción mineral. Esta variable se modela como una variable de nivel que se ve afectada por dos flujos: *construcción de capacidad de producción regional (CCPR)*, que representa la formación de personal y la construcción de capacidad productiva que se lleva a cabo para la región; y, *depreciación de capacidad de producción regional (DCPR)* que representa el desgaste natural del capital humano y físico. La *capacidad de producción regional* es igual a la diferencia entre estos dos flujos.

En las ecuaciones 12 y 13 se enseña el cálculo de las variables *construcción de capacidad de producción regional (CCPR)* y *depreciación de capacidad de producción regional (DCPR)*. Estas ecuaciones tienen dos términos que vale la pena explicar por separado: Tiempo de depreciación y tiempo de ajuste. La primera hace referencia al tiempo promedio en que se desgasta el capital físico y humano. El segundo se refiere al tiempo que tarda la economía regional en desarrollar capital humano (como nuevos profesionales, capacitaciones, desarrollo de conocimiento especializado) y capital físico (construcción de infraestructura y de fábricas) para atender las demandas de la minería.

$$CCPR = \left(\frac{CPMSR - CCPR(t-1)}{\text{Tiempo de ajuste}} + DCPR \right) * \text{Capital social compras} [$/yr] \quad (12)$$

$$DCPR = \frac{CCPR}{\text{Tiempo depreciación}} [$/yr] \quad (13)$$

Luego se calcula el *porcentaje de compras regionales (%CR)* comparando la *capacidad de producción regional (CPR)* con la suma de la *capacidad de producción regional* y las *compras en el exterior (CEE)*. El *porcentaje de compras regionales* sirve de insumo para la variable *capital social compras*. Conforme aumenta esta razón el capital social aumenta, como se observa en la ilustración 8.

$$\%CR = \left(\frac{CPR(t)}{CPR(t) + CEE(t)} \right) [\%] \quad (14)$$

Finalmente, el capital social de compra afecta la proporción de compras en Antioquia vs resto del mundo positivamente. Es decir, un aumento en el capital social aumenta la *proporción de compras regionales*, puesto que este aumento del capital social, se ve reflejado en una disminución de los costos de transacción, lo cual hace más atractivo reemplazar las compras realizadas en el exterior con compras realizadas a nivel regional.

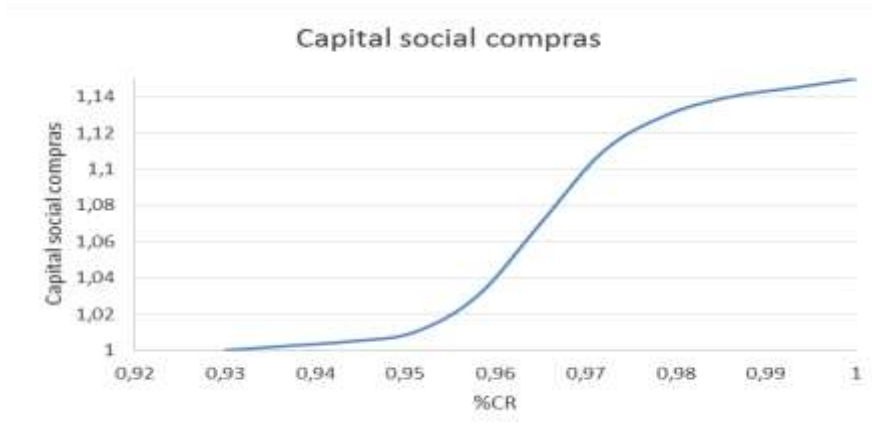


Ilustración 8: Capital social de compras

La última parte de los encadenamientos hacia atrás es la modelación de las *compras en el exterior* que hace la minería. Estas se modelan como la multiplicación de los *ingresos, la tasa de reinversión*. Este resultado se multiplica a su vez por el complemento del *porcentaje de compras regionales (%CR)* (el complemento de %CR es $1 - \%CR$)

$$CEE(t) = ((Ing * Tasa de reinversion) * (1 - \%CR)) - CEE(t - 1)[\$] \quad (15)$$

Ahora, para modelar los encadenamientos hacia adelante a nivel regional se sigue un procedimiento similar. Primero se calcula el *Valor de la demanda nueva a la minería en región (VTDNR)*, que representa el aumento de demanda que realizan los demás sectores a la minería cuando esta aumenta su nivel de producción.

Para hallar el *Valor total de demanda nueva a la minería en región (VTDNR)* se parte de los ingresos del sector minero, los que deben ser multiplicados por la *proporción de ventas regionales (PVR)*. Esta proporción representa el porcentaje de ventas que realiza la minería a nivel regional y es obtenida a partir de la matriz insumo producto regional. A este producto se le sustrae las *ventas totales iniciales (VTI)* a nivel regional. Finalmente esta diferencia se multiplica por los *multiplicadores de leontief de venta (MLV)*, los cuales son

extraídos de la segunda fila de la matriz de multiplicadores de leontief en la Tabla 4. Para hallar la *demanda por sector en la región (DSR)* se suman las *ventas totales iniciales (VTI)* y el *Valor total de demanda nueva a la minería en región (VTDNR)* (LEONTIEF, 1951).

$$VTDNR = ((Ing * PVR) - VTI) * MLV \left[\frac{\$}{año} \right] \quad (16)$$

$$DSR = VTI + (VNMR) \left[\frac{\$}{año} \right] \quad (17)$$

En la ecuación 18 se modela la *demanda potencial por sector en región retardada (DPSRR)* de la minería a otros sectores. Esta variable representa el aumento en las demandas potencial de los demás sectores a la minería, el cual se generaría por un aumento en la producción mineral.

$$DPSRR(t) = (DSR - DPSRR(t - 1)) [\$] \quad (18)$$

Luego viene la *capacidad de transformación regional (CTR)*. Esta es una variable de nivel que representa el capital humano y físico necesario para absorber la producción mineral y transformar esta en otros productos con un mayor valor. Este nivel está afectado por dos flujos: *construcción de capacidad de transformación regional (CCTR)* y *depreciación de capacidad de transformación regional (DCTR)*.

La *construcción de capacidad de transformación regional (CCTR)* representa la construcción de capital humano y físico necesarios para absorber la nueva producción mineral en aras de transformarla en productos con un mayor valor. La *depreciación de capacidad de transformación regional (DCTR)* representa el desgaste natural del capital humano y físico. En las ecuaciones 19 y 20 se observa como el cálculo de estas variables. En estas el termino *tiempo de ajuste2* representa el tiempo que tarda la industria local en preparar personal y construir capital físico (infraestructura y fabricas) con el fin de absorber la nueva producción mineral en aras de transformarlos en productos de mayor valor. Por otro lado el *tiempo de depreciación2* representa el tiempo de desgaste natural del capital físico y el capital humano.

$$CCTR = \left(\frac{DPSRR - CCTR(t-1)}{\text{Tiempo de ajuste2}} + DCTR \right) * \text{Capital social ventas } [$/yr] \quad (19)$$

$$DCTR = \frac{CCTR}{\text{Tiempo depreciacion2}} [$/yr] \quad (20)$$

En la ecuación 21 se calcula la proporción llamada *porcentaje de ventas regionales (%VR)*. Esta representa el total de transformación mineral que se lleva a cabo en la región. Para calcularla se divide la *capacidad de transformación regional (CTR)* entre la suma de la *capacidad de transformación regional (CTR)* y *las ventas en el exterior (VEE)*. Esta última variable representa todo el mineral que es exportado sin transformación ninguna.

$$\%VR = \left(\frac{CTR(t)}{CTR(t) + VEE(t)} \right) [\%] \quad (21)$$

El *porcentaje de ventas regionales (%VR)* sirve de insumo para la función no lineal *capital social de las ventas*, la cual tiene la misma forma que la función no lineal *capital social de las compras*. Esta variable, capital social (de venta y de compra), intenta reflejar los beneficios intangibles de las relaciones económicas regionales, como costos de transacción reducidos.

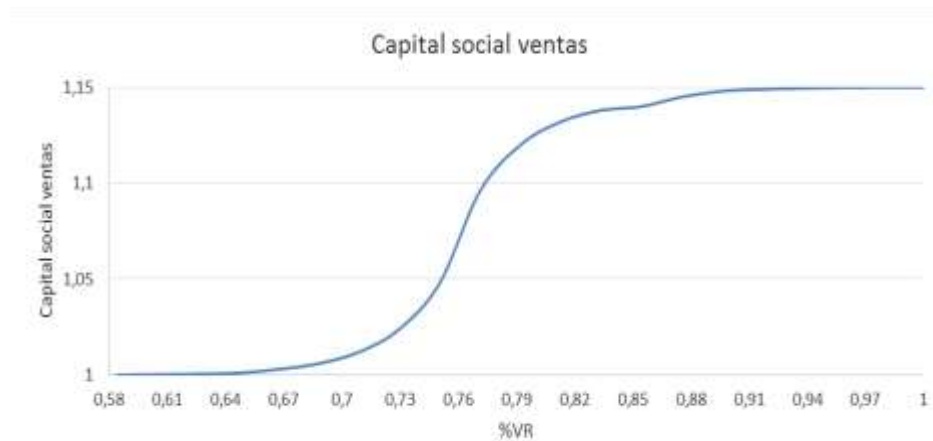


Ilustración 9: Capital social de ventas

Para finalizar con los encadenamientos hacia adelante se modelan las *ventas en el exterior (VEE)* que representan toda la producción mineral que es exportada sin recibir ninguna agregación de valor o transformación. En la ecuación 22 se observa el cálculo de esta

variable, el cual se realiza multiplicando los ingresos por el complemento del porcentaje de ventas regionales (dicho complemento es igual a $1 - \%VR$).

$$VEE(t) = ((Ing) * (1 - \%CR)) - VEE(t - 1) [\$] \quad (22)$$

Luego vienen los demás encadenamientos económicos, que son los referentes las regalías, los impuestos y el empleo directo. En cuanto a las *regalías* (Rg), estas se calculan multiplicando la *producción* ($Prdn$) por la *tasa de regalías* y por el *precio de liquidación* de regalías. Luego se calculan los *ingresos después de regalías* (IDR), los cuales son iguales a los ingresos menos las *regalías*. Luego se calcula las *utilidades antes de renta*. Las *utilidades antes de renta* son la diferencia entre los ingresos y las compras en la región, las compras en el exterior y el costo de empleo. Estos cálculos se pueden apreciar en las ecuaciones 23, 24, y 25.

$$Rg = (Prdn * tasa\ de\ regalías * precio\ de\ liquidación) [\$] \quad (23)$$

$$IDR = Ing - Rg [\$] \quad (24)$$

$$Utilidades\ antes\ de\ renta = (Ing - (CPR + CEE) - Costo\ de\ empleo) [\$] \quad (25)$$

Por el lado de los *impuestos*, solo se tiene en cuenta el impuesto de renta por ser el más significativo. Este se calcula multiplicando las *utilidades antes de renta* por la *tasa de renta*. Luego, para calcular las utilidades después de renta se le resta a las *utilidades antes de renta* los *impuestos*. Estos cálculos se pueden observar en la ecuación 26.

$$Utilidades\ despues\ de\ renta = Utilidades\ antes\ de\ renta - Impuestos = Utilidades\ antes\ de\ renta - (Utilidades\ antes\ de\ renta * Tasa\ de\ renta) [\$] \quad (26)$$

Finalmente, la variable *empleo de la minería* representa el empleo directo que genera la minería. Esta se modela con la ayuda variable *productividad*, la cual habla de la cantidad de producción que una persona puede llevar a cabo en un año. La multiplicación de la

producción y la *productividad* tiene como resultado la cantidad de personas empleadas por el sector minero (*empleo de la minería*). La multiplicación de la cantidad de personas empleadas en la minería y el salario promedio tiene como resultado los costos de empleo de la minería.

$$\text{Costo de empleo} = (\text{empleo de la minería} * \text{salario promedio}) [\$] \quad (27)$$

4.5. Validación

En esta etapa de la investigación se indaga por la consistencia del modelo de simulación. La pregunta a responder es ¿Qué tan útil es el modelo con respecto a su propósito? Para dar respuesta a esta pregunta se debe analizar dos elementos: la correspondencia de la estructura del modelo con la estructura del fenómeno real y el comportamiento de las variables de interés. Como no existe información del desarrollo de los encadenamientos de la minería a través del tiempo, nos concentramos en la evaluación de la estructura del modelo.

La validación de la estructura también puede subdividirse en dos partes: validación directa de la estructura y validación de la estructura orientada al comportamiento. La validación directa de la estructura evalúa la validez del modelo comparando directamente su estructura con el conocimiento que se tiene del sistema real. Por otra parte, la validación de la estructura orientada al comportamiento, utiliza la simulación para develar fallas estructurales del modelo (Barlas, 1996).

