

Desarrollo sostenible en la actividad minera: un estudio de caso en la provincia de Uige, Angola

Sustainable development in mining activity: a case study in the province of Uige, Angola

PH. D, ANDRÉ AFONSO BAMBI 

Instituto Superior de Ciencias de la Educación de Uige, Angola.

PH. D, JUAN MANUEL MONTERO PEÑA 

Universidad de Moa Cuba.

Autor para correspondencia: André Afonso Bambi

Instituto Superior de Ciencias de la Educación de Uige, Angola. Correo: andrebambi2@gmail.com

RESUMEN

El desarrollo sostenible de la industria minera extractiva constituye una necesidad para el desarrollo de las zonas mineras en la provincia de Uige, Angola. Esta investigación tiene el objetivo de elaborar un sistema de indicadores de sostenibilidad capaz de medir y contribuir en el desarrollo minero sostenible en la explotación de materiales para la construcción, a partir de una metodología que operacionaliza la participación del gobierno, empresas y las comunidades que viven en la zona de desarrollo minero (grupos decisores). En el sistema se consideran los indicadores geológicos y mineros, de crecimiento económico, compensación y desarrollo. Mediante la aplicación del método Delphi se validó el sistema para su aplicación en un caso de estudio, la utilización del proceso analítico jerárquico del análisis multicriterio permitió establecer ecuaciones para determinar los índices de sostenibilidad de la empresa a partir de las emisiones de juicios de los grupos decisores. El resultado de las valoraciones demostró prioridad hacia la dimensión social y los indicadores de desarrollo. A partir de las evaluaciones del cumplimiento de las acciones hacia el desarrollo sostenible, se determinaron los índices de sostenibilidad de los indicadores en el desarrollo sostenible, y finalmente se determinó el índice de sostenibilidad total que resultó de un cumplimiento de 44,6 % hacia el desarrollo sostenible calificando la empresa “caso de estudio” de desempeño medio que satisface parcialmente la condición de sostenibilidad.

Palabras claves: desarrollo sostenible, actividad minera, materiales para la construcción

ABSTRACT

The sustainable development of the extractive mining industry is a necessity for the development of mining areas in the province of Uige. This research aims to develop a system of sustainability indicators capable of measuring and contributing to sustainable mining development in the exploitation of construction materials, based on a methodology that operationalizes the participation of the government, companies and communities living in the mining development zone (decision-making

groups). Geological and mining indicators, economic growth, compensation and development are considered in the system. Through the application of the Delphi method, the system was validated for its application in a case study, the use of the hierarchical analytical process of multicriteria analysis allowed to establish equations to determine the sustainability indices of the company from the emissions of judgments of the groups decision makers. The result of the evaluations showed priority towards the social dimension and development indicators. Based on the evaluations of compliance with actions towards sustainable development, the sustainability indices of the indicators in the dimensions and of the dimensions in sustainable development were determined, and finally the total sustainability index that resulted from a compliance was determined. of 44.6% towards sustainable development, qualifying the company as a “case study” of medium performance that partially satisfies the sustainability condition.

Keywords: sustainable development, mining activity, construction materials.

1. Introducción

El desarrollo sostenible se ha convertido en una referencia en la elaboración de estrategias de desarrollo socioeconómico a una escala planetaria, a partir de la publicación del informe “Nuestro futuro Común” (Brundtland, 1987). Entre las dimensiones fundamentales del concepto se destacan: la económica, la ambiental y la social.

Actualmente la temática del desarrollo sostenible en la minería es un objeto de constante investigación a nivel internacional, numerosas investigaciones han sido realizadas en varios países, entre las organizaciones nacionales e internacionales que investigan esta problemática se destacan: el Proyecto Global Minería Minerales y Desarrollo Sostenible (Equipo MMSD América del Sur, 2002) que busca la forma de hacer sostenible la minería en algunos países de América del Sur; El Instituto Brasileño de Minería “IBRAM” que realiza varias acciones para la sostenibilidad de la minería (Hurwitz, 2012). En África, la Alianza Internacional de Recursos Naturales desarrolla iniciativas con respecto a esta problemática (International Alliance on Natural Resources in África, 2015).

La sostenibilidad de la actividad minera requiere de una gestión apropiada del medio ambiente,

la utilización racional de los ingresos, la garantía del bien estar social interno de la empresa y una adecuada relación empresa-comunidad en la zona de desarrollo minero. En esta perspectiva la creación de indicadores de sostenibilidad se convierte en un factor imperativo para proyectar la industria extractiva hacia el desarrollo minero sostenible sobre la base de los aspectos: éticos, culturales, tecnológicos, institucionales y jurídicos.

En la dimensión ambiental Gutierrez *et al.* (2015) afirman que la problemática de la gestión ambiental en la minería debe ser abordada a partir del enfoque Presión—Estado—Respuesta (PER). Este describe las presiones de las actividades humanas, refleja una visión del estado del medio ambiente y su evolución en el tiempo y demuestra la respuesta de la sociedad a los cambios ambientales relacionados con la prevención de los factores negativos de la acción del hombre sobre el medio ambiente.

Para Artaraz (2002), lo económico y lo ecológico no se oponen si no que son mutuamente dependientes, sin embargo, si no se sabe trabajar con la naturaleza manteniendo su equilibrio, esta se ve afectada con las fuerzas industriales. Gudynas (2004) afirma que una economía sostenible es el resultado de un desarrollo sostenible.

