

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



**MODELADO DE IMPACTOS AMBIENTALES CON MÉTODOS
NUMÉRICOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el Bachiller.

César André Lucana Agüero

Asesor: Dr. Federico Alexis Dueñas Dávila

Lima, Marzo de 2019

RESUMEN

En la evaluación de impacto ambiental existe una amplia variedad de metodologías para valorar los efectos de las actividades de un proyecto sobre el ambiente. Todas parten de métodos cuantitativos o cualitativos y la identificación de factores ambientales. Sin embargo, se presenta una alta incertidumbre que no es identificada ni tratada. La presente tesis tiene como objetivo desarrollar una metodología numérica de valoración de impactos ambientales que, mediante el uso de una matriz de interacción entre factores y acciones, mejore las valoraciones finales de los impactos. Para lograrlo, se analizó la valoración de los impactos ambientales de la fase de construcción de ocho proyectos de infraestructura ubicados en distintos departamentos del Perú.

La metodología aplicó el análisis factorial por componentes principales a través de un programa de análisis estadístico para dos bases de datos, uno con criterios de valoración cualitativos de cada impacto ambiental y el otro con el peso cuantitativo de cada factor ambiental. Para identificar las fuentes de incertidumbre, se realizó un análisis clúster jerárquico y discriminante para los criterios de valoración cualitativos. Finalmente, se calculó la nueva valoración de los impactos y se comparó las valoraciones iniciales con las estimadas.

De la comparación de las valoraciones finales se obtuvo una reducción del error estándar en 28% y una significancia menor al 5%, lo cual demostró que el método propuesto influye positivamente en la precisión de los resultados. De esta manera, se redujo la incertidumbre de los datos iniciales y permitió una mejor evaluación ambiental de los proyectos.

Palabras clave: análisis clúster jerárquico, análisis discriminante, análisis factorial por componentes principales, evaluación de impacto ambiental, factor ambiental, Perú.

ABSTRACT

The environmental impact assessment of a project has a wide variety of methodologies to assess the effects of its activities on the environment. All start from quantitative or qualitative methods and the identification of environmental factors. However, there is a high uncertainty that is not identified or treated in the process. The objective of this thesis is to develop a numerical methodology for assessing environmental impacts which, through the use of a matrix of interaction between factors and actions, improves their final assessments. In order to achieve this, the assessment of the environmental impacts of the construction phase of eight infrastructure projects located in different departments of Peru were analyzed.

The methodology applied was the factorial analysis by main components through a statistical analysis program for two databases, one with qualitative assessment criteria of each environmental impact and the other with the quantitative weight of each environmental factor. To identify the sources of uncertainty, a hierarchical and discriminant cluster analysis was performed for the qualitative attributes. Finally, the new assessment of the impacts was calculated and the initial assessments were compared with the estimated ones.

From the comparison of the final evaluations, a reduction of 28% in the standard error and a significance of less than 5% were obtained, which showed that the proposed method positively influences the accuracy of the results. In this way, the uncertainty of the initial data was reduced and allowed a better environmental evaluation of the projects.

Key words: hierarchical cluster analysis, discriminant analysis, factorial analysis by main components, environmental impact assessment, environmental factor, Peru.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título profesional de Ingeniero Civil

TEMA : Modelado de impactos ambientales con métodos numéricos en proyectos de infraestructura.

ÁREA : Medio Ambiente y Recursos Hídricos

ASESOR : Federico Alexis Dueñas Dávila

ALUMNO(S) : César André Lucana Agüero - 20121020

FECHA : 20 de junio de 2019

MÁXIMO : 100 páginas

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú, la industria de la construcción ha crecido a una tasa de 9% por el aumento de ejecución de obras públicas (13.2%) según el Instituto Nacional de Estadística o INEI (2018). Asimismo, la demanda de productos que implica la construcción trae consigo una importante sinergia de varios sectores que involucran el desarrollo del país.