El propósito de este modelo es analizar el efecto económico de los encadenamientos de un mineral en una región (para nuestro caso, Antioquia) de Colombia con el fin de proponer políticas en pos de su desarrollo. Para evaluar la utilidad del modelo con respecto a su objetivo, nos proponemos a realizar pruebas directas sobre la estructura y pruebas de la estructura orientadas al comportamiento. En las pruebas directas de estructura se analizan dos elementos: la consistencia dimensional y la correspondencia de los parámetros con variables que se presentan en el sistema real. En las pruebas orientadas al comportamiento se realizan dos pruebas: pruebas de comportamiento extremo y análisis de sensibilidad.

4.5.1. Análisis de consistencia dimensional

Todas las ecuaciones del modelo se pueden observar en las tablas del anexo A. Las ecuaciones del modelo se enseñan con la finalidad de evaluar la correspondencia entre todas las variables del modelo y los elementos del sistema real (la minería de Antioquia con sus encadenamientos económicos). La segunda finalidad de este apartado es observar la coherencia dimensional de las ecuaciones del modelo.

Con la ayuda del conocimiento experto se confirma que todos los parámetros tienen correspondencia con elementos del sistema real o con elementos propios de la teoría que explica el fenómeno de los encadenamientos. También se realiza una confirmación de la estructura, en el sentido de que se tengan relaciones matemáticas coherentes para relacionar los distintos elementos del modelo.

Todas las relaciones matemáticas que se encuentran en el modelo están justificadas principalmente por el trabajo de matrices insumo producto llevado a cabo por Leontief (LEONTIEF, 1951). También están justificadas en el trabajo de Becattini acerca de la importancia de los elementos sociales sobre el desarrollo de los encadenamientos (Becattini, 2006; Sforzi, 2008).

4.5.2. Pruebas de comportamiento extremos.

Las pruebas de comportamiento extremo consisten en imponer al modelo condiciones extremas, que difícilmente se presenta en el sistema real, pero que por su carácter extremo, permiten la inferencia del comportamiento de las variables de interés. Un ejemplo perfecto de una prueba de este tipo es la siguiente: Si las reservas de mineral fueran igual a cero, la producción de mineral (que depende directamente de la existencia de reservas) tendría que ser igual a cero. Un modelo que exhibiera valores distintos que cero para la producción bajo dichas condiciones, tendría alguna falencia estructural que debería ser solucionada antes de proceder a proponer políticas.

Para nuestro modelo se escoge dos pruebas de comportamiento extremo: la primera consiste en mantener la producción constante. El resultado esperado de esta prueba es que todas las variables permanecerán constantes dado que los cambios en la producción

(aumentos o disminuciones) son los que incentivan cambios en la capacidad de producción regional y en la capacidad de transformación regional. En la ilustración 10 se enseñan los resultados de la prueba.

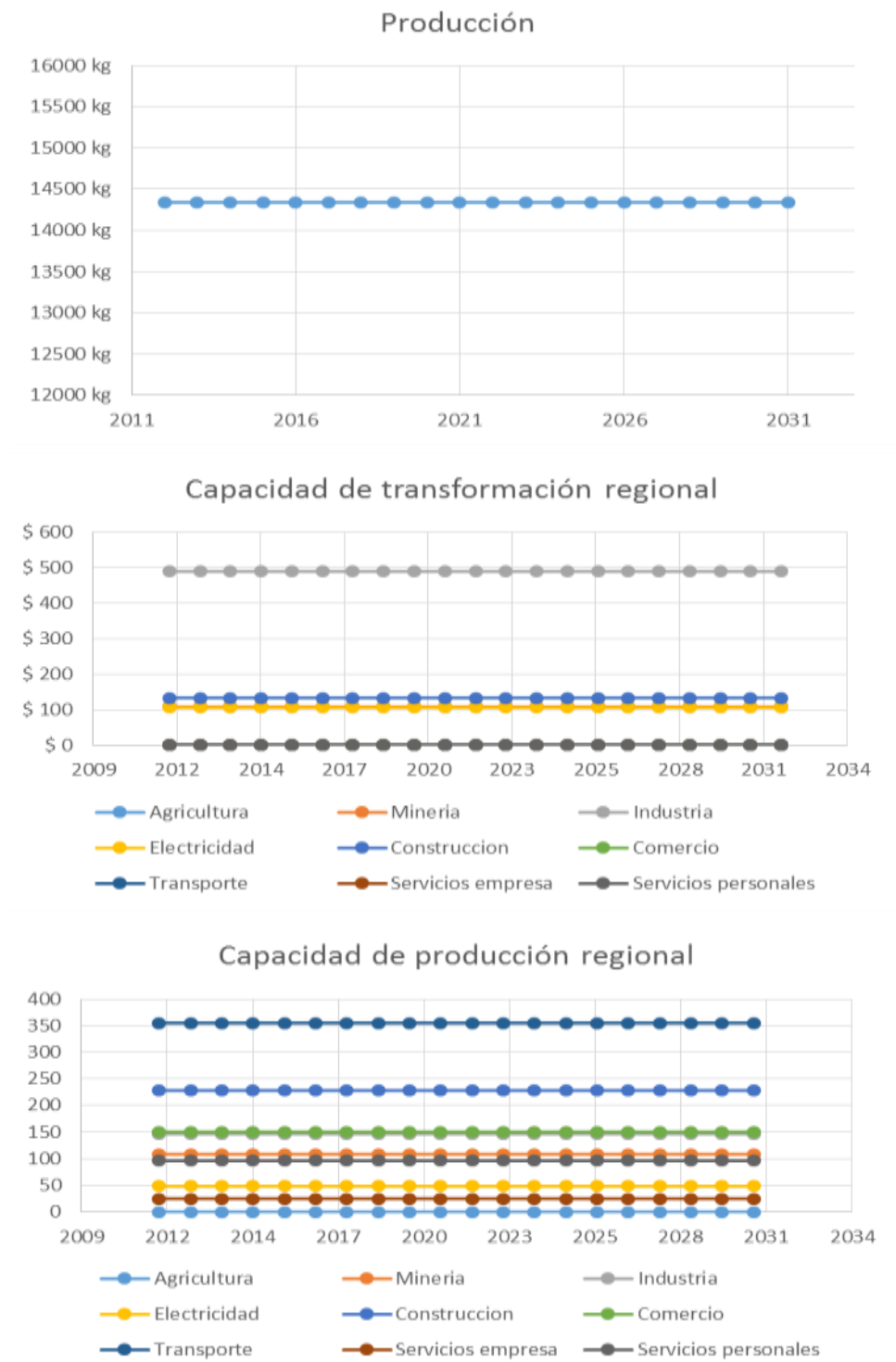


Ilustración 10: Producción constante y encadenamientos hacia adelante y hacia atrás.

En la segunda prueba se disminuye la producción durante dos años hasta llega a un valor de cero. El resultado esperado de esta prueba es la reducción paulatina de las capacidades de producción y de transformación regional. Este resultado se puede apreciar en la ilustración 11.

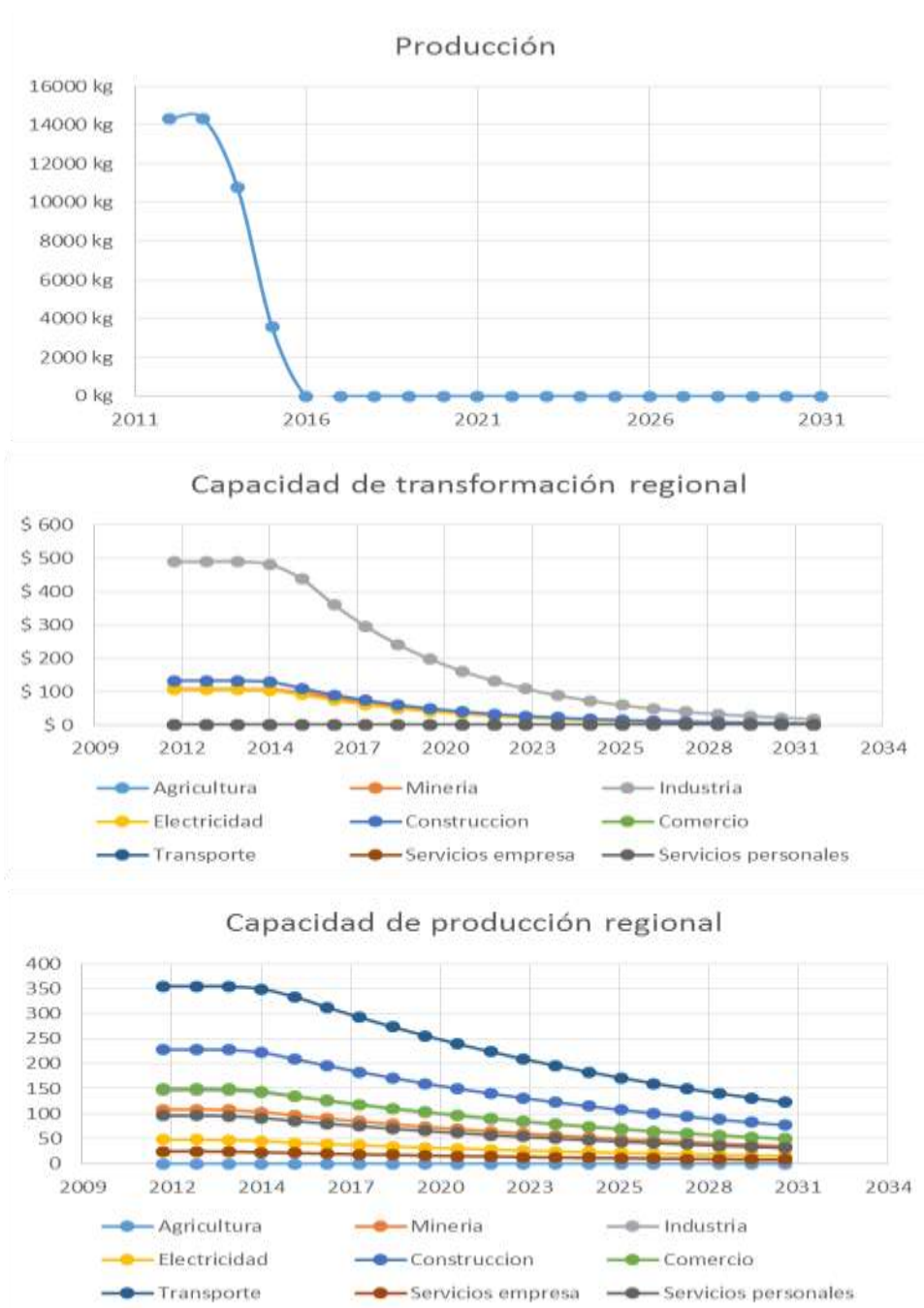


Ilustración 11: Producción cero, encadenamientos hacia adelante y hacia atrás.

4.5.3. Análisis de sensibilidad.

Para el análisis de sensibilidad eligen las variables porcentaje de compras regionales (el cual se refiere a la cantidad de compras realizadas a nivel regional como porcentaje de las compras totales) y proporción de ventas locales (que son las ventas de mineral realizadas a nivel regional). Para llevar a cabo el análisis se le asigna una función de distribución normal a la variable crecimiento esperado de la producción (lo cual permite que en el horizonte de simulación la producción pueda crecer o decrecer el 50%) y se realizan 50 simulaciones. El resultado de se puede observar en la ilustración 12, en donde se consignan los percentiles 10%, 25%, 50%, 75% y 90% de las variables de análisis.