Para Gómez Gutiérrez *et al.* (2013) en la dimensión social es necesario tener en cuenta el capital social, los procesos sociodemográficos, la gobernabilidad, los sistemas de salud y los socializadores.

Siendo el desarrollo sostenible complejo en términos de efectividad, las herramientas de evaluación necesitan capturar también esa complejidad por medios de procesos de medición capaces de considerar cuestiones cuantitativas, cualitativas, institucionales e históricas interaccionando de forma sistémica (Silva Rabelo, 2012).

Los indicadores de sostenibilidad tienen como beneficio el soporte para la toma de decisiones, auxilio para los dirigentes en la atribución de fondos, localización óptima de los recursos naturales, comparaciones entre procesos y situaciones, apuntan tendencias, previendo información de advertencia (Soares da Silva y de Azevedo Almeida, 2019).

Los indicadores, desde el punto de vista metodológico deben cumplir determinadas funciones y poseer determinados requisitos. “Las principales funciones de los indicadores según Gallopín son:

- Apreciar condiciones y tendencias
- Comparar entre lugares y situaciones
- Evaluar condiciones y tendencias con relación a metas y objetivos
- Permitir una alerta temprana
- Anticipar condiciones y tendencias futuras” (Gallopín, 2006, 13).

Desde esta configuración, varios autores elaboraron sistemas de indicadores de sostenibilidad para la industria minera extractiva entre ellos se puede mencionar: Betancurth (2002) que sugiere una propuesta que abarca la problemática del

desarrollo sostenible en una minería de pequeña escala y establece el siguiente sistema:

- Indicadores de tipo técnico (ITT): métodos de explotación y beneficio de los minerales;
- Indicadores de tipo económico (ITE): importancia estratégica del mineral, costo del mineral y precio en el mercado;
- Indicador de tipo ambiental (ITA): impactos sobre los recursos agua, suelo, aire, flora, fauna y paisaje;
- Indicador de tipo social (ITS): demanda de bienes y servicios, la generación de empleo y el nivel educativo.

González Martínez y Carvajal Gómez (2002) plantean una metodología que se basa en la realización de una prueba de sostenibilidad en una empresa minera, cuyo soporte de la evaluación son los indicadores de sostenibilidad que se evalúan desde el punto de vista cualitativo. En la metodología se proponen los siguientes indicadores:

- Indicadores de caracterización técnica
- Indicador económico legal
- Indicador ambiental
- Indicador sociocultural

Vargas Pimiento (2002), establece un sistema de indicadores que integran:

- Indicadores de caracterización técnica
- Indicadores de caracterización bio ecológica
- Indicadores de caracterización sociocultural
- Indicadores de caracterización de aspectos legales

Valencia (2002) propone la inclusión de indicadores que permiten determinar el estado de la industria extractiva aurífera no solamente desde la óptica ambiental. De ahí que se hace énfasis en la metodología para la determinación de los siguientes indicadores:

- Indicadores de impactos ambientales de carácter global
- Indicadores técnicos de la explotación minera
- Indicadores de costos unitarios

Por otro lado, Guerrero Almeida (2003), elabora una metodología para determinar el geopotencial en escenarios mineros a partir de una propuesta de sistema de indicadores y establece los siguientes:

- Indicadores geológicos
- Indicadores ambientales
- Indicadores mineros
- Indicadores socioeconómicos

Urán (2013) en el ámbito de la legalización de la minería a pequeña escala, establece variables para medir:

- Efectos ambientales y de salud
- Tipo de explotación
- Tipo de inversión
- Tipo de yacimiento
- Forma de trabajo
- Calidad de vida
- Efectos en la vida política y vinculación al conflicto

Montes de Oca et al. (2018) con el objetivo de recuperar áreas degradadas de las canteras de áridos establecen los siguientes indicadores:

- Relieve del terreno
- Calidad del paisaje
- Calidad del agua
- Pendiente del terreno
- Erosión del suelo
- Fertilidad del suelo
- Presencia de flora y fauna

La revisión de varios indicadores de sostenibilidad que se pueden encontrar en la literatura internacional fue realmente útil para la elaboración del sistema de indicadores de desarrollo sostenible de la minería propuesta en esta investigación. Sin embargo, el criterio de agrupación de este sistema es completamente diferente a los sistemas antecedentes ya que en este se congrega acciones con el propósito de medir el índice técnico organizativo de las canteras, crecimiento económico empresarial, acciones de compensaciones fundamentalmente ambientales y económicas realizadas por las empresas y el nivel de desarrollo social que la empresa puede proporcionar a sus integrantes y a las comunidades donde están situadas, otro aspecto muy importante en este estudio es la participación del gobierno, las empresas y las comunidades en la operacionización del sistema. De ahí, la novedad de la investigación.

De acuerdo con los resultados de diagnósticos antecedentes realizado en la provincia de Uige se ha podido demostrar que en la industria minera extractiva existe: incumplimiento de los parámetros geológicos y mineros; inexistencia de

proyectos de mitigación de impactos ambientales; insuficiente garantía de los servicios sociales de los trabajadores y deficiente relación empresa comunidad. (Afonso Bambi, *et al.* 2019).