Para reducir la brecha económica y social es necesaria la construcción de proyectos de nueva infraestructura. Sin embargo, los proyectos están ubicados en emplazamientos sensibles que pueden afectar directamente a la población y al ambiente. Es importante establecer un método preciso que ayude a revertir o compensar dicha situación. Por lo tanto, el desarrollo de un nuevo método de evaluación de impacto ambiental (EIA) se justifica desde dos perspectivas.

En primer lugar, en el Perú ha aumentado la cantidad de proyectos que requieren de una adecuada EIA, así como una correcta certificación, antes de poder ser ejecutado (Kahatt & Azerrad, 2013). Sin embargo, muchas empresas no realizan un adecuado estudio o comienzan sus proyectos sin tenerlo, lo cual produce que los impactos en el emplazamiento no sean valorizados de forma correcta o no sean identificados a tiempo. Dicha situación aumenta la posibilidad de que las medias de gestión ambiental no sean adecuadas y exista una inadecuada comunicación hacia la población sobre los impactos ambientales que tendrán los proyectos. Es importante que las medidas mitigadoras o compensadoras, que se han planteado antes del inicio del proyecto, sean debidamente informadas a la población y tengan un seguimiento posterior a su finalización.

En segundo lugar, existe la necesidad de desarrollar e implementar nuevos modelamientos estadísticos a los proyectos importantes para obtener resultados confiables, rápidos y comparables (Plazas, Lema & León, 2009). Dicho aporte metodológico implicaría una descripción más detallada del entorno potencialmente afectado con una menor información que actualmente requieren los métodos de valoración cualitativa.

ANTECEDENTES

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un instrumento de gestión ambiental que tienen como objetivo identificar, predecir e interpretar los impactos ambientales que se pueden generar por un proyecto, así como las futuras medidas de mitigación o compensación que se pueden emplear. Los métodos actuales de valoración de impacto poseen una gran incertidumbre en los resultados debido a la cantidad de información recolectada en los estudios de impacto ambiental (EslA). Esta valoración es realizada mediante el uso de métodos cualitativos, cuantitativos o una combinación de herramientas ambientales. Ante la alta incertidumbre, se presenta el análisis multivariado el cual propone asignar pesos iguales a las distintas variables de valoración de impactos para ambos métodos (Vásquez 2015). Sin embargo, se requiere una serie de supuestos los cuales no pueden ser los más acertados.

De esta manera, se presenta una de las principales limitaciones de la EIA: la valoración de algunos impactos puede no ser correcta y pueden no ser considerados en el plan de gestión ambiental al tener una calificación de menor importancia. La gran dimensión estadística de los EslA con variables que no aportan información, no ha permitido implementar varias propuestas estadísticas planteadas, como la lógica difusa o el análisis matricial (Plazas, Lema y León 2009).

En entornos de escasa información, el análisis factorial en base a un análisis de componentes principales (ACP) se presenta como una opción para evaluar la información obtenida por los EslA de los atributos ambientales escogidos y los índices de calidad ambiental (Plazas, Lema & León, 2009). De esta manera, se reduce la información a dos dimensiones principales independientes que relacionan los atributos o criterios ambientales y los índices de calidad ambiental y para poder analizar el comportamiento de los mismos. Cada atributo corresponde a un componente principal determinado.

De esta manera, la valoración final es más precisa, aún en situaciones con escasa información. Sin embargo, los autores recomiendan el análisis de más casos de la misma categoría y con mayor información para afinar los resultados y desarrollar nuevos métodos de evaluación. Por otro lado, existe una necesidad de aplicar métodos estadísticos para probar las hipótesis y determinar qué tipo de error se está cometiendo al momento de analizar la información y resultados de un estudio (Antcliffe, 1999). De esta manera, el error de tipo II (aceptar un valor que resulta ser falso) y el error tipo I (rechazar un resultado que resulta ser verdadero) son los causantes del aumento de

costos en cualquier tipo de estudio. Asimismo, se plantea la necesidad de realizar dos tipos de análisis, a priori y a posteriori, para ser usado en los siguientes puntos: ayudar a diseñar un mejor estudio del área; mejorar la evaluación de resultados de una muestra y escoger que variables deben ser utilizadas; y optimizar el poder del análisis.