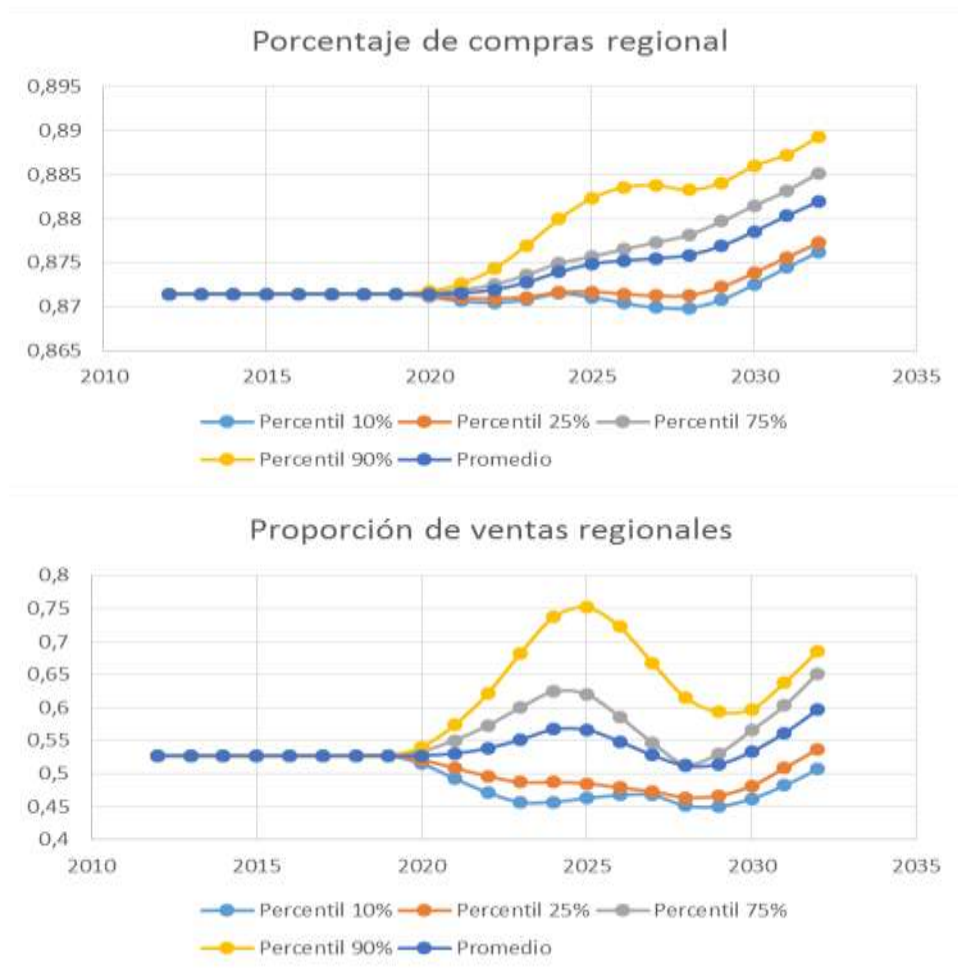


Ilustración 12: Análisis de sensibilidad de las proporciones de compra y venta regional con respecto a variaciones en la producción mineral.

Se debe tener en cuenta que las variables proporción de ventas y porcentaje de compras, son medidas de la intensidad de los encadenamientos regionales de la minería, hacia adelante y hacia atrás respectivamente. Estas variables tienen sensibilidad a los cambios en la producción. Sin embargo cambios de hasta en 50% de la producción, producen cambios de menos del 50% sobre las variables analizadas.

Las diferencias entre los resultados de la proporción de ventas y el porcentaje de compras se debe a las diferencias entre el tiempo que tarda construir capacidad para transformar minerales y capacidad para proveer insumos a la minería. Como construir capacidad para transformar los minerales tarda menos tiempo, la variable proporción de ventas es más sensible a crecimientos en la producción, mientras que lo contrario pasa con la variable porcentaje de compras. Además también debe tener en cuenta que el efecto de los multiplicadores de Leontief es mayor para los encadenamientos hacia adelante, lo que provoca tasas de crecimiento mayor en la variable porcentaje de ventas regionales.

5. Análisis de políticas

En este capítulo se utiliza el modelo formal como un laboratorio virtual para llevar a cabo una serie de recomendaciones, con el fin de desarrollar y fortalecer los encadenamientos productivos alrededor de la minería. La simulación inicia a partir del año 2012 (pues los datos de la matriz insumo producto más actuales son de este año) y finaliza en el año 2032. Se escoge este año pues a este corresponden con los escenarios que ha construido el estado para el sector minero a través de su Unidad de Planeación Minero Energética - UPME-(UPME, 2014). También se elige este horizonte de tiempo teniendo en cuenta que la construcción de las capacidades necesarias para la generación de encadenamientos, hacia adelante y hacia atrás dentro de la región, tarda un tiempo considerable. Entonces, se escoge este horizonte de tiempo pensando en poder observar los resultados de políticas cuyos efectos pueden tardar más de cinco años.

Se propone llevar a cabo tres escenarios, como se puede observar en la tabla 2. En los tres, se simula la producción promedio de Antioquia durante los últimos 20 años, con un aumento en el año 2016 debido a la entrada en producción del proyecto San Ramón de la empresa Red Eagle (Red Eagle Mining, 2015) y otro aumento en el año 2021 que es el debido a la entrada en producción del proyecto Buriticá de la empresa Continental Gold (Continental Gold, 2015). Cabe decir que el aumento de producción que se espera de estos proyectos es de 1500 Kg/año y 8900 Kg/año respectivamente, y que ambos tardan cuatro años en alcanzar esta producción máxima. Tras la entrada a producción de estos dos proyectos se espera que la producción de oro en Antioquia alcance unos 25000 kg/año.

Los tres escenarios de política que se llevarán a cabo serán: un escenario base, en el cual no se lleva a cabo ninguna intervención. Un escenario en el cual se genera una política de fortalecimiento de competitividad, lo cual mejora la capacidad de producción regional y la capacidad de transformación regional. En un tercer escenario se simula una política en la cual se intenta mejorar las proporciones de venta y compra regional a través del mejoramiento del capital social. Finalmente se lleva a cabo un escenario en el cual se

combinan las políticas de fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social.

Tabla 2: Escenarios de política.

Descripción de escenarios	Porcentaje de compras regional	Porcentaje de ventas regionales
Base	71,1%	94,8%
Fortalecimiento de competitividad	77,0%	95,0%
Fortalecimiento de capital social	83,4%	95,4%
Políticas combinadas	85,0%	96,0%

5.1. Escenario base.

Este escenario analiza cómo se desarrollarían los encadenamientos de la minería de oro en la región de Antioquia si no se lleva a cabo ninguna intervención política. La variable principal de los escenarios futuros es la producción, la cual como se mencionó atrás tendrá aumentos de 1500 kg/año y 8900kg/año durante los años 2016 y 2021, debido a la entrada en producción de los proyectos San Ramón y Buriticá. Las variables de análisis serán los porcentajes de compra regional y las proporciones de venta regional. Estas dos últimas variables nos servirán para realizar una comparación del escenario base con los escenarios de fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social, con el fin de evaluar la efectividad de dichas intervenciones.

En la tabla 3 y en la tabla 4 se pueden apreciar los parámetros principales que serán utilizados en el desarrollo de la simulación. La tabla 3 muestra la matriz insumo producto de la región de Antioquia, estimada en el capítulo 4.4 donde se desarrolla el modelo formal de simulación. En la tabla 4 se muestra la matriz inversa de la matriz de insumo producto también conocida como la matriz de multiplicadores de leontieff.

Los valores de la tabla 4 se pueden interpretar del siguiente modo. Por ejemplo, cuando se reemplaza un peso de compra al sector manufacturero en el exterior por un peso de compra al sector manufacturero regional, se generara 0.53 pesos extra, por el efecto multiplicador de Leontief. Otro ejemplo seria, por cada peso que se reemplaza de servicios empresariales en el exterior por servicios empresariales en la región, se generaran 0.011 pesos extra.

54 Evaluación de políticas para fomentar el desarrollo económico regional a través de los encadenamientos productivos en la industria minera: un enfoque desde la Dinámica de Sistemas.

Tabla 3: Matriz insumo producto de Antioquia.

(miles de millones de pesos)	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	Explotación de minas y canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	Actividades de servicios sociales, comunales y personales
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	302	0	2867	0	98	348	0	0	10
Explotación de minas y canteras	1	108	490	106	133	0	0	0	0
Industrias manufactureras	3085	146	16285	282	14342	6362	2404	360	2296
Suministro de electricidad, gas y agua	49	48	901	2373	36	544	229	157	381
Construcción	220	228	81	1240	1449	170	263	2324	2037
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	757	150	3490	106	2234	2545	1543	170	1116
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	239	355	1517	273	628	1579	1047	360	706
Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	90	25	547	293	340	1281	532	1996	993
Actividades de servicios sociales, comunales y personales	283	96	537	0	0	0	0	3611	6974

Tabla 4: Matriz de multiplicadores de Leontief para Antioquia.

(miles de millones de pesos)	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	Explotación de minas y canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	Actividades de servicios sociales, comunales y personales
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	1,0893	0,0076	0,6771	0,0301	0,1767	0,1488	0,0419	0,0612	0,0936
Explotación de minas y canteras	0,0329	1,0899	0,5396	0,1491	0,2353	0,0809	0,0376	0,0755	0,1019

Industrias manufactureras	0,0712	0,0127	1,3673	0,0517	0,3017	0,1606	0,0710	0,1042	0,1572
Suministro de electricidad, gas y agua	0,0323	0,0157	0,2790	1,4297	0,0908	0,1595	0,0724	0,0900	0,1603
Construcción	0,0354	0,0256	0,1161	0,1563	1,1615	0,0875	0,0544	0,2972	0,3081
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	0,0685	0,0189	0,3353	0,0463	0,2215	1,2082	0,1184	0,0997	0,1813
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	0,0517	0,0438	0,3028	0,0688	0,1638	0,2266	1,1371	0,1181	0,1860
Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	0,0340	0,0117	0,1826	0,0690	0,1134	0,2117	0,0961	1,3000	0,2347
Actividades de servicios sociales, comunales y personales	0,0327	0,0108	0,1131	0,0207	0,0445	0,0622	0,0277	0,3297	1,5485

Como se puede ver en el gráfico de arriba de la ilustración 7 a lo largo de los 20 años de simulación el porcentaje de compras regionales pasa de 92% a 94.5%. En el gráfico de abajo de la ilustración 7 se ve que para la proporción de ventas regionales el cambio es desde 58% a 71%. Ambas variables enseñan un patrón constante a lo largo de los primeros 4 años de simulación (2012-2016) debido a que la producción también es constante. Luego hay una pequeña perdida en las proporciones de compra y venta regional, cuando aumenta la producción, sin embargo conforme la industria regional construye capital humano y físico, se recupera el patrón creciente, reemplazando las ventas y compras en el exterior, por compras y ventas a nivel regional.

La diferencia entre los crecimientos de la proporción de ventas regionales y el porcentaje de compras regionales se debe a la complejidad de los encadenamientos hacia atrás en comparación con los encadenamientos hacia delante de la minería. Es decir, los encadenamientos hacia adelante del oro están conformados principalmente por industrias de bajo nivel tecnológico (como la fundición o la joyería), mientras que los encadenamientos hacia atrás tienen un componente de mayor contenido tecnológico. Esto quiere decir que el retardo para la creación de capacidad es mayor en los encadenamientos hacia atrás que para los encadenamientos hacia adelante. El

crecimiento de la proporción de ventas regional esta explicado entonces por dos factores: un retardo pequeño para construir capacidades de transformar el mineral a nivel local y un efecto del multiplicador de Leontief que es muy significativo.

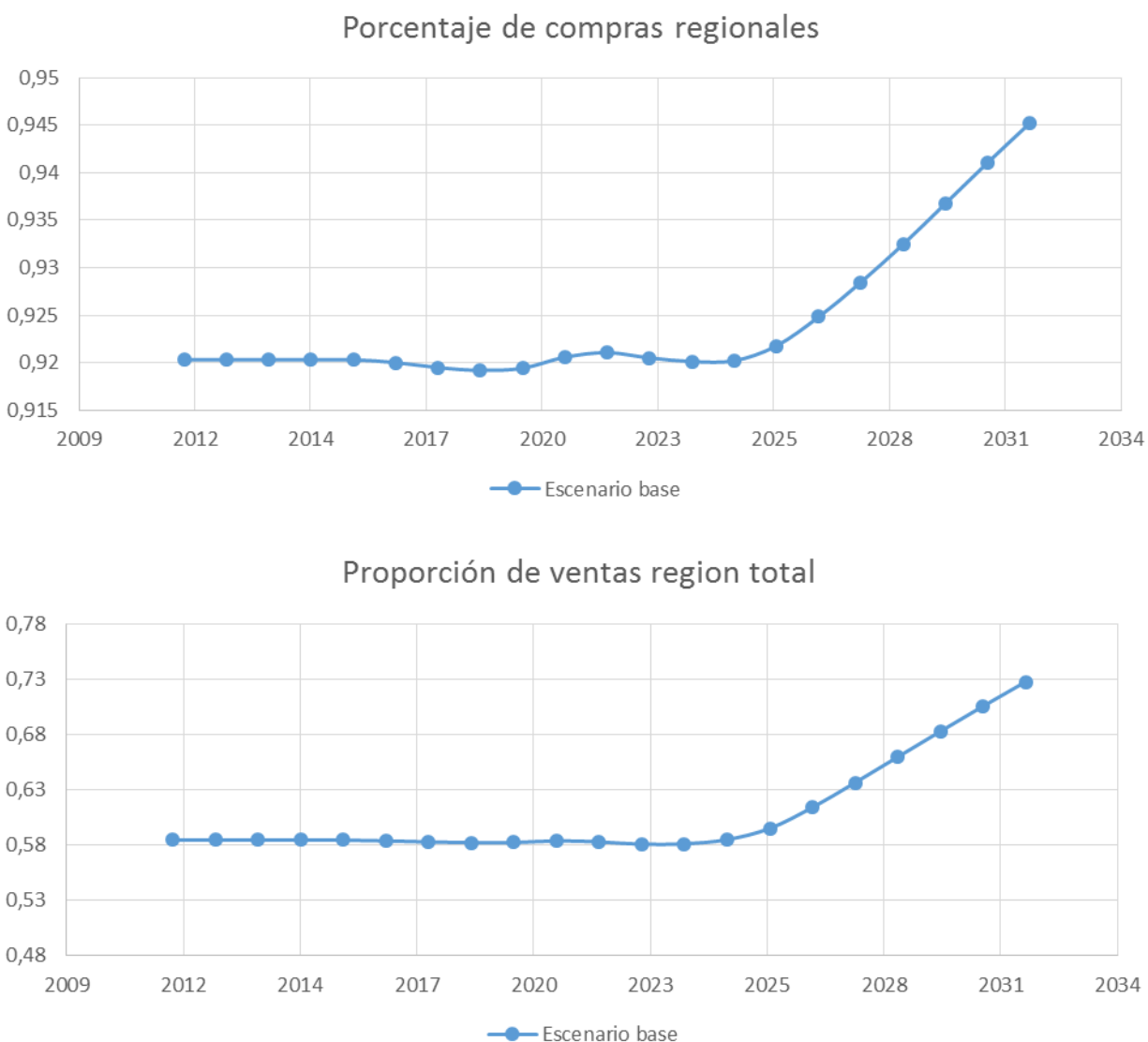


Ilustración 13: Proporciones de venta y compra regional en el escenario base

En el gráfico de arriba de la ilustración 8 se observa la capacidad de producción regional, mientras que en el gráfico de debajo de la misma ilustración se enseña la capacidad de transformación regional. El crecimiento de la capacidad de producción regional tiene una

tendencia lineal mientras que la capacidad de transformación regional tiene una tendencia más exponencial. Esto se debe a que los multiplicadores de Leontief son mayores para los encadenamientos hacia adelante que para los enseñamientos hacia atrás.