De ahí, que el objetivo de esta investigación es elaborar un sistema de indicadores de sostenibilidad capaz de medir y contribuir en el desarrollo minero sostenible en la explotación de materiales para la construcción, a partir de una metodología que operacionaliza la participación del gobierno, empresas y las comunidades de las zonas de desarrollo minero.

2. Metodología

El sistema de indicadores de sostenibilidad se validó a partir de la aplicación del método Delphi de la consulta a expertos, en el que se utilizaron las siguientes ecuaciones para determinar los parámetros que se muestran a continuación:

$$M = \frac{P(1-P)K}{e^2} \quad (1)$$

M - número de expertos

P - proporción del error

K - nivel de confianza

e - nivel de precisión que se pretende alcanzar

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(K_c + K_a) \quad (2)$$

K_{comp} - Coeficiente de competencia de los expertos

K_c - coeficiente de conocimiento

K_a - coeficiente de argumentación del experto en el tema.

Condición a tener en cuenta $0,8 \leq K_{comp} \leq 1,0$.

$$f_i = \sum_{j=1}^M \frac{C_{ij}}{E * M} \quad (3)$$

F_i - frecuencia relativa

C_{ij} - valor atribuido al indicador

E - valor máximo que se atribuye al indicador

$$S_{med} = \sum_{i=1}^P \frac{S_i}{P} \quad (4)$$

S_{med} - valor medio con respecto a P que es la cantidad de indicadores;

S_i - suma de los valores atribuidos a los indicadores

$$K = \frac{12 \sum_{i=1}^P (S_i - S_{me})^2}{M^2(P^3 - P)} \quad (5)$$

K - coeficiente de Kendall que determina el nivel de concordancia entre los expertos cumpliendo la siguiente condición $k > 7$.

A partir de las ecuaciones utilizadas se determinaron 10 expertos con mayor coeficiente de competencia $K_{comp} > 0,8$ en el tema, de 15 participantes como se muestra a continuación.

Tabla 1
Selección de los expertos

N	Nombre	Prof.	Especialidad	Categoría	País	P	Kc	Ka	Kcomp
01	Exp. 1	Lic.	Filosofía	Ph.D	Cuba	0,1	1,0	1,0	0,95
02	Exp. 2	Ing.	Const. civil	Ph.D	Argentina	0,1	0,7	0,7	0,7
03	Exp. 3	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	0,9	0,77	0,84
04	Exp. 4	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	1,0	1,0	1,0
05	Exp. 5	Ing.	Minas	M.Sc	Angola	0,1	0,8	0,6	0,7
06	Exp. 6	Ing.	Minas	Ph.D	España	0,1	0,9	0,99	0,95
07	Exp. 7	Ing.	Ambiente	M.Sc	Angola	0,1	0,8	0,8	0,8
08	Exp. 8	Lic.	Economía	Ph.D	Cuba	0,1	1,0	0,9	0,95
09	Exp. 9	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	0,9	0,98	0,94
10	Exp. 10	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	0,8	0,87	0,84
11	Exp. 11	Ing.	Minas	M.Sc	Angola	0,1	0,8	0,89	0,85
12	Exp. 12	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	0,8	0,87	0,84
13	Exp. 13	Ing.	Minas	Ph.D	Cuba	0,1	0,8	0,99	0,90
14	Exp. 14	Lic.	Sociología	Ph.D	Cuba	0,1	0,8	0,7	0,75
15	Exp. 15	Ing.	Minas	Ph.D	Angola	0,1	0,7	0,7	0,7

Los expertos expuestos proceden de centros vinculados con la docencia, se consultaron los de la Universidad de Moa Holguín, Cuba; del Instituto Superior de Ciencias de la Educación de Uige Angola, de la Universidad Agostinho Neto Angola; de la Universidad de la Coruña España, del Instituto de Investigaciones Antisísmica de la Facultad de ingeniería, San Juan, Argentina.

Se validaron 33 indicadores de 57 propuestos y con un coeficiente de concordancia entre los expertos de 0,859, se valida el sistema.

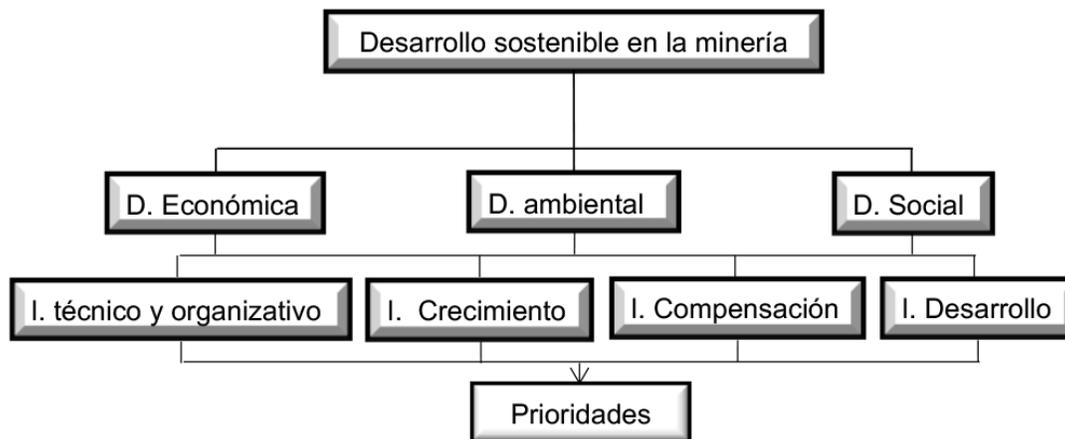
Las intervenciones se hicieron mediante tres rondas Delphi a partir del envío de una propuesta del sistema de indicadores a los expertos para la obtención de los indicadores de mayor aceptación para la sostenibilidad de la minería cuyo criterio de valoración fue la asignación de valores

de 0 a 1 en el que se fueron eliminando los indicadores que obtuvieron menor puntuación y el incremento de nuevos indicadores sugeridos por los expertos.