Finalmente, se ha creado una aplicación, conocida como EIA09, para la realización de EsIA de cualquier tipo de proyecto (Cruz, Gallego & González). A partir de la interacción de los aspectos ambientales y los factores ambientales, se obtienen las actividades del proyecto. Luego, con aplicación de lógica difusa para inferir si el efecto es impacto o no, se puede ingresar la valoración cualitativa y cuantitativa propuesta por el panel de expertos. No obstante, se considera una valoración cualitativa completa y se puede ingresar una función de transformación. El programa permite comparar alternativas de acción y genera un reporte ambiental de cada proyecto. De esta manera, se reduce el tiempo para el análisis de impactos y se agiliza todo el estudio.

OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto de tesis es desarrollar un nuevo método numérico de evaluación de impactos ambientales de proyectos de alto impacto ambiental ubicados en el Perú. A través de un modelamiento estadístico de valoración de impactos e índices de calidad ambiental, se puede realizar un adecuado estudio cualitativo de impactos ambientales que conlleve a una evaluación más precisa de impactos ambientales.

Del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- a) Establecer los vectores de valoración necesarios a partir de los ocho proyectos.
- b) Evaluar la aproximación de los resultados mediante un análisis de clúster y discriminante para desarrollar matrices de evaluación.
- c) Comparar los resultados del método propuesto mediante una diferencia de medias.

PLAN DE TRABAJO

Para desarrollar el estudio propuesto, el tesista deberá cumplir con los siguientes aspectos:

- Revisión de la literatura especializada en lo referente a conceptos y métodos de evaluación de impacto ambiental para establecer el estado del arte del tema.
- Componer las bases de datos: se organizarán la valoración de impactos de ocho proyectos en bases de datos independientes solo para la etapa de construcción correspondiente.
- Realizar la reducción a tres componentes: mediante el ACP y con ayuda del simulador estadístico SPSS, se obtendrá la relación de las variables
- Desarrollar un nuevo método de valoración de impactos, en base a un análisis matricial, a través de una matriz.
- Interpretar de los resultados y prueba de hipótesis: los nuevos resultados serán comparados con los resultados iniciales para verificar la nueva matriz.
- Redacción del documento final de la tesis, en la cual se integre todos los aspectos que fueron evaluados y de aquellos que obtuvo resultados, considerando los comentarios y críticas o límites reportados por el estudio desarrollado.

Se establecerá un rol de reuniones con una frecuencia semanal a fin de garantizar el avance del estudio, conclusiones, estado del arte y la adecuada interpretación de los resultados obtenidos. La revisión del documento final de la tesis tendrá dos etapas: Un primer borrador que considera los acápite de definición del problema, justificación, objetivos, estado del arte y metodología. Un segundo borrador se centrará en el desarrollo de los resultados y su interpretación, en esta etapa también se evaluará la versión integral del documento.



NOTA

Complete el formato y solicite el visto bueno de su asesor. Tenga en cuenta que la Facultad verificará que el tema de tesis propuesto, cumpla los siguientes requisitos:

1. Usted debe adjuntar un archivo ZIP conteniendo el tema de tesis en Word y en formato PDF con el visto bueno del asesor.
2. Usted no debe contar con un Tema de tesis asignado anteriormente. De darse el caso, deberá efectuar el trámite de cambio del tema de tesis en la Facultad.
3. Usted debe encontrarse matriculado o haber aprobado el segundo curso de Tesis de su especialidad.
4. En caso de que el tema de tesis mencione a una organización, deberá adjuntar la autorización del representante legal de dicha organización.