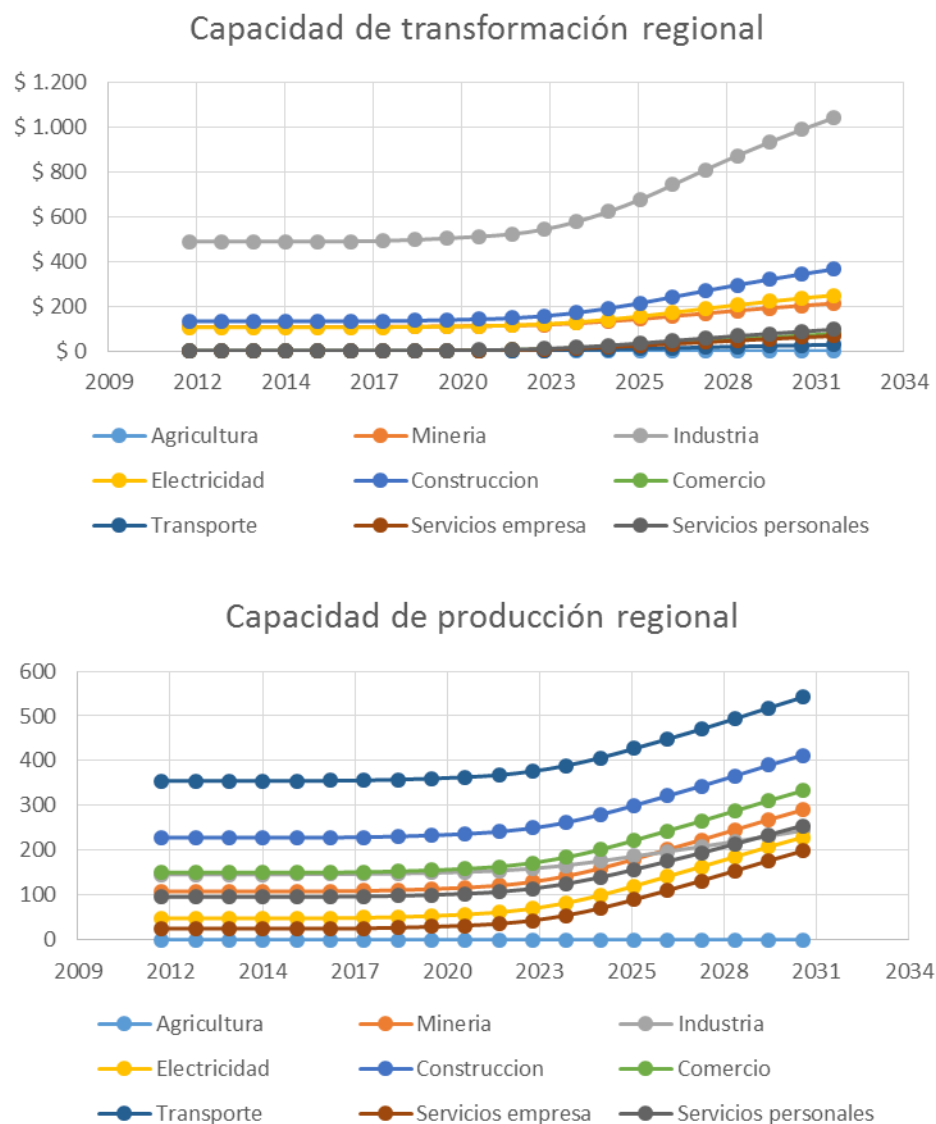


Ilustración 14: Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por sector.

Se debe tener en cuenta que los gráficos de la ilustración 8 muestran los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante de una manera más desagregada, pues en estos se ven las transacciones que hace la minería con cada sector de la economía. El gráfico en la parte superior muestra las compras que hace la minería a los demás sectores, mientras que el de la parte inferior muestra las ventas.

En el gráfico de la parte superior de la ilustración 9 se muestra la evolución de los encadenamientos hacia atrás de la minería con el sector manufacturero, mientras que en la parte inferior están los encadenamientos hacia delante de la minería con el sector manufacturero. Como se había mencionado las tasas de crecimiento son más aceleradas en los encadenamientos hacia adelante debido a que el efecto del multiplicador de Leontief es mayor para estos en comparación con los encadenamientos hacia atrás. También se debe tener en cuenta que el retardo para construir capacidad en los encadenamientos hacia adelante, es menor en la joyería (principal encadenamiento hacia adelante del oro) que para otras industrias proveedoras de la minería.

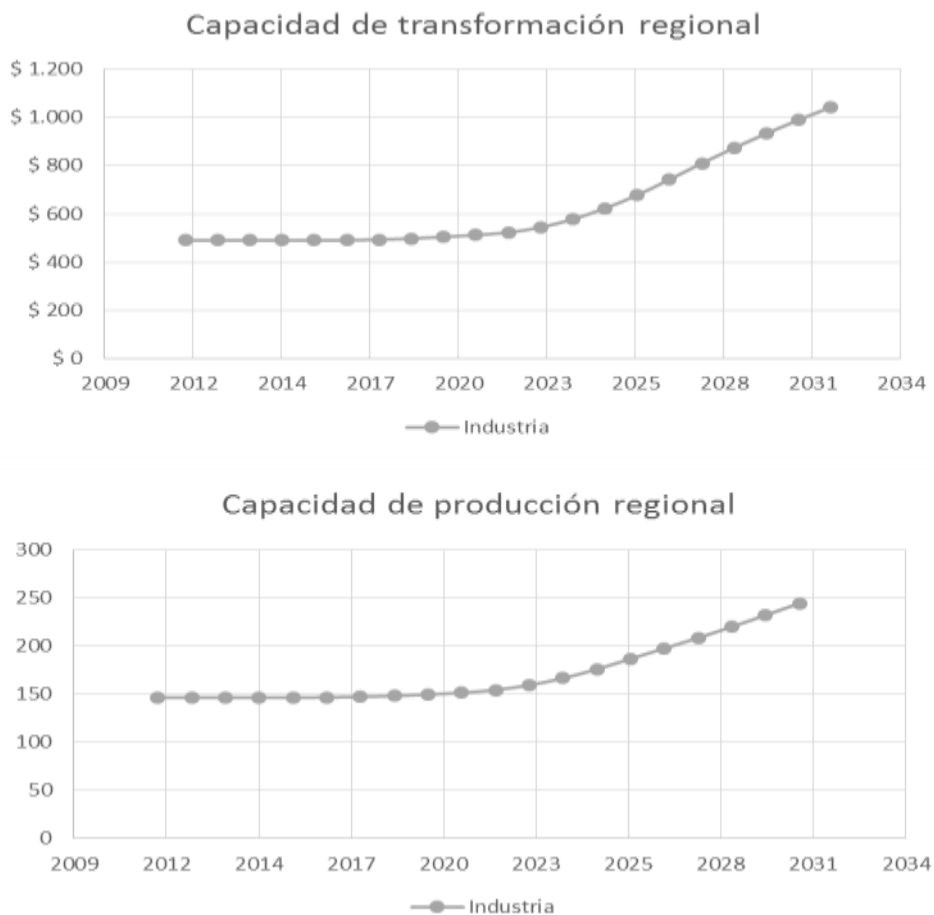


Ilustración 15: Encadenamientos hacia atrás y hacia adelante con el sector manufacturero.

5.2. Escenario de fortalecimiento de competitividad.

En la investigación se observa que el mayor motivo para que la empresa no compre (o venda) a nivel regional es la falta de una oferta (o demanda). Es decir, las empresas se abastecen en el exterior de los productos y servicios que no puede contratar a nivel regional, debido a su inexistencia y venden su mineral a nivel internacional porque a nivel regional no existe una demanda por parte de las empresas encargadas de transformar el mismo.

En la ilustración 10 se muestra la capacidad de producción regional en la parte superior y la capacidad de transformación regional en la parte inferior. El efecto de la política de fortalecimiento de la competitividad es positivo, pues las transacciones totales, hacia adelante y hacia atrás, tuvieron una mejora de aproximadamente 400 mil millones de pesos. En esta ilustración se puede ver como las tasas de crecimiento de la capacidad de transformación regional son mayores que las tasas de la capacidad de producción regional. Esto se debe principalmente al efecto de los multiplicadores de Leontieff, los cuales son mucho mayores para los encadenamientos hacia adelante.

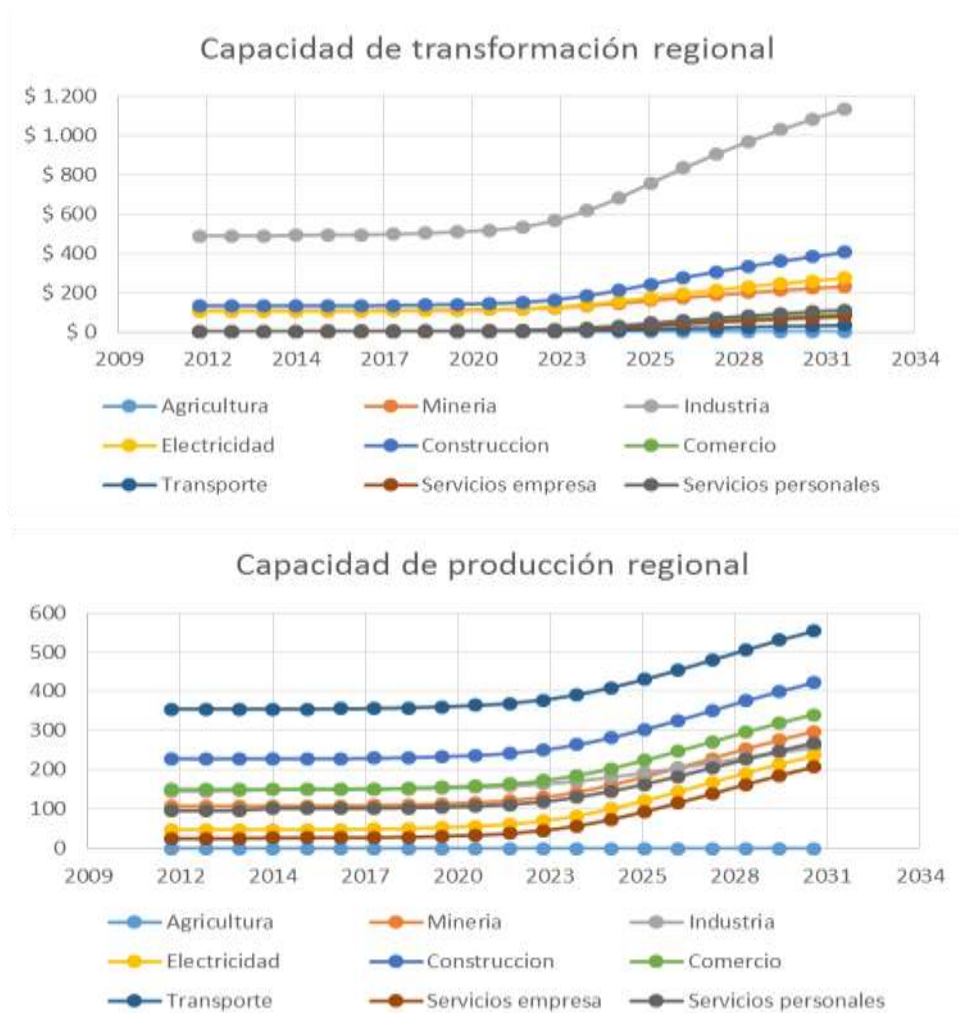


Ilustración 16: Capacidad de transformación y producción regional, escenario fortalecimiento de competitividad

Como ya señalamos, para las compras, el mayor trabajo por hacer está en el fortalecimiento de la industria, en especial en los rubros con más importaciones (sustancias y productos químicos, maquinaria y equipo, productos metalúrgicos básicos). Por el lado de las ventas el mayor trabajo por hacer también está en la industria, en especial en la producción de joyería. De todo el oro que se produce en Antioquia, aproximadamente el 34% se transforma a nivel regional.