Se eligió el proceso analítico jerárquico del análisis multicriterio para la determinación del índice de sostenibilidad de las empresas mineras mediante el cual se elaboró la estructura del modelo jerárquico como se muestra a continuación.

Figura 1.

Estructura del modelo jerárquico.



La estructura del modelo jerárquico permite las comparaciones binarias entre dimensiones con respecto al desarrollo sostenible en la actividad minera y de igual modo las comparaciones bi-

narias entre indicadores y las respectivas dimensiones económica, ambiental y social, a partir de la utilización de la siguiente escala de L. Saat (1990).

Tabla 2.

Escala de valoración de la importancia de las dimensiones e indicadores.

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importancia que el criterio B
3	Importancia Moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre B
5	Importancia grande	la experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre B
7	Importancia muy Grande	El criterio A es mucho más importante que el criterio B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre B esta fuera de toda duda
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Las comparaciones binarias son realizadas por los grupos decisores en esta investigación se contó con la participación del **gobierno**, la **empresa** y la **comunidad** en una proporción de tres miembros por cada grupo.

A partir de las comparaciones binarias entre dimensiones e indicadores se generan las siguientes ecuaciones:

$$IST(\%) = \sum_{D=1}^n (ISD \times KD) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

IST: Índice de sostenibilidad total en %

n: Total de dimensiones a evaluar

ISD: Índice de sostenibilidad en la dimensión D

KD: peso de la dimensión en el desarrollo sostenible

De las comparaciones binarias entre indicadores en el cual se emite la importancia de uno sobre el otro con respecto a las dimensiones se establece la siguiente ecuación.

$$ISD(\%) = \sum_{I=1}^m (ISID) \quad (7)$$

Donde:

ISD: Índices de sostenibilidad en la dimensión

m: Total de indicadores a evaluar

ISID: Índices de sostenibilidad del indicador en la dimensión

Para las evaluaciones de las acciones de los indicadores, se establece la siguiente ecuación.

$$ISID(\%) = \sum_{x=1}^Y \frac{(AID \times KID)}{Y} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