En caso de alguna consulta adicional, puede contactarnos a la cuenta: titulacion-fci@pucp.edu.pe

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
1.1. Origen y desarrollo de la evaluación de impacto ambiental en el Perú.....	15
1.2. Alcance	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Objetivos de la investigación	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. Marco conceptual	19
2.2. Definición de Evaluación de Impacto Ambiental	21
2.3. Antecedentes del estudio	23
2.3.1. Uso de métodos estadísticos en la evaluación de impacto ambiental.....	23
2.3.2. Uso de programas para la evaluación de impactos	25
2.3.3. Análisis de incertidumbre de los procesos que involucran la evaluación de impacto ambiental	26
2.3.4. Importancia de metodologías que mejoren la calidad de los resultados en la evaluación de impacto ambiental	27
2.4. Estado del arte	28
2.4.1. Principios de la evaluación de impacto ambiental.....	28
2.4.2. Metodología general de valoración de impactos	28
2.4.3. Valoración cualitativa	31

2.4.4.	Valoración cuantitativa	33
2.4.5.	Funciones de transformación	35
2.4.6.	Asignación de unidades de importancia (UIP)	38
2.4.7.	Efectividad de la evaluación de impacto ambiental.....	39
2.4.8.	Limitaciones de EIA	39
2.5.	Etapas de evaluación de impacto ambiental.....	41
2.5.1.	Etapa inicial	41
2.5.2.	Etapa de análisis detallado.....	42
2.5.3.	Etapa de post-aprobación.....	43
2.6.	Retos de valoración	43
CAPITULO III: METODOLOGÍA PROPUESTA		45
3.1.	Ámbito de proyectos	45
3.2.	Proceso de retroalimentación propuesto.....	45
3.3.	Descripción de casos	47
3.4.	Diseño de base de datos.....	50
3.5.	Análisis multivariante.....	51
3.5.1.	Análisis de componentes principales.....	51
3.5.2.	Análisis clúster jerárquico	55
3.5.3.	Análisis discriminante.....	57
3.6.	Desarrollo de nueva matriz de evaluación	58
3.7.	Prueba de diferencia de medias	59
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS		61
4.1.	Vectores ponderados	61
4.1.1.	Criterios ambientales	61
4.1.2.	Factores ambientales.....	64
4.2.	Resultados de análisis clúster jerárquico y discriminante	66
4.3.	Arreglo matricial por vectores.....	68

4.4. Prueba de diferencia de matrices.....	70
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
5.1. Evaluación de impacto ambiental y propuestas de métodos estadísticos....	72
5.2. Evaluación de impacto ambiental e incertidumbre en métodos de valoración actuales	73
5.3. Evaluación de impacto ambiental respecto a aportes para mejora de predicciones.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
6.1. Conclusiones	76
6.2. Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. División por componentes ambientales en tres niveles	20
Tabla 2. Posibles situaciones de las decisiones estadísticas según naturaleza.....	23
Tabla 3. Inventario inicial de impactos ambiental para un proyecto de construcción de infraestructura típico	30
Tabla 4. Identificación de impactos ambientales preliminar para cada factor ambiental	31
Tabla 5. Criterios y escala para la valoración de impactos ambientales.....	32
Tabla 6. Rango de valoración de impactos ambientales positivos y negativos	33
Tabla 7. Ejemplo de valorización cuantitativa de impactos mediante el método de Divergencia	34
Tabla 8. Niveles de afectación de los impactos según índice de afectación estándar	34
Tabla 9. Jerarquización de factores ambientales por expertos interdisciplinarios	39
Tabla 10. Breve descripción de proyectos seleccionados para el estudio.....	47
Tabla 11. Resumen por criterios de los proyectos seleccionados para el estudio.....	49
Tabla 12. Actividades en común de los proyectos seleccionados por componente (A y B).....	50
Tabla 13. Peso de cada medio ambiental por proyecto seleccionado	50
Tabla 14. Base de datos para valoración de impactos.....	51
Tabla 15. Matriz de transformación de para dos componentes.....	55
Tabla 16. Arreglo matricial por factores ambientales y actividades durante la fase de construcción	59
Tabla 17. Resultados de las pruebas estadísticas de KMO y Bartlett	61
Tabla 18. Varianza total explicada de criterios ambientales por autovalores y suma de saturaciones	61
Tabla 19. Matriz de componentes rotados de criterios de valoración por componente	63
Tabla 20. Matriz de transformación de dos componentes.....	64
Tabla 21. Varianza total explicada de factores ambientales	64
Tabla 22. Matriz de componentes rotados de medios ambientales.....	65
Tabla 23. Valor estandarizado de los medios ambientales por proyecto	66
Tabla 24. Autovalores del análisis discriminante para cada función y su correlación canónica.....	66
Tabla 25. Prueba de Lambda de Wilks, Chi-cuadrado y nivel de significancia	67