En la parte superior de la ilustración 11 se muestra el porcentaje de compras en la región, mientras que en la parte inferior se enseña la proporción de ventas regionales. Cada grafico muestra con una línea naranja el resultado de la simulación tras la intervención de

fortalecimiento de competitividad y con una línea azul el escenario base. El porcentaje de compras regionales pasa de 94% a un 95% tras la intervención, mientras que la proporción de ventas regionales pasa de 71% a 74%. Si bien los resultados de la intervención de fortalecimiento de competitividad, generan crecimiento pequeños al final del horizonte de simulación, se debe tener en cuenta que con la intervención, el crecimiento de las ventas y compras a nivel regional es más rápido. Esto se debe a que la construcción de la capacidad comienza antes de la entrada en producción de los proyectos San ramón y Buriticá.

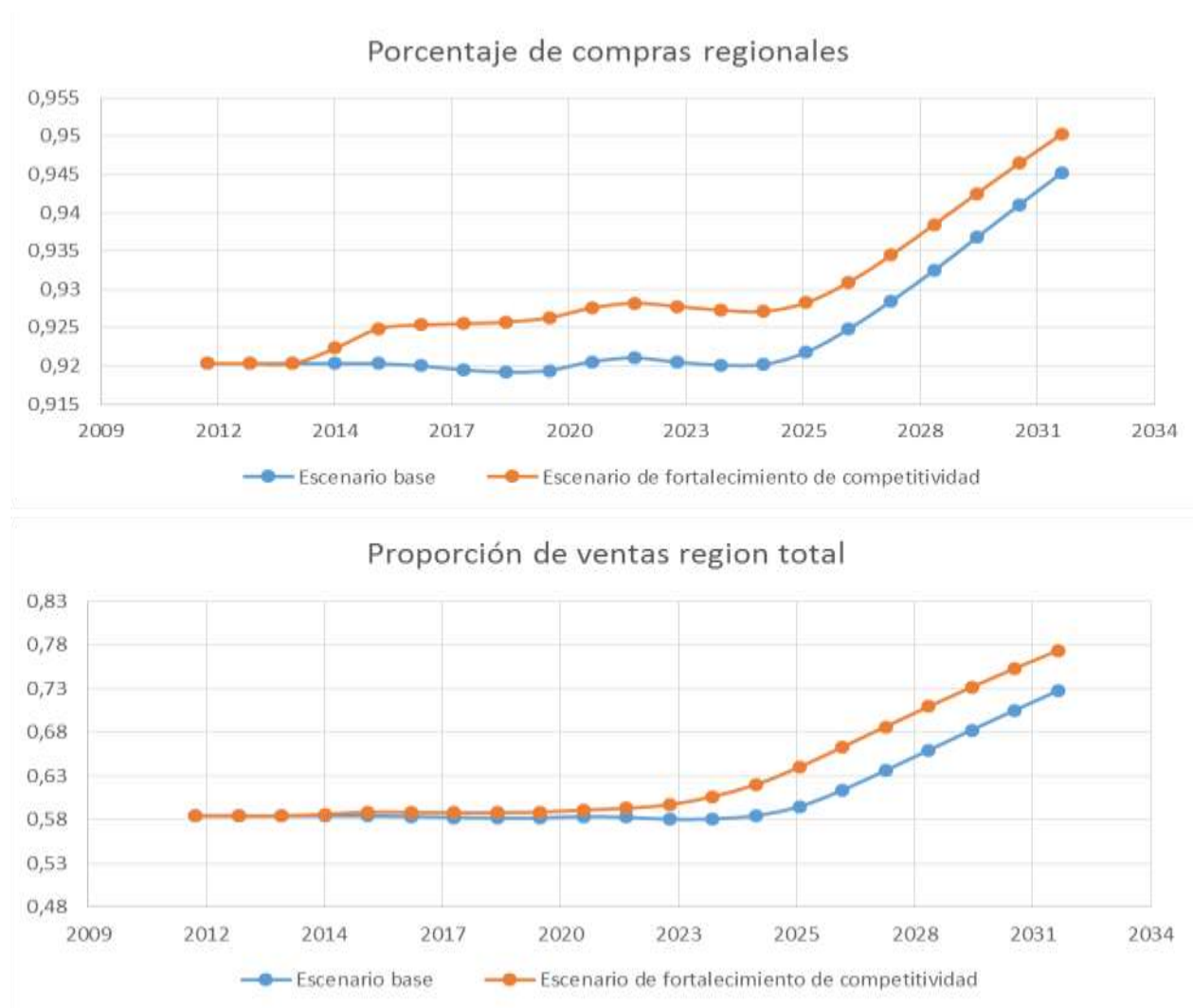


Ilustración 17: Proporciones de compras y ventas regionales, escenario de fortalecimiento de competitividad

El costo de llevar a cabo este programa de fortalecimiento de competitividad es de aproximadamente 15 mil millones de pesos, los cuales son gastados a lo largo de dos

años. Esta cifra se escoge teniendo en cuenta experiencias en el desarrollo de políticas de fortalecimiento de competitividad. Por ejemplo la experiencia chilena, la cual a lo largo de 10 años ha gastado aproximadamente 90 mil millones de pesos en su programa de proveedores de clase mundial.

5.3. Escenario de fortalecimiento de capital social.

Uno de los problemas grandes identificados en la evaluación de encadenamientos de la minería en la región es el capital social. El problema está en varias aristas: la falta de redes de trabajo con las empresas de producción mineral; la falta de redes entre las empresas que venden sus productos a la industria minera; la falta de redes de empresas para comprar el mineral producido en la región con la finalidad de transformarlo (Gutiérrez-rodríguez, 2015). Estas dos últimas aristas de la problemática son de especial importancia debido a que los proveedores y demandantes de la minería se caracterizan por ser pequeñas empresas, por lo que no tienen musculo financiero.

“El sector de la joyería en los distritos auríferos de Colombia trabaja a pequeña escala sin tener un esquema de división del trabajo, que permita la especialización en cada una de las etapas que conlleva la elaboración de una joya. Estas formas de producción son incipientes para afrontar el mercado, teniendo que constituirse en verdaderas unidades empresariales” (Artesanías de Colombia, 2005). Entonces, la idea con esta política es continuar con iniciativas como las llevadas a cabo por la empresa Artesanías de Colombia con su Programa Nacional de joyería. En este programa se buscaba, mediante procesos de concertación, fortalecer o asociar en algún tipo de organización a los mineros interesados en el oficio, joyeros y orfebres artesanos (Artesanías de Colombia, 2005).

En el grafico superior de la ilustración 12 se muestra la capacidad de producción regional y en el grafico inferior se muestra la capacidad de transformación regional. Estos gráficos muestran las mismas características que en el escenario base y en el escenario de fortalecimiento de competitividad. Sin embargo las tasas de crecimiento son ligeramente mayores en este escenario, por lo que al final de la simulación se logran mejorías en las transacciones, hacia adelante y hacia a atrás, de aproximadamente 50 mil millones de pesos, con respecto al escenario de fortalecimiento de competitividad.

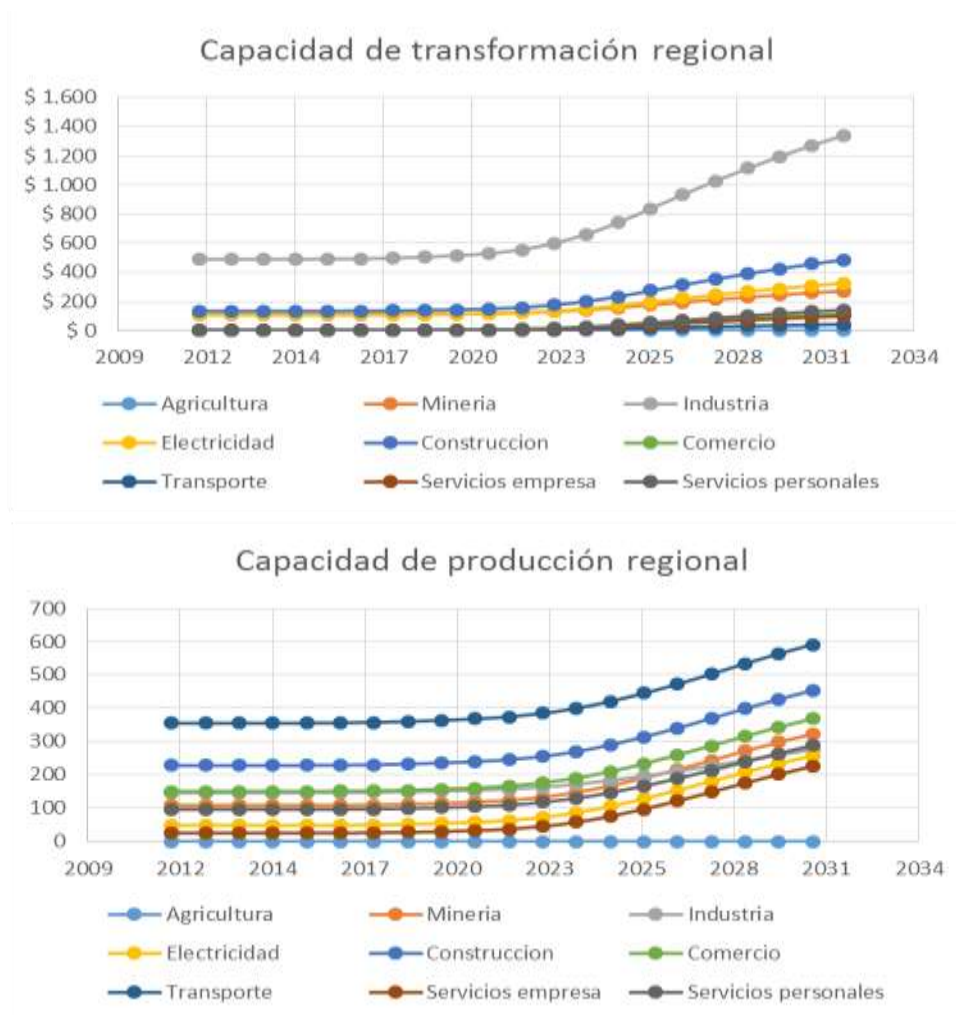


Ilustración 18: capacidad de transformación y producción regional, escenario fortalecimiento de capital social

En el gráfico superior de la ilustración 13 se muestra el porcentaje de compras regional y en el gráfico inferior se muestra la proporción de ventas regionales. Cada gráfico muestra con una línea naranja el resultado de la simulación tras la intervención de fortalecimiento de capital social y con una línea azul el escenario base. El porcentaje de compras regionales al final de la simulación alcanza un valor de 96% y la proporción de ventas regionales alcanza un valor de 75%.