ISID: Índice de sostenibilidad del indicador en la dimensión D

Y: Cantidad de acciones que se evalúan en el indicador

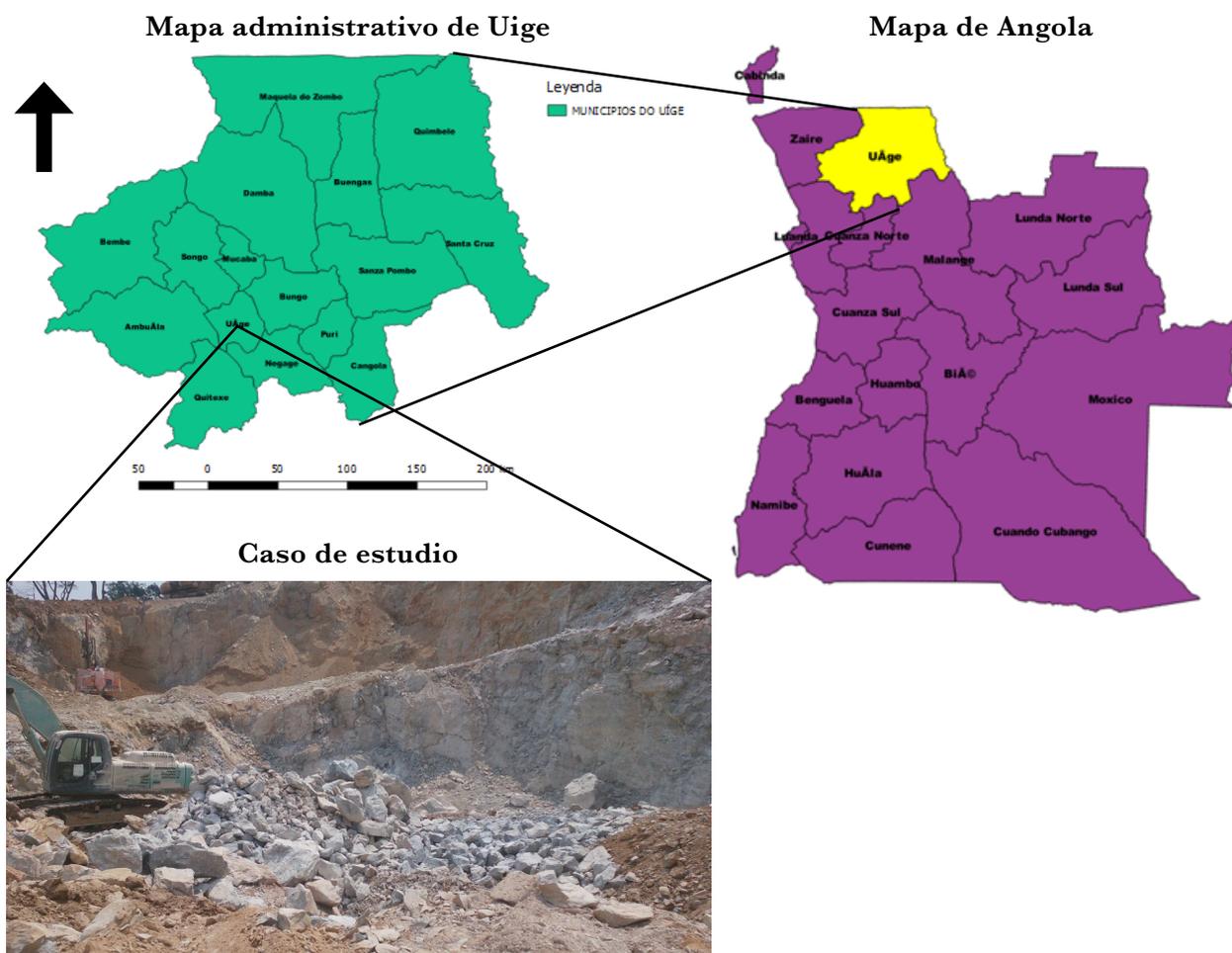
AID: Acciones del indicador

KID: Importancia del indicador en la dimensión

El estudio fue realizado en la empresa minera local de explotación de materiales para la construcción M. Rodríguez, localizada en la dirección noroeste del municipio y provincia de Uige, ubicada en las coordenadas central 15° 06' 08'' Longitud Este y 7° 35' 15'' Latitud Sur. Como se muestra a continuación:

Figura 2.

Ubicación geográfica de la empresa M. Rodríguez “caso de estudio”.



De las evaluaciones realizadas por el gobierno, la empresa y la comunidad en el caso de estudio, a partir de las comparaciones binarias se alcanzan los siguientes resultados:

En la tabla que se muestra a continuación se ofrece el resultado de la importancia de cada dimensión en el desarrollo sostenible de acuerdo con el juicio de cada grupo decisor.

Tabla 3.
Importancia de las dimensiones

Grupos decisores	Importancias de las dimensiones en el desarrollo sostenible		
	Ambiental	Económica	Social
Gobierno	0,333	0,167	0,500
Empresa	0,210	0,550	0,240
Comunidad	0,230	0,122	0,648
	0,258	0,280	0,46

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la encuesta realizada en los tres grupos de decisores en el cual emitieron la importancia que tiene cada indicador en cada una de las tres dimensiones fundamentales del concepto desarrollo sostenible.

Tabla 4.
Importancia de los indicadores en las dimensiones

Indicadores	Importancia de los indicadores en las dimensiones								
	Gobierno			Empresa			Comunidad		
	Amb.	Econ.	Soc.	Amb.	Econ.	Soc.	Amb.	Econ.	Soc.
Geol. Min.	0,124	0,163	0,167	0,195	0,175	0,198	0,141	0,141	0,141
Crec. Econ.	0,326	0,163	0,167	0,434	0,428	0,395	0,141	0,141	0,141
Compens.	0,194	0,278	0,333	0,177	0,233	0,239	0,263	0,263	0,263
Desarrollo	0,356	0,395	0,333	0,195	0,164	0,168	0,455	0,455	0,455

La tabla que se presenta a continuación muestra los resultados de los valores combinados de la importancia de los indicadores en las dimensiones emitidas por los tres grupos decisores.

Tabla 5.
Media de la importancia de los indicadores en las dimensiones

Indicadores	Importancia de los indicadores en las dimensiones		
	Combinados		
	Ambiental	Económico	Social
Geológico y minero	0,153	0,160	0,169
Crecimiento económico	0,300	0,244	0,234
Compensación	0,211	0,258	0,278
Desarrollo	0,335	0,338	0,318

Los resultados expuestos son emitidos a partir de la inserción de los juicios de los grupos decisores en el programa Expert Choise.

Para medir el nivel de cumplimiento de los indicadores hacia el desarrollo sostenible se propuso la siguiente tabla de valoración.

Tabla 6.
Escala de valoración de los indicadores

Escala	Valor	Criterios
Cumplimiento absoluto	1	Desempeño considerado <u>eficiente</u> de la acción hacia el desarrollo sostenible.
Cumplimiento relativamente alto	0,75	Desempeño <u>apropiado</u> de la acción hacia el desarrollo sostenible.
Cumplimiento relativo	0,50	Desempeño <u>medio</u> de la acción y satisface parcialmente la condición de sostenibilidad.
Cumplimiento relativamente bajo	0,25	Desempeño <u>poco apropiado</u> de la acción hacia el desarrollo sostenible.
No cumplimiento	0	Desempeño <u>inapropiado</u> de la acción sin posibilidad de alcanzar el desarrollo sostenible.

Para la determinación del nivel de desempeño de la empresa se propuso la tabla de valoración que se muestra a continuación.

Tabla 7.
Escala de valoración del desempeño de la empresa

Escala	Valores	Criterios
Cumplimiento absoluto	80 – 100 %	Desempeño considerado <u>eficiente</u> de la empresa hacia el desarrollo sostenible.
Cumplimiento relativamente alto	60 – 80 %	Desempeño <u>apropiado</u> de la empresa hacia el desarrollo sostenible.
Cumplimiento relativo	40 – 60 %	Desempeño <u>medio</u> de la empresa que satisface parcialmente la condición de sostenibilidad.
Cumplimiento relativamente bajo	20 – 40 %	Desempeño <u>poco apropiado</u> de la empresa hacia el desarrollo sostenible.
No cumplimiento	0 – 20 %	Desempeño <u>inapropiado</u> de la empresa sin posibilidad de alcanzar el desarrollo sostenible.