Tabla 26. Casos valorados incorrectamente de cada proyecto seleccionado	67
Tabla 27. Comparación entre resultados estimados e iniciales por cada proyecto seleccionado	70
Tabla 28. Resumen de contraste de hipótesis para una prueba no paramétrica	70
Tabla 29. Error estándar de los resultados	70
Tabla 30. Matriz promedio de resultados estimados para la fase de construcción de los proyectos seleccionados	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo del impacto ambiental de una acción	20
Figura 2. Expresión generalizada de valoración de impactos por actividades (IA) y por cada factor (IA _g).....	24
Figura 3. Diagrama de flujo ambiental de entradas y salidas para la fase de construcción de un proyecto de infraestructura típico	29
Figura 4. Cantidad de impactos ambientales identificados por factor ambiental	31
Figura 5. Diagrama simplificado de selección por preguntas de funciones de transformación.....	36
Figura 6. Función de transformación parabólica decreciente, que disminuye rápidamente para valores pequeños y lentamente para grandes.....	37
Figura 7. Función de transformación lineal creciente para magnitudes directamente proporcionales	38
Figura 8. Proceso de evaluación de impacto ambiental (líneas continuas) y proceso iterativo (líneas discontinuas)	41
Figura 9. Esquema del método propuesto (líneas continuas) y la comparación con los datos iniciales (líneas discontinuas).....	46
Figura 10. Distribución de impactos ambientales por factor ambiental de los proyectos seleccionados para el estudio	48
Figura 12. Pasos a seguir antes del análisis por componentes principales.....	52
Figura 13. Criterios para identificar la correlación entre dos variables	55
Figura 14. Ejemplo de Dendrograma para tres grupos identificados (línea discontinua)	56
Figura 15. Sedimentación de componentes por autovalores de criterios de valoración	62
Figura 16. Componentes rotados por Varimax de criterios de valoración con relación entre variables (líneas continuas).....	63
Figura 17. Componentes rotados por Varimax de medios ambientales con relación entre variables (líneas continuas).....	65
Figura 18. Dendrograma generado por el análisis clúster jerárquico.....	68
Figura 19. Comparación de naturaleza (positiva o negativa) de las valoraciones totales de las actividades.....	69
Figura 20. Comparación naturaleza (positiva o negativa) de las valoraciones totales por factores ambientales.....	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del área de influencia	29
Ecuación 2. Cálculo de la valoración cualitativa de impactos	32
Ecuación 3. Cálculo de la valoración cuantitativa de impactos por divergencia	33
Ecuación 4. . Expresión de función parabólica decreciente.....	37
Ecuación 5. Expresión de función lineal creciente	37
Ecuación 6. Suma total de valoraciones.....	38
Ecuación 7. Cálculo de matriz cuadrada	52
Ecuación 8. Cálculo de matriz de correlaciones	53
Ecuación 9. Ecuación de transformación para el valor del impacto.	55
Ecuación 10. Cálculo de la función lineal discriminante.....	57
Ecuación 11. Cálculo de función de valorización de impactos.....	59
Ecuación 12. Ecuación para nueva valoración de impactos	64



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Origen y desarrollo de la evaluación de impacto ambiental en el Perú

En los años 60, aparecieron las primeras legislaciones ambientales alrededor del mundo orientadas a controlar la contaminación del agua, aire o suelo que se produce en el sector industrial (Vallejos, 2015). El aumento general de la conciencia ambiental obligó a los países a desarrollar leyes para controlar el crecimiento industrial y las actividades que impactaban negativamente en la población. Sin embargo, no existía un procedimiento estándar para su control, debido a que cada país contaba con su propia legislación.