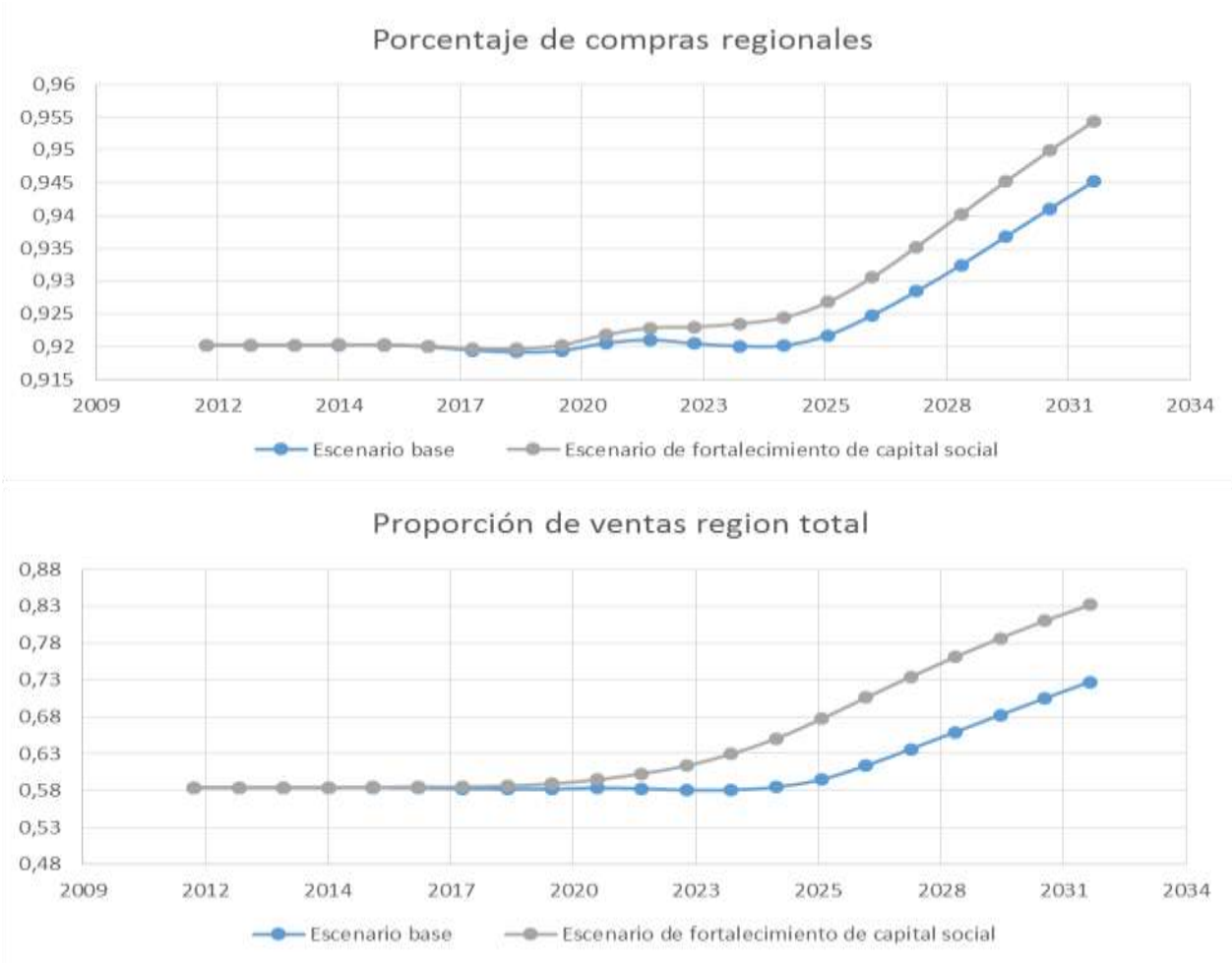


Ilustración 19: Proporciones de compra y venta, escenario de fortalecimiento de capital social

En cuanto a los costos de llevar a cabo una intervención de este tipo, tomamos como punto de referencia intervenciones similares. Un costo aproximado de una intervención de este tipo sería de unos 8 mil millones de pesos. Esta intervención tendría como finalidad la capacitación de las pequeñas empresas joyeras en temas empresariales y de asociatividad, con el fin de abordar concertada y eficientemente los procesos de comercialización y producción a gran escala.

5.4. Política de fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social.

En la última parte del análisis de resultados se simula el modelo llevando a cabo juntas las dos intervenciones de política propuestas: fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social. Tal como se esperaba los resultados son mejores cuando se combinan ambas políticas, pues estas tienen efectos sinérgicos. El costo aproximado de una intervención de este tipo sería de unos 100 mil millones de pesos. En la ilustración 20 se puede observar los porcentajes de compras regionales y las proporciones de venta en la región para los distintos escenarios de simulación llevados a cabo.

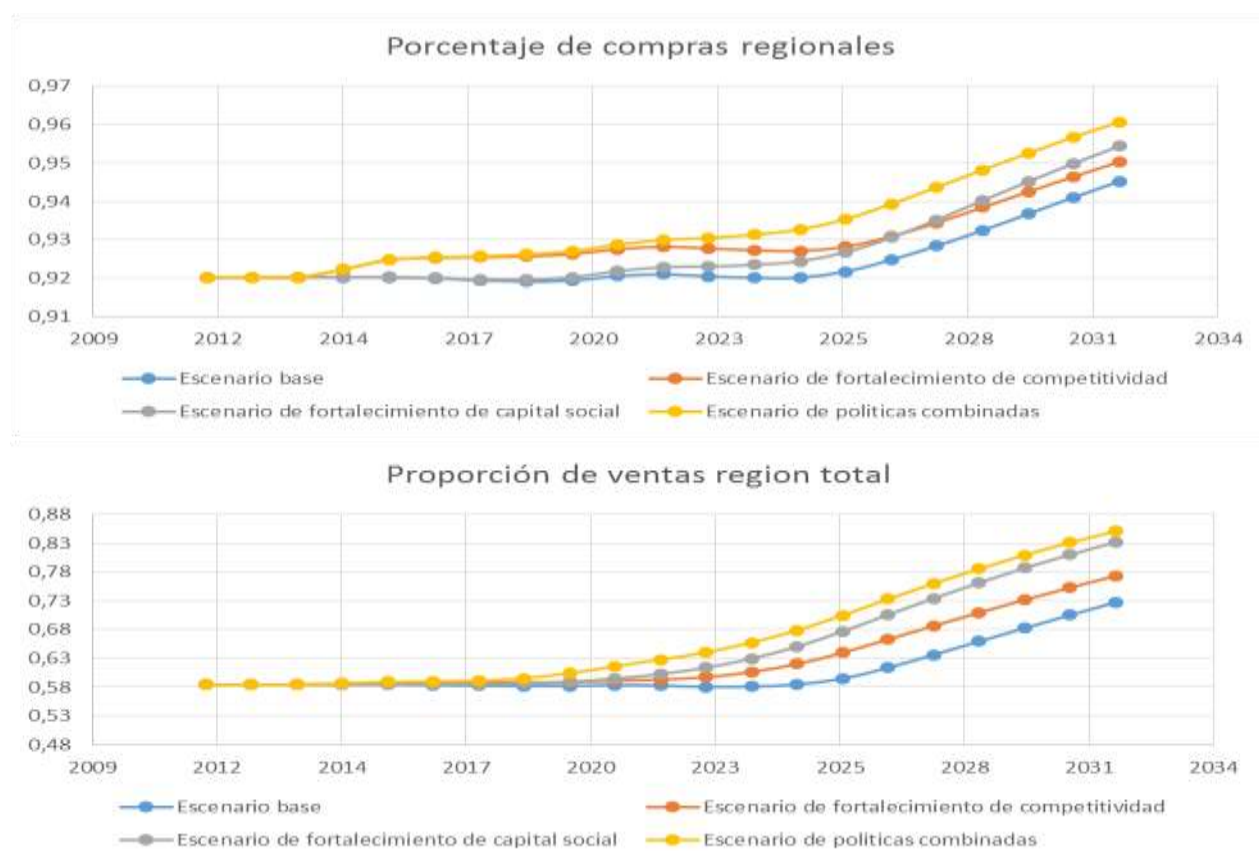


Ilustración 20: resumen de resultados de escenarios.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

En este trabajo se busca explicar el fenómeno de los encadenamientos basado en la literatura y el modelamiento. Del análisis de la literatura se muestra que la teoría más apropiada para estudiar el fenómeno de los encadenamientos es la desarrollada por Hirshman y Beccatini. Con Hirshman es posible ver los encadenamientos como una serie de interdependencias económicas de la minería con los demás sectores de la economía de una región, todo ello a partir de la matriz insumo producto. Con la teoría de Beccatini podemos observar la importancia de las variables sociales en el desarrollo de encadenamientos.

La literatura muestra que los encadenamientos no se dan de manera espontánea. Esto se puede observar cuando se comparan los encadenamientos de regiones que tuvieron una política de *laissez faire* en comparación con otras regiones con políticas más activas en términos de financiación y articulación de actores. Las políticas de regiones como Queensland o Antofagasta han probado su éxito en el fomento y fortalecimiento de las conexiones de la industria regional con la minería. Esto muestra la necesidad de fortalecer los encadenamientos productivos para mejorar el desarrollo económico de la región.

La matriz insumo producto ha sido la herramienta comúnmente utilizada para estudiar los encadenamientos. Esta herramienta tiene la debilidad de realizar un análisis estático, pues esta es una medida de los encadenamientos en un punto en el tiempo. Para superar esta debilidad se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas acoplado a la matriz insumo. Este modelo de dinámica de sistemas representa el sector minero y sus respectivos encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. El modelo se simuló considerando tres escenarios: status quo, fortalecimiento de competitividad y fortalecimiento de capital social. Estas políticas son propuestas a partir de la revisión de experiencias internacionales exitosas.

La evaluación de políticas por medio de simulación se puede concluir que ampliar los encadenamientos hacia atrás con el sector manufacturero es más difícil en comparación con el desarrollo de encadenamientos con otros sectores. Esto se puede observar en las tasas de crecimiento de los encadenamientos hacia atrás, las cuales son menores en comparación con las de los encadenamientos hacia adelante. Esto se debe principalmente a dos cosas: el efecto de los multiplicadores de Leontieff es mayor para los encadenamientos hacia adelante que para los encadenamientos hacia atrás; y, el retardo para la construcción de capacidad es mayor para la construcción de encadenamientos hacia atrás que hacia adelante. El retardo para la construcción de capacidad es mayor para los encadenamientos hacia atrás porque estos tienen mayores requerimientos en términos de capital humano y financiero que los encadenamientos hacia adelante.

Del modelamiento se puede concluir que utilizando la Dinámica de Sistemas en conjunto con las matrices de Leontieff se pueden hacer análisis de encadenamientos más completos. Esto debido a que con la Dinámica de Sistemas se superan las principales dificultades de los análisis llevados a cabo solo con matrices de Leontief. Como por ejemplo, los análisis llevados a cabo solo con matrices de Leontief son estáticos, pues solo enseñan una foto de los encadenamientos en un punto en el tiempo. También los análisis llevados a cabo solo con matrices de Leontief no pueden evaluar políticas que tengan como finalidad mejorar los encadenamientos.

Finalmente se concluye que, si bien nuestro modelo híbrido de matrices de Leontief con Dinámica de Sistemas contiene los elementos principales en la generación de encadenamientos a nivel regional, también se han dejado por fuera algunos elementos importantes, como los efectos macroeconómicos. Los efectos macroeconómicos, como por ejemplo los cambios en la tasa de cambio, están por fuera del alcance de la investigación, pero estos pueden ser determinantes para una empresa a la hora de decidir si importar insumos o comprarlos a nivel regional. La ausencia de estos efectos macroeconómicos puede generar sobreestimaciones en el crecimiento de los encadenamientos.

6.2. Recomendaciones

Tras realizar este trabajo investigativo se puede recomendar una intervención de política con tres frentes de trabajo:

- El primer frente de trabajo tiene que ver con fortalecer la competitividad de las empresas compradoras y proveedoras de la industria minera. Los proyectos de infraestructura vial que se están llevando a cabo forman una parte de esta política. Sin embargo, esta política debe también estar acompañada de programas de capacitación y de transferencia de conocimiento, desde las entidades académicas y desde las grandes empresas mineras, hacia los pequeños productores y las pequeñas empresas conectadas a la industria minera – como por ejemplo los joyeros, las empresas de servicios, de transporte y de recuperación ambiental.
- El segundo frente de trabajo tiene que ver con el fortalecimiento del capital social. Este a su vez tiene dos líneas. En la primera línea el estado debe intentar articular a la academia, a las grandes empresas y a las PYMES, con el fin de generar programas de capacitación y transferencia de conocimiento acordes a las necesidades de la industria minera. En la segunda línea el estado debe generar programas que busquen asociar a las PYMES en unidades productivas de mayor tamaño, con el fin de generar organizaciones con un mayor músculo financiero y que puedan aprovechar economías de escala. Esta segunda línea también busca facilitar la interacción entre las grandes empresas mineras y la industria regional, pues en la medida en que sea más dispersa (es decir con muchos actores pequeños), será menos eficiente y atractivo para las empresas grandes.
- El tercer frente de trabajo tiene que ver con la coordinación de las políticas de tipo macro y tipo micro. Se hace esta recomendación pues las políticas de fortalecimiento de competitividad y capital social solo serán exitosas en un entorno macroeconómico estable. Por ello se recomienda implementar políticas de fondos de estabilización de precios que sea muy estricto, con el fin de evitar las dificultades asociadas a la revaluación de la moneda, lo cual corta la competitividad de la industria regional.

A. Anexo: Ecuaciones del modelo.

Tabla 5: Ecuaciones de los encadenamientos hacia adelante.