Resultados y discusión

Los indicadores de sostenibilidad se congregaron en cuatro grupos:

1. Indicadores geológicos y mineros
2. Indicadores de crecimiento económico
3. Indicadores de compensación

4. Indicadores de desarrollo (Afonso-Bambi, Montero Peña y Watson Quesada, 2019).

A partir de la tabla 4 de valoración de los indicadores y teniendo en cuenta la importancia de los indicadores en las dimensiones ambiental, económica y social expuestas en la tabla 3. Se determinan los índices de sostenibilidad de los in-

dicadores en las respectivas dimensiones a partir de la ecuación (8).

$$ISID(\%) = \sum_{X=1}^Y \frac{(AID \times KID)}{Y} \times 100$$

3.1. Indicadores geológicos y mineros

Estos indicadores exponen de forma breve y concisa las principales características geológicas del yacimiento, constituyendo un marco referencial para la proyección de la explotación de este. Los indicadores ofrecen asimismo varios criterios que permiten la cuantificación o cualificación de las condiciones geológicas y parámetros de las labores mineras que influyen en la eficiencia, eficacia y racionalidad de la explotación minera.

1. Estimación de la reserva (ER)
2. Vida útil de la cantera (VUC)
3. Características geotécnicas del macizo (CGM)
 - Pfm: propiedades físicas y mecánica de la roca
 - A: agrietamiento; Cr: calidad de la roca
4. Nivel de aprovechamiento del mineral (NAM)
 - P: pérdidas
 - E: empobrecimiento
5. Seguridad minera (SM)
 - Msp: medidas de seguridad personal
 - S: señalización
6. Eficiencia del trabajo (ET)
 - Oue: optimización en la utilización del equipamiento minero
 - Cp: calidad del producto
7. Plan calendario de la cantera (PC)

Pa: producción anual

Pd: producción por día

Pt: producción horaria

- Índice de sostenibilidad del indicador geológico y minero en la dimensión ambiental.

$$ISGMDa(\%) = \frac{3,25 \times 0,153}{7} \times 100 = 7\% \quad (9)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador geológico y minero en la dimensión económica.

$$ISGMDe(\%) = \frac{3,25 \times 0,160}{7} \times 100 = 7,4\% \quad (10)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador geológico y minero en la dimensión social.

$$ISGMDs(\%) = \frac{3,25 \times 0,169}{7} \times 100 = 7,8\% \quad (11)$$

3.2. Indicadores de crecimiento económico

Los indicadores de crecimiento ofrecen criterios que influyen en la rentabilidad de la empresa, de acuerdo con la producción y costos realizados durante las diferentes actividades de la mina, incluyendo la fuerza de trabajo, mantenimiento y rehabilitación ambiental entre otros. Los indicadores deben medir el aporte económico de la empresa en el producto interno bruto y los beneficios económicos realizados para la sociedad.

1. Total de inversión (TI)
2. Costo de producción (CP)
 - P: producción
 - Tg: total de gastos
3. Gastos por actividad (GA)

Ge: gastos por extracción

Gt: gastos por transporte

Gra: gastos por rehabilitación ambiental

Gtm: gastos por tratamiento del mineral

Gft: gastos por fuerza de trabajo

Gm: gastos por mantenimiento

Ge: gastos por energía

4. Ingresos (I)

5. Ganancia (G)

6. Tipo de consumo energético (TCE)

7. Valor añadido en la producción minera (VAM)

- Índice de sostenibilidad del indicador crecimiento económico en la dimensión ambiental.

$$ISCEDa (\%) = \frac{4 \times 0,300}{7} \times 100 = 17 \% \quad (12)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador crecimiento económico en la dimensión económica.

$$ISCEDe (\%) = \frac{4 \times 0,244}{7} \times 100 = 14 \% \quad (13)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador crecimiento económico en la dimensión social.

$$ISCEDs (\%) = \frac{4 \times 0,234}{7} \times 100 = 13 \% \quad (14)$$

3.3. Indicadores de compensación

Los indicadores de compensación recogen todos aquellos criterios compensatorios capaces de mitigar los daños ambientales, patrimoniales y culturales causados por la actividad minera. Los indicadores consideran, además, todas las condi-

ciones necesarias para la creación de actividades alternativas, a partir del capital natural, humano, tecnológico y recurso financiero generado por la actividad minera para el desarrollo socioeconómico de las comunidades.