En 1970, el Congreso de los Estados Unidos de América aprobó la Política Nacional del Medio Ambiente o NEPA, por sus siglas en inglés, y marcó las pautas iniciales de control ambiental para el resto de países industrializados. Es en esta ley donde se propone la estructura de la evaluación de impacto ambiental (EIA) y establece el carácter antropocéntrico del concepto de medio ambiente (Garmendia et al., 2005). No obstante, cada país estableció los criterios necesarios para decidir qué proyectos necesitan una EIA.

En el Perú, los primeros pasos para establecer una política ambiental con base legal e institucional comenzaron con el Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales en 1990. La política ambiental se concreta con la creación del Consejo Nacional del Ambiente cuya finalidad es velar por el ambiente y patrimonio natural. Posteriormente, se crea la Ley del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental o SEIA en el 2001, con la finalidad de establecer el procedimiento estándar que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las EIA. Dicho procedimiento se basó en la ley NEPA y establece tres categorías de evaluación de impactos.

Para asegurar el mejoramiento continuo de la calidad de vida de las personas, en el 2005 se crea el Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA). Dicho sistema es un conjunto de lineamientos, objetivos, metas e instrumentos de aplicación para la conservación de los recursos naturales. Ese mismo año, se promulga la Ley General del Ambiente como el último esfuerzo para mejorar el marco normativo.

1.2. Alcance

El alcance del proyecto parte del análisis de los impactos ambientales durante la fase de construcción de ocho proyectos de infraestructura públicos y privados ubicados en el Perú. Cinco proyectos se encuentran en Lima, uno en Ica, uno en Puno y el último en Ucayali. Además, los proyectos tienen actividades y factores ambientales en común. Dicho alcance se justifica porque son proyectos que entran en el ámbito de construcción de infraestructura y ya se han identificado y valorado sus impactos ambientales en la fase indicada. Se considerarán impactos ambientales cuya valoraciones tengan los siguientes criterios ambientales: perturbación (P), importancia (I), ocurrencia (O), extensión (E), duración (D) y reversibilidad (R).

Asimismo, la nueva valoración de los impactos ambientales fue estimada bajo la aplicación de un nuevo método numérico de matriz de interacción cuya base está en el análisis factorial y se utilizaron los criterios ambientales previamente mencionados. Por medio del paquete estadístico SPSS, se calcularon los componentes principales y se compararon las valoraciones estimadas con las iniciales. Además, para un futuro análisis, la metodología propuesta se podrá aplicar a cualquier categoría y fase de un proyecto en cualquier parte del país.

Finalmente, los datos de cada proyecto son desde la evaluación preliminar del emplazamiento hasta la etapa de identificación y valoración de impactos ambientales significativos de la fase de construcción. No se incluirá la fase de operación y mantenimiento y de cierre, ya que no se cuenta con la información necesaria. Asimismo, no se incluirán los impactos secundarios o terciarios que podrían generarse de la interacción de dos o más impactos principales, ni impactos que ocurran por eventos no esperados durante la construcción. Por motivos de confidencialidad, no se pueden mostrar los nombres de los proyectos.

1.3. Justificación

La evaluación de impacto ambiental (EIA) requiere de métodos estandarizados para la identificación y valoración de impactos ambientales durante las fases de un proyecto. Sin embargo, no existe un método que pueda utilizarse en todos los proyectos ni que garantice la ausencia de incertidumbre, lo que genera trabajos sin un buen plan de manejo ambiental (Tennøy et al., 2006; Toro et al., 2013a; Vilorio et al., 2018). No obstante, la valoración cualitativa multicriterio es un método bastante utilizado pero

con resultados que poseen con cierto grado de incertidumbre. Es importante establecer un método preciso que ayude a identificar y reducir las fuentes de incertidumbre para la valoración de impactos ambientales. Por lo tanto, el desarrollo de un nuevo método numérico para la valoración de impactos en una EIA se justifica desde dos perspectivas.