Tipo de variable	Nombre	Und.	Documentación /descripción	Expresión matemática	Ref.
Flujo	Producción	Kg/yr	Cantidad de oro explotado durante un año en la región	Producción promedio + Crecimiento esperado	Propuesta
Constante	Producción promedio	Kg/yr	Cantidad de oro explotado en promedio desde 1990 en la región	14340<<kg/yr>>	(SIMCO, 2016)
Auxiliar	Crecimiento esperado	Kg/yr	Crecimiento esperado en la producción de oro en Antioquia por nuevos proyectos mineros	Ramp(375<<kg/yr>>,start time +4<<yr>>) - Ramp(375<<kg/yr>>,start time +8<<yr>>) + Ramp(375<<kg/yr>>,start time +9<<yr>>) - Ramp(375<<kg/yr>>,start time +13<<yr>>)	(Red Eagle Mining, 2015)
Auxiliar	Ingresos de la minería de oro	\$/yr	Ingresos por la venta de oro	Producción * Precio	Propuesta
Auxiliar	Valor total de demanda nueva a la	\$/yr	Aumento de demandas por oro de los demás sectores de la	ARRSUM(('Ingresos de la minería de oro en Antioquia'*Proporción de ventas en la región por	Propuesta

	minería en la región		economía producidas por un aumento en la producción de oro	sector')-('demandas iniciales a la minería por sector en región'))* 'Multiplicadores de leontief de venta'	
Auxiliar	Demandas iniciales a la minería por sector en región	\$/yr	Demanda de oro por sector en Antioquia año 2012	{1,108,490,106,133,0,0,0,0}	(DANE, 2012)
Auxiliar	Multiplicadores de leontief de venta	Adim	Efecto de las variaciones en la producción mineral sobre las demandas de mineral de los demás sectores de la economía	{0.0,0.08,0.53,0.14,0.23,0.0,0.0,0.0,0.0}	(DANE, 2012)
Auxiliar	Demanda por sector en región	\$/yr	Demanda de los demás sectores a la minería	'Demandas iniciales a la minería por sector en región' + 'Valor total de demanda nueva a la minería en la región'	Propuesta
Flujo	Cambio demanda potencial por sector a la minería en región	\$/yr ²	Cambio en las expectativas por nueva demanda generada por aumentos en la producción de oro	((('demanda por sector en región')-'demanda potencial por sector en región retardada'/1<<yr>>))	Propuesta

Nivel	Demanda potencial por sector en región retardada	\$/yr	Expectativas por nueva demanda generada por aumentos en la producción de oro	'demandas iniciales a la minería por sector en región'	(DANE, 2012)
Nivel	Capacidad de transformación regional	\$/yr	Capacidad (en términos de capital humano y físico) de transformar minerales en la región	'Construcción de capacidad de transformación regional' - 'Depreciación de capacidad de transformación regional'	(DANE, 2012)
Flujo	'Construcción de capacidad de transformación regional'	\$/yr ^z	Construcción de capacidad en términos humanos (educación) y físico (disponibilidad de infraestructura y maquinaria)	((('demanda potencial por sector en región retardada' - 'capacidad de transformación regional')/'Tiempo de ajuste2')+depreciación) * 'capital social ventas'	Propuesta
Constante	Tiempo de ajuste	yr	Tiempo promedio para educar a alguien en la producción de joyería	3<<yr>>	
Flujo	'Depreciación de capacidad de transformación regional'	\$/yr ^z	Desgaste natural del capital físico y capital humano	'capacidad de transformación regional'/Tiempo depreciación	Propuesta
Auxiliar	Proporción de ventas en la	Adim	Porcentaje de mineral que se	('capacidad de transformación	(DANE, 2012)

	región por sector		transforma a nivel regional por sector	regional'/(ARRSUM('capacidad de transformación regional')+'Ventas externas retardadas'))	
Auxiliar	Proporción de ventas en la región total	Adim	Porcentaje de mineral que se transforma a nivel regional	ARRSUM(Porcentaje de mineral que se transforma a nivel regional por sector)	(DANE, 2012)
Auxiliar	Ventas externas	\$/yr	Exportaciones de mineral sin ningún tipo de transformación	(1-ARRSUM('Proporción de ventas en la región por sector'))*'Ingresos de la minería de oro en Antioquia'	Propuesta
Flujo	Cambio en ventas externas	\$/yr ²	Cambio en las exportaciones de mineral sin transformación	('ventas externas'*1<<yr>>- 'Ventas externas retardadas')/ Tiempo ajuste ventas exterior	Propuesta
Constante	Tiempo ajuste ventas exterior	yr	Tiempo que tarda cambiar las ventas del exterior	5<<yr>>	Propuesta
Nivel	Ventas externas retardadas	\$/yr	Ventas que se realizan en el exterior retardadas	Cambio en ventas externas	(DANE, 2012)
Auxiliar	Función no lineal capital social ventas	Adim	Efecto recursos actuales o potenciales que pertenecen a una red	GRAPH(ARRSUM('Proporción de ventas en la región por sector'),0.5843,0.00085,{	(Portales, 2009)

			de relaciones sociales durables entre sus miembros más o menos institucionalizada, que genera reducciones de costo de transacción	1,1.00025,1.0005,1.001,1.003,1.006,1.012,1.024,1.048,1.096,1.12,1.132,1.138,1.14,1.145,1.148,1.149,1.1495,1.1499,1.15//Min:-1;Max:11//})	
Flujo	Construcción de capital social de ventas	Yr ⁻¹	Formación de relaciones comerciales e informales entre la minería y demás sectores de la región	('Función no lineal capital social ventas'-'capital social ventas')/1<<yr>>	(Portales, 2009)
Nivel	'capital social ventas'	Adim	Acumulación del efecto del capital social		(Portales, 2009)

Tabla 6: Ecuaciones de los encadenamientos hacia atrás.

Tipo de variable	Nombre	Und.	Documentación / descripción	Expresión matemática	Ref.
Auxiliar	Valor total de compra nueva de minería en región y mundo	\$/yr	Aumento de demandas de la minería a los demás sectores de la economía producidos por un aumento en la	ARRSUM(('Ingresos de la minería de oro en Antioquia'*('tasa de reinversión'))-'Compras iniciales de la minería por sector en región y mundo'))*ARRSUM('Multi	Propuesta

			producción mineral.	plicadores de leontief de compra')	
Constante	Tasa de reinversión	Adim	Porcentaje de los ingresos dedicado a la compra de insumos a los demás sectores de la economía de la región	{0.0,0.08,0.15,0.03,0.16,0.1,0.25,0.02,0.08}	(DANE, 2012)
Auxiliar	'Compras iniciales de la minería por sector en región y mundo'	\$/yr	Compras (en el mundo y la región) iniciales que realiza la minería para llevar a cabo su labor,	{0,108,218,48,228,150,355,30,110}	(DANE, 2012)
Auxiliar	'Multiplicadores de leontief de compra'	Adim	Efecto de las variaciones en la producción mineral sobre las demandas de la minería a los demás sectores de la economía	{0.0076,.08,0.012,0.015,0.025,0.0189,0.0438,0.011,0.010}	(DANE, 2012)
Auxiliar	Compras de la minería a demás sectores de la región	\$/yr	Compras que realiza la minería a los demás sectores de la economía de la región	ABS(((Compras iniciales de la minería por sector en región y mundo')+('Valor total de compra nueva de minería en región y mundo'))*'Porcentaje de	Propuesta

				compras regionales por sector')	
Flujo	Cambio Compras potenciales de la minería a demás sectores de la región	$\$/yr^z$	Cambio en las expectativas de demanda de la minería a los demás sectores de la economía de la región	((('Compras potenciales de la minería a demás sectores de la región')- 'Compras potenciales de la minería a demás sectores de la región retardadas')/1<<yr>>	Propuesta
Nivel	Compras potenciales de la minería a demás sectores de la región retardadas	$\$/yr$	Expectativas de demanda de la minería a los demás sectores de la economía de la región generadas por un aumento (o disminución) de la producción	'Compras iniciales de la minería por sector en región	(DANE, 2012)
Nivel	Capacidad de producción regional	$\$/yr$	Capacidad de producción (en términos de capital físico y humano) que hay en la región para satisfacer la demanda de la minería	Construcción de capacidad producción regional – Depreciación de capacidad de producción regional	Propuesta
Flujo	Construcción de capacidad	$\$/yr^z$	Formación de capital humano y físico regional	('Compras potenciales de la minería a demás sectores de la región	Propuesta

	producción regional		necesario para la producción de bienes y servicios demandados por la minería.	retardadas'-'Capacidad de producción regional')/Tiempo de ajuste' +depreciación de capacidad de producción regional)*'capital social compras'	
Constante	Tiempo de ajuste'	yr	Tiempo que tarda la region en construir capital humano (educación) y capital físico (infraestructura) para satisfacer las demandas de la minería	10<<yr>>	Propuesta
Flujo	Depreciación de capacidad de producción regional	\$/yr ^z	Desgaste natural del capital físico y humano	Capacidad de producción regional/tiempo de depreciación 2	Propuesta
Auxiliar	Porcentaje de compras regionales por sector	Adim	Compras a cada sector en la región comparado con las compras totales	('Capacidad de producción regional'DIVZ0('Capacidad de producción regional'+'Compras en el exterior retardadas'))	(DANE, 2012)

Auxiliar	porcentaje de compras regionales total Compras en el exterior	Adim	Compras totales en la región comparadas con las compras totales en región y mundo	ARRAVERAGE('Porcentaje de compras regionales por sector')	(DANE, 2012)
Auxiliar	compras en el exterior	\$/yr	Compras que realiza la minería en el exterior	(1-'Porcentaje de compras regionales por sector')*'Ingresos de la minería de oro en Antioquia'*'tasa de reinversión'	(DANE, 2012)
Flujo	Cambio compras en el exterior	\$/yr ^z	Cambio de compras en el exterior	('Compras en el exterior'- 'Compras en el exterior retardadas')/ Tiempo ajuste compras exterior	Propuesta
Constante	Tiempo ajuste compras exterior	yr	Tiempo que tarda cambiar las compras del exterior	5<<yr>>	Propuesta a
Nivel	Compras en el exterior retardadas	\$/yr	Compras que se realizan en el exterior retardadas	Cambio compras en el exterior	Propuesta
Auxiliar	Función no lineal capital social compras	Adim	Efecto recursos actuales o potenciales que pertenecen a una red de relaciones sociales durables entre sus miembros	GRAPH(ARRAVERAGE('Porcentaje de compras regionales por sector'),0.8180,0.001,{1,1.00025,1.0005,1.001,1.003,1.006,1.012,1.024,1.04	

			más o menos institucionalizada, que genera reducciones de costo de transacción	8,1.096,1.12,1.132,1.138, 1.14,1.145,1.148,1.149,1.1495,1.1499,1.15//Min:-1;Max:11//})	
Flujo	construcción de capital social compras	Adim	Formación de relaciones comerciales e informales entre la minería y demás sectores de la región	('Funcion no lineal capital social compras'-'capital social compras')/1<<yr>>	(Portales, 2009)
Nivel	capital social compras	Adim	Acumulación del efecto del capital social	construcción de capital social compras	(Portales, 2009)

Tabla 7: Ecuaciones de encadenamientos de impuestos y empleo.