1. Estudio de impactos ambiental (EIA)

Mg: medio geológico

Mhg: medio hidrogeológico

Mh: medio hidrográfico

Mf: medio fisiográfico

Mc: climatológico

Fv: flora y vegetación; F: fauna

P: paisaje

2. Proyecto de mitigación ambiental (PMA).

Medidas correctoras para:

Mg: medio geológico

Mhg: medio hidrogeológico

Mh: medio hidrográfico

Mf: medio fisiográfico

Mc: climatológico

Fv: flora y vegetación

F: fauna; P: paisaje

3. Cierre de cantera (CC)

Efq: estabilización física y química

Rs: rehabilitación de los suelos

R: Revegetación

4. Inventario patrimonial (IP)

5. Caracterización sociocultural (CS)

Cs: cambios sociales como beneficio de la explotación minera

Cv: condiciones de vida de la población

Ceg: caracterización etaria y de género

6. Aporte de la minería al PIB (AMP)

I: impuestos

Af: aportes fiscales

S: salarios

P: patrocinios

7. Inversiones para futuros proyectos (IFP)

8. Identificación de futuras actividades productivas (IFAP)

- Índice de sostenibilidad del indicador compensación en la dimensión ambiental.

$$ISCDa (\%) = \frac{2,75 \times 0,211}{8} \times 100 = 7,3 \% \quad (16)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador compensación en la dimensión económica.

$$ISCDe (\%) = \frac{2,75 \times 0,258}{8} \times 100 = 8,9 \% \quad (17)$$

- ISCDs: Índice de sostenibilidad del indicador compensación en la dimensión social.

$$ISCDs (\%) = \frac{2,75 \times 0,278}{8} \times 100 = 9,5 \% \quad (18)$$

3.4. Indicadores de desarrollo

Los indicadores de desarrollo se utilizarán para medir el grado de desarrollo social interno de la empresa y el nivel de la relación de esta con la comunidad de su zona de intervención, así como la relación con las instituciones científicas, el go-

bierno y por ende el cumplimiento de los criterios institucionales previstos para el bienestar de la sociedad.

1. Relación empresa-comunidad (REC)

Pc: participación de la comunidad en la toma de decisiones de la empresa

Cs: compromisos sociales para la comunidad

2. Tasa de empleados locales (TEL)

3. Formación y capacitación (FC)

4. Reconversión profesional (RP)

5. Reinserción laboral (PRL)

6. Salario mínimo en la empresa (SM)

7. Asegurados socialmente (AS)

Sv: seguro de vivienda

Ss: seguro de salud

P: pensión

8. Actividad de investigación y desarrollo (I+D)

9. Tecnologías apropiadas (TA)

10. Relación gobierno empresa y comunidad (GEC)

11. Relación empresa universidad (REC)

- Índice de sostenibilidad del indicador desarrollo en la dimensión ambiental.

$$ISDDa (\%) = \frac{4,75 \times 0,335}{11} \times 100 = 15 \% \quad (19)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador desarrollo en la dimensión económica.

$$ISDDe (\%) = \frac{4,75 \times 0,338}{11} \times 100 = 15 \% \quad (20)$$

- Índice de sostenibilidad del indicador desarrollo en la dimensión social.

$$ISCDS (\%) = \frac{4,75 \times 0,318}{11} \times 100 = 14 \% \quad (21)$$

Una vez determinados los índices de sostenibilidad de los indicadores en las dimensiones, se puede determinar los índices de sostenibilidad de las dimensiones. Para ello, se utiliza la ecuación (7).

$$ISD(\%) = \sum_{I=1}^m (ISID)$$

Por lo tanto:

- Índice de sostenibilidad en la dimensión ambiental.

$$ISDa = ISGMDa + ISCEDa + ISCDa + ISDDa = 46,3 \% \quad (22)$$

- Índice de sostenibilidad en la dimensión económica.

$$ISDe = ISGMDe + ISCEDe + ISCDDe + ISDDDe = 45,3 \% \quad (23)$$

- Índice de sostenibilidad en la dimensión social.

$$ISDs = ISGMDs + ISCEDs + ISCDs + ISDDs = 44,3 \% \quad (24)$$

Una vez determinado los índices de sostenibilidad en las dimensiones se puede determinar el índice de sostenibilidad total de la empresa a partir de la ecuación (6) y teniendo en cuenta las importancias de las dimensiones expuestas en la tabla 3.

$$IST(\%) = \sum_{D=1}^n (ISD \times KD) \times 100$$

Luego

$$IST = (ISDa \times KDa + ISDe \times KDe + ISDs \times KDs) \times 100 = 44,6 \quad (25)$$

De acuerdo con los resultados de las tablas 3, 4 e 5 se puede apreciar que para el gobierno la dimensión más importante es la social seguidamente por la dimensión ambiental, y se consideró los indicadores de desarrollo con mayor nivel de relevancia entre ellos. De ahí que se nota claramente su enfoque como moderador de políticas públicas priorizando las nuevas tendencias del desarrollo sostenible.

Para la empresa, la dimensión más importante es la económica. En la valoración se observa un alto nivel de preferencia para esta dimensión y en los indicadores, el mayor nivel de importancia recae en los de crecimiento económico en todas las dimensiones. Aquí se nota con claridad su enfoque tradicional de obtención de ganancia demostrando poca responsabilidad ambiental y social. Se considera que la empresa no obedece aún las nuevas tendencias mundiales sobre el desarrollo sostenible en la minería.

En la comunidad, se percibe que se valora con mayor nivel de importancia la dimensión social y con poca intensidad las dimensiones ambiental y económica y en los indicadores priorizan el indicador desarrollo, aquí se observa el interés que tiene la comunidad en mejorar sus condiciones sociales y desarrollarse.

No obstante, aunque se observan divergencias en las preferencias de las dimensiones e indicadores entre los grupos decisores existen convergencias. Aunque la empresa valora con mayor nivel de importancia la dimensión económica y los indicadores de crecimiento económico, el gobierno y la comunidad coinciden en priorizar la dimensión social y los indicadores de desarrollo.