En primer lugar, en el Perú ha aumentado la cantidad de proyectos que requieren de una adecuada EIA, así como una correcta certificación, antes de poder ser ejecutado (Kahatt & Azerrad, 2013). Sin embargo, muchas empresas no realizan un adecuado estudio, comienzan sus proyectos sin tener un estudio aprobado o eluden colocar ciertos impactos ambientales que perjudiquen la aprobación del estudio, lo cual produce que los impactos en el emplazamiento no sean valorizados de forma correcta, no sean identificados o considerados a tiempo (Martínez, 2013; Vilorio & Awad, 2015). Dicha situación aumenta la posibilidad de que las medidas de gestión ambiental no sean adecuadas y que exista una inadecuada comunicación hacia la población sobre los posibles impactos ambientales nocivos que tendrán los proyectos. Es importante que las medidas mitigadoras o compensadoras, que deben ser planteadas antes del inicio del proyecto, sean debidamente informadas a la población y tengan un seguimiento posterior a su finalización.

En segundo lugar, existe la necesidad de desarrollar e implementar nuevos modelos estadísticos a los proyectos importantes para obtener resultados confiables, rápidos y comparables (Plazas et al., 2009). Los modelos actuales, a pesar de combinar datos cualitativos y cuantitativos, tienen fuentes de incertidumbre que no son identificados ni tratados adecuadamente (Martínez, 2013; Tennøy et al., 2006). Además, en muy pocos estudios se han verificado si las estimaciones finales de los impactos ambientales son de confianza y relevantes (Teigland, 2000). Dicho aporte metodológico implicaría una predicción más precisa de la afectación sobre los factores ambientales que conforman el entorno del proyecto con una menor incertidumbre por parte de las valoraciones cualitativas.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un nuevo método numérico de evaluación de impactos ambientales de proyectos ubicados en el Perú utilizando una matriz de interacción. A través de un

modelado estadístico de componentes ambientales de criterios de valoración y factores ambientales, se puede realizar una adecuada valoración de impactos ambientales que conlleve a una evaluación más precisa de estos.

1.4.2. Objetivos específicos

Del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- d) Establecer los vectores de valoración necesarios a partir de los ocho proyectos.
- e) Evaluar la aproximación de los resultados mediante un análisis de clúster jerárquico y discriminante para desarrollar matrices de evaluación.
- f) Comparar los resultados del método propuesto mediante una diferencia de medias y pruebas estadísticas.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

A continuación se presenta la definición de una serie de términos que ayudarán a una mejor interpretación de los temas relacionados a la evaluación de impacto ambiental y el análisis estadístico planteado.

- **Acción:** cualquier política, programa, plan o proyecto que tiene la posibilidad de afectar al ambiente (Consejo Nacional de Ambiente [CONAM], 1999).
- **Ambiente:** es un conjunto de circunstancias físicas, culturales, económicas y sociales que actúan sobre un organismo o comunidades ecológicas (Garmendia et al., 2005).
- **Análisis Factorial:** es una técnica de análisis multivariante cuyo objetivo es reducir un conjunto de variables cuantitativas (interrelacionadas) a un grupo de factores independientes (Quezada, 2017). Asimismo, permite comprobar si la medición es correcta sobre el entorno (Moreno, 2011).
- **Aspecto Ambiental:** referido a los productos o servicios que se generan en un proyecto. Dichos productos, relacionados con los factores ambientales, son los causantes del impacto sobre el ambiente.
- **Capacidad Ambiental:** es la condición de un territorio para asimilar cambios sin deteriorarse (Espinoza, 2006).
- **Correlación:** es la relación que expresa la proporción de varianza compartida entre una o más variables (Moreno, 2011).
- **Estándar de calidad (ECA):** es un instrumento de gestión ambiental que impone valores de contaminantes permitidos en el ambiente. Cada factor ambiental tiene su propio estándar y que no representa un riesgo para la salud y el ambiente.
- **Factor ambiental:** o también conocido como Componente ambiental, es una variable susceptible al cambio que describe al medio donde se desarrollará una actividad. Por ejemplo, el agua. Según Conesa (2010), para poder identificar los factores ambientales del entorno, se debe dividir en tres niveles (sistema, subsistema, componente ambiental).