Tipo de variable	Nombre	Und.	Documentación / Descripción	Expresión matemática	Ref.
Auxiliar	Empleo	personas	Empleo directo generado por la minería en la región	Producción*Productividad	Propuesta
Auxiliar	Productividad	Kg/personas/yr	Cantidad de mineral que puede explotar una persona durante un año	3 <<kg/personas>>	Propuesta
Auxiliar	Costo de empleo	\$/yr	Costo total del empleo directo	Empleo*salario promedio	Propuesta

			generado por la minería		
Constante	Salario	\$/per sona/ yr	Salario promedio en Colombia	10908204 <<\$/persona/yr>>	(Ministerio de Educación, 2009)
Auxiliar	Regalías	\$/yr	Renta del estado por explotación de recursos naturales	Producción*Precio de liquidación* Tasa de regalías	
Constante	Precio de liquidación	\$/kg	Valor que se paga por concepto de regalías	24000000 <<\$/kg>>	(UPME, 2014)
Constante	Tasa de regalías	%	Porcentaje de regalías	5%	(UPME, 2014)
Auxiliar	Utilidades antes de renta	\$/yr	Utilidades de la minería de oro en la región	Ingresos-ARRSUM('Capacidad de producción regional' + 'Compras en el exterior retardadas') - 'Costos de empleo'	Propuesta
Auxiliar	Impuestos de renta	\$/yr	Impuesto de renta	Utilidades antes de renta * 0,33	Propuesta
Auxiliar	Utilidades después de renta	\$/yr	Utilidades netas del negocio	Utilidades antes de renta – utilidades después de renta	Propuesta

Bibliografía

- Aroca, P. (2001). Impacts and development in local economies based on mining : The case of the Chilean II region. *Resources Policy*, 27, 119–134. doi:10.1016/S0301-4207(01)00013-7
- ARRIAGADA, O. P., & HIDALGO, W. I. (2003). METODO INDIRECTO PARA LA OBTENCION DE UNA MATRIZ INSUMO-PRODUCTO: APLICACION PARA EL CASO VIII REGION DEL BIO-BIO.
- Artesanías de Colombia. (2005). PROYECTO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR JOYERO EN COLOMBIA. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Auty, R. M. (1993). *Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis*.
- Auty, R. M. (1995). Industrial policy, sectoral maturation, and postwar economic growth in Brazil: the resource curse thesis. *Economic Geography*, 71(3), 257–272. doi:10.2307/144311
- Auty, R. M. (2001). Macroeconomic policy for mineral economies. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Auty, R. M. (2002). *Sustaining development in mineral economies: The resource curse thesis*.
- Avalos, C. E. O., Monroy, E. E. M., & Martínez, G. A. J. (2011). Economía Argentina Matriz de Insumo Producto, matriz de coeficientes técnicos y matriz de requerimientos directos e indirectos.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics.
- Bas, T. G., & Kunc, M. H. (2009). National Systems of Innovations and Natural Resources Clusters: Evidence from Copper Mining Industry Patents. *European Planning Studies*, 17(12), 1861–1879. doi:10.1080/09654310903322363
- Becattini, G. (2006). Vicisitudes y potencialidades de un concepto: el distrito industrial. *Revista Economía Industrial*, (359), 21–27. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1993804>

- Betz, M. R., Partridge, M. D., Farren, M., & Lobao, L. (2015). Coal mining, economic development, and the natural resources curse. *Energy Economics*, 50(0), 105–116. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2015.04.005>
- Bloch, R., & Owusu, G. (2012). Linkages in Ghana's gold mining industry: Challenging the enclave thesis. *Resources Policy*, 37(4), 434–442. doi:10.1016/j.resourpol.2012.06.004
- Bonet, J. (2005). Cambio estructural regional en Colombia: una aproximación con matrices insumo-producto. Retrieved from <http://banrep.gov.co:8080/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-62-VE.pdf>
- Bradbury, J. (1984). The impact of industrial cycles in the mining sector: The case of the Quebec- Labrador region in Canada.
- Buitelaar, R. M. (2001). *AGLOMERACIONES MINERAS Y DESARROLLO LOCAL EN AMÉRICA LATINA*. *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- Cámara de comercio de Medellín. (2010). *Minería: Potencial para iniciativas Cluster en Antioquia*. doi:ISBN: 978-958-99131-1-6
- Chisari, O. O., Maquieyra, J. A., & Miller, S. J. (2012). Manual sobre Modelos de Equilibrio General Computado para Economías de LAC con Énfasis en el Análisis Económico del Cambio Climático.
- Continental Gold. (2015). Continental Gold. Retrieved March 7, 2016, from <http://www.continentalgold.com/Spanish/buritica/generalidades/default.aspx>
- DANE. (2012). *Matriz simétrica nacional de insumo-producto, producto por producto*.
- David, P. A., & Wright, G. (1995). The origins of american resource abundance.
- Dohnert, S. (2003). MEDIATING REGIONAL DEVELOPMENT: How metalworking firms forged lasting linkages with steel in Ciudad Guayana, Venezuela.
- Dondeyne, S., & Ndunguru, E. (2014). Artisanal gold mining and rural development policies in Mozambique: Perspectives for the future. *Futures*, 62, 1–8. doi:10.1016/j.futures.2014.03.001
- Ebert, L., & La Menza, T. (2015). Chile, copper and resource revenue: A holistic approach to assessing commodity dependence. *Resources Policy*, 43, 101–111. doi:10.1016/j.resourpol.2014.10.007

- Fischer, A. (2012). Guía programa proveedores de clase mundial.
- Fuentes, N. A. (2005). CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ REGIONAL DE INSUMO-PRODUCTO. *Problemas Del Desarrollo: Revista Latinoamericana de Economía*, 36.
- Gobernación de Antioquía. (2016). Plan de desarrollo 2008-2011. Retrieved January 25, 2016, from <http://www.antioquia.gov.co/index.php/plan-de-desarrollo/2524-mineria>
- Gómez, L. V. (2013). *El sector minero en Colombia : Impactos macroeconómicos y encadenamientos sectoriales Plan de temas*.
- Gunton, T. (2003). Natural resources and regional development: an assessment of dependency and comparative advantage paradigms. *Economic Geography*, 79(1), 67–94. doi:10.2307/30032910
- Gutiérrez-rodríguez, J. D. (2015). Desarrollo de proveedores locales en el sector extractivo colombiano : cuellos de botella , factores de éxito e implicaciones de política pública, 5–25.
- Heum, P. (2008). LOCAL CONTENT DEVELOPMENT - experiences from oil and gas activities in Norway. *Institute for Research in Economics and Business Administration*, (02), 18.
- Hirschman, A. (1957). The Strategy of Economic Developmen, (December).
- INKPEN, A. C., & TSANG, E. W. K. (2005). Social capital networks, and knowledge transfer. *Academy of Management Review*, 30(1), 146–165. doi:10.5465/AMR.2005.15281445
- Innis, H. A. (1950). *The Fur Trade in Canada: An Introduction to Canadian Economic History*.
- Isaksen, A., & Karlsen, J. (2012). What Is Regional in Regional Clusters? The Case of the Globally Oriented Oil and Gas Cluster in Agder, Norway. *Industry & Innovation*, 19(April), 249–263. doi:10.1080/13662716.2012.669616
- Ivanova, G. (2014). The mining industry in Queensland , Australia : Some regional development issues. *Resources Policy*, 39, 101–114. doi:10.1016/j.resourpol.2014.01.005
- Jara, A. V. (2006). Desarrollo del cluster minero en Chile: estado actual.
- LEONTIEF, W. (1951). *ANALISIS ECONOMICO INPUT-OUTPUT*.
- Lydall, M. (2009). Backward linkage development in the South African PGM industry: A case study. *Resources Policy*, 34(3), 112–120. doi:10.1016/j.resourpol.2009.01.001

- Ministerio de Educación. (2009). Diagnóstico de los egresados en Colombia, según el Observatorio Laboral del ME.
- Mjimba, V. (2011). *The Nature and Determinants of Linkages in Emerging Minerals Commodity Sectors : A Case Study of Gold Mining in Tanzania*.
- Morris, M., & Fessehaie, J. (2014). The industrialisation challenge for Africa: Towards a commodities based industrialisation path. *Journal of African Trade*, 1(1), 25–36. doi:10.1016/j.joat.2014.10.001
- Morris, M., Kaplinsky, R., & Kaplan, D. (2011). “ *One Thing Leads to Another* ” – *Commodities , Linkages and Industrial Development : A Conceptual Overview* (Vol. 12).
- Nelles, H. V. (1975). *The Politics of Development: Forests, Mines, and Hydro-Electric Power in Ontario, 1849-1941*.
- North, D. C. (1955). LOCATION THEORY AND REGIONAL ECONOMIC GROWTH ', 63(3), 243–258.
- Ortiz, A. M., & Londoño, T. A. (2013). Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. *Cuadernos Fedesarrollo*.
- Otchia, C. S. (2015). Mining-based growth and productive transformation in the Democratic Republic of Congo: What can an African lion learn from an Asian tiger? *Resources Policy*, 45, 227–238. doi:10.1016/j.resourpol.2015.06.003
- Pardo, M. M., & Ortiz, A. S. (2010). La paradoja de competitividad de la pyme proveedora de la minería en Chile : Alta demanda y bajo desarrollo tecnológico e innovador. *Interciencia*, 35(2), 99–105.
- Perry, G., & Olivera, M. (2009). El Impacto del petróleo y a minería en el desarrollo regional y local en Colombia, 1–58.
- Perry, G., & Palacios, C. (2012). Emprendimiento alrededor del sector de la minería y el petróleo en Colombia, 1–75. Retrieved from http://www.mineriaagranescala.org/media/Informe_Final_CAF_Emprendimiento_Nov_2012.pdf
- Pierri, N. (2005). Historia del concepto de desarrollo sustentable. *¿Sustentabilidad? Desacuerdos Sobre El Desarrollo Sustentable, Colección América Latina Y El Nuevo Orden Mundial*.
- Portales, L. (2009). Capital Social: Conceptualización, Enfoques Y Mediciones. *Ascolfa 2009*.

- Prebisch, R. (1949). El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemás.
- Ramos, J. (1999). UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO A PARTIR DE LOS COMPLEJOS PRODUCTIVOS (CLUSTERS) EN TORNO A LOS RECURSOS NATURALES ¿ UNA ESTRATEGIA PROMETEDORA ? *Revista CEPAL*, 1–33.
- Red Eagle Mining. (2015). Red Eagle Mining. Retrieved March 4, 2016, from <http://es.redeaglemining.com/projects/santa-rosa/>
- Rehner, J., Baeza, S. a., & Barton, J. R. (2014). Chile's resource-based export boom and its outcomes: Regional specialization, export stability and economic growth. *Geoforum*, 56, 35–45. doi:10.1016/j.geoforum.2014.06.007
- Rincon, M. (2003). Diagnostico socioambiental de la pequeña minería de metales preciosos en Colombia.
- Rosser, A. (2006). The Political Economy of the Resource Curse: A Literature Survey. *Development, IDS Workin*(April), 1–36. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.167.1124&rep=rep1&type=pdf>
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1997). Natural resource abundance and economic growth.
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The Curse of Natural Resources.
- Sachs, W. (1996). *Diccionario del desarrollo: Una guía del conocimiento como poder. Igarss 2014*. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Salamanca, J. G., Leal, M. C., Zamora, J. E. E., Morales, J. F., Montes, R. E. N., Becerra, L. Á. P., ... Valencia, F. V. (2013). Minería en Colombia.
- Schuschny, A. R. (2005). *Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones. Estudios Estadísticos y Prospectivos* (Vol. 37).
- Scott, A. (1962). THE DEVELOPMENT OF THE EXTRACTIVE INDUSTRIES, 28(1), 70–87.
- Selemane, T. M., & Jourdan, P. (2014). *Coal-based linkages and development in Mozambique: A political economy perspective*.
- Sforzi, F. (2008). The industrial district: from Marshall to Becattini, (40059).
- SIMCO. (2016). Produccion de oro por municipio anual. Retrieved from <http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx>

Sinnott, E., Nash, J., & Torre, A. De. (2010). *Natural Resources in Latin America and the Caribbean: Beyond Booms and Busts?* - ISBN: 9780821384824.

Söderholm, P., & Svahn, N. (2015). Mining, regional development and benefit-sharing in developed countries. *Resources Policy*, 45, 78–91.
doi:10.1016/j.resourpol.2015.03.003

Solano, N. A. G., & Conde, J. A. (2011). ¿La enfermedad holandesa una posibilidad en colombia?

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. (McGraw-Hill, Ed.) *Management* (2nd ed.).

SUÁREZ, L. P. S. (2007). Multiplicadores económicos. Un análisis de los sectores claves para el crecimiento en el Valle del Cauca.

TEILLERV, J. C. (1997). Crecimiento y distribución del ingreso en una economía pequeña y abierta, (mi).

The Queensland Resources Council. (2013a). CODE OF PRACTICE FOR LOCAL CONTENT: A voluntary code to help companies engage with local industry.

The Queensland Resources Council. (2013b). Queensland Resources and Energy Sector Code of Practice for Local Content, 1–16.

The Queensland Resources Council. (2014). Queensland Resources and Energy Sector Code of Practice for Local Content (2013) 2014 Code Effectiveness Report.

Truman, H. (1964). *Public paper of presidents of the United States, Harry Truman*.

United Nations. (2012). Promoting Industrial Diversification in Resource Intensive Economies, 164.

United Nations. (2013). *Making the Most of Africa's Commodities: Industrializing for Growth, Jobs and Economic Transformation*. *International Journal of Developing Societies*.

UPME. (2006). Colombia País Minero - Plan Nacional para el Desarrollo Minero visión 2019. Bogotá D.C., Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética.

UPME. (2014). *SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ESTRATEGIAS EN EL DESARROLLO DEL SECTOR MINERO 2014 – 2032*.

- Villamil, J. A., & Díaz, G. H. (2015). Encadenamientos, Clústeres y Flujos de Trabajo en la Economía Colombia. *Dirección de Estudios Económicos*, 32. Retrieved from [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios Econmicos/425.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/425.pdf)
- Watkins, M. H. (1963). A staple theory of economic growth.
- Wright, G., & Czelusta, J. (2002a). EXORCIZING THE RESOURCE CURSE: MINERALS AS A KNOWLEDGE INDUSTRY, PAST AND PRESENT, (July).
- Wright, G., & Czelusta, J. (2002b). RESOURCE-BASED ECONOMIC GROWTH, PAST AND PRESENT, (June).
- Wright, G., & Czelusta, J. (2003). Mineral Resources and Economic Development, (October).
- Wright, G., & Czelusta, J. (2004). The Myth of the Resource Curse, 47(2), 6–38.