De ahí que, a pesar de las diferencias de preferencias entre los decisores, las evaluaciones realizadas tienden a priorizar un proyecto con mayor

nivel de importancia en la dimensión social y en los indicadores de desarrollo.

Es importante destacar que en las investigaciones antecedentes encontradas en la literatura no se ha podido encontrar una propuesta de sistema de indicadores que además de medir el índice de desarrollo sostenible alcanzado por una empresa minera, se operacionaliza en el sistema de indicadores la preferencia de grupos decisores influenciado la toma de decisión en la prioridad de un proyecto minero equitativo entre las partes interesadas. De ahí la relevancia de esta investigación.

4. Conclusión

1. El sistema de indicadores propuesto permite medir el índice de desarrollo sostenible de una empresa minera a partir de la evaluación de indicadores geológicos y mineros, crecimiento económico, compensación y desarrollo.
2. La metodología utilizada en esta investigación permite operacionalizar la preferencia de grupos decisores para la toma de decisión de proyectos mineros equitativos entre las partes interesadas.
3. La aplicación del sistema de indicadores, así como la utilización del proceso analítico jerárquico del análisis multicriterio permitieron determinar el índice de sostenibilidad total de la empresa “caso de estudio” que resultó de un cumplimiento de 44,6 % hacia el desarrollo sostenible calificando la empresa de desempeño medio que satisface parcialmente la condición de sostenibilidad.

Referencias bibliográficas

Afonso-Bambi, A., J. M. Montero-Peña y R. Watson-Quesada, Indicadores de sostenibilidad para la industria minera extractiva en Uige, Angola. *Minería y Geología*, 2019, 35(2), 233-251.

Artaraz, M. Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Revista Ecosistemas*, 2002, 11(2).

Betancurth, L. Indicadores de Sustentabilidad en la Pequeña Minería del Carbón Caso: Departamento De Boyacá-Colombia. En R.C. Villas-Bôas y C. Beinhoff eds. *Indicadores de sostenibilidad para la Industria Extractiva mineral*. Brasil, 2002.

Brundtland, G. *Nuestro Futuro Común* (Informe Brundtland). 1987.

Gallopín, G. Los indicadores de desarrollo sostenible: aspectos conceptuales y metodológicos. . En *Seminario de expertos sobre indicadores de sostenibilidad en la formulación y seguimiento de políticas*. Santiago de Chile, 2006.

Gómez Gutierrez, C. et al. Propuesta metodológica para desarrollar los análisis y evaluaciones del desarrollo sostenible (2013), 71-81. <https://www.researchgate.net/publications/304750734>.

González Martínez, A. y D. J. Carvajal Gómez. Indicadores de sostenibilidad en la industria extractiva española. En R.C. Villas-Bôas y C. Beinhoff eds. *Indicadores de sostenibilidad en la industria extractiva mineral*. Brasil: CNPq/CYTED, 2002.

Gudynas, E. (2004). *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*.

Guerrero Almeida, D. *Sistema de indicadores de sostenibilidad*. Tesis de Doctor en Ciencias Téc-

- nicas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
- Gutierrez, A., F. Quadros Borges y M. Miguel Amin. Reflexões sobre modelos de indicadores de sustentabilidade de energia elétrica. En *Proceedings of the 53 Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, Brasil 2015 Universidade Federal de Paraíba.
- Hurwitz, Z. *Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história*. Editado por E. Brasilia. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração “IBRAM”, 2012.
- International Alliance on Natural Resources in África, Launches model mining law, 2015.
- Mineria, Minerales y Desarrollo Sustentable en America del Sur. Equipo MMSD America del Sur 2002.
- Montes De Oca-Risco, A., M. Ulloa Carcasses y A. L. Silot Castaneda, Recovery of degraded areas in aggregate quarries by means of geographic information systems/Recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos utilizando sistemas de información geográficos. *Revista Geográfica Venezolana*, 2018, 59(2), 314-332.
- Saaty, T. L. How to make a decision. *European journal of operational research*, 1990, 48, 9-26
- Silva Rabelo, L. Indicadores de Sustentabilidade. En V.P. Vidal De Oliveira, I. Gonçalves Gomes, I. Baptista y L. Silva Rabello eds. *Cabo Verde: Análise socioambiental e perspectivas para o desenvolvimento sustentável em áreas semiáridas*.: Edições UFC, 2012, p. 283-301.
- Soares Da Silva, G. y L. De Azevedo Almeida, Indicadores de Sustentabilidade para Instituições de Ensino Superior: Uma Proposta Baseada na Revisão de Literatura. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 2019, 8(1), 123-144.
- Urán, A. La legalización de la minería a pequeña escala en Colombia. *Letras Verdes*, 2013, (14), 255-283.
- Valencia, J. H. V. Indicadores de sustentabilidad para la industria minera extractiva: propuesta para la minería aurífera de Colombia. En R. Villas Bôas Cerrini y C. Beinhoff eds. *Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral*. Brasil: CNPq/CYTED, 2002.
- Vargas Pimiento, E. Indicadores de sostenibilidad y de desempeño socio ambiental para dos grupos de usuarios mineros en Colombia. En R. Villas Bôas Cerrini y C. Beinhoff eds. *Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral*. Brasil: CNPq/CYTED, 2002.