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de la descomposición del entorno por niveles. Sin embargo, los proyectos tienen distintas actividades que pueden o

no afectar a todos los factores ambientales mencionados. Por otro lado, en cada proyecto se les asignan unidades de importancia que depende del criterio de los evaluadores ambientales.

Tabla 1. División por componentes ambientales en tres niveles

Sistema	Subsistema	Componente ambiental
Medio físico	M. Inerte	Aire
		Suelo
		Agua
Medio Socio-económico	M. Biótico	Flora Fauna
	M. Perceptual	Paisaje
	M. Socio-cultural	Aspectos culturales Aspectos humanos
	M. Económico	Social Economía

- **Gestión ambiental:** es un conjunto de acciones y elementos cuyo objetivo es lograr una adecuada decisión respecto a la conservación, protección y mejora del medio ambiente organizados en un plan de acción y participación ciudadana (Vallejos, 2016).
- **Impacto Ambiental:** es un cambio en el ambiente, beneficioso o adverso, que resulta de la interacción de los factores ambientales con las actividades de un proyecto (NTP-ISO14001, 2015). En la Figura 1 se muestra la calidad ambiental (CA) antes del inicio de acción y cómo puede variar positiva (beneficio) o negativamente después de finalizada dicha acción a través de un tiempo determinado.

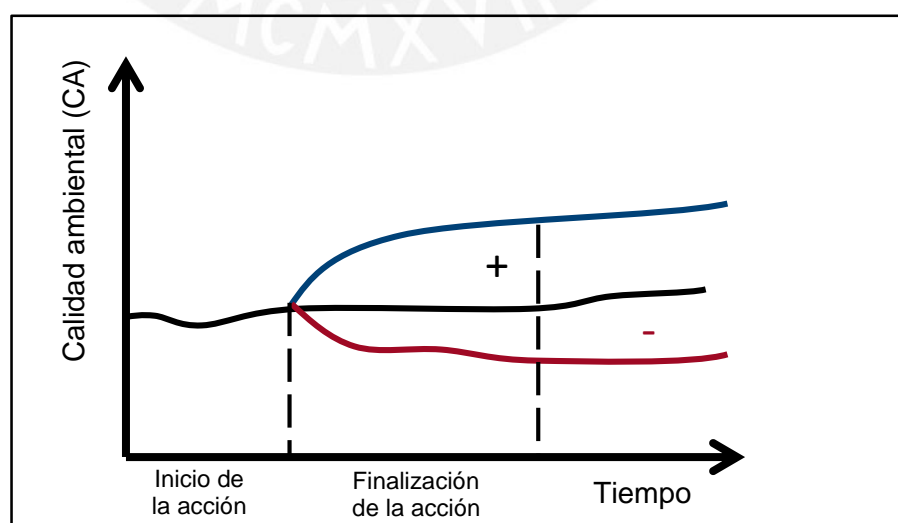


Figura 1. Esquema representativo del impacto ambiental de una acción
(Conesa, 2010)

En el esquema se observan tres escenarios representados por curvas: el primero representa la calidad ambiental respecto al tiempo sin la ejecución del proyecto. Los otros escenarios son los valores modificados del CA (incremento o reducción) cuando se ejecuta una acción o actividad cuya valoración es positiva o negativa. Dicha valoración se estima por métodos cuantitativos o cualitativos y comparados con los estándares de calidad ambiental establecidos.

- **Indicador ambiental:** es una transformación de la información ambiental, cuya variación permite evaluar el grado de alteración de un impacto (Cruz et al., 2008; Peretvochtchikova, 2012). Con dichos indicadores es posible conocer el estado actual del ambiente y saber cómo se están implementando las medidas del plan de gestión ambiental así como el cumplimiento de la normativa (Espinoza, 2006).
- **Incertidumbre:** es un parámetro sobre la validez de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, por ejemplo la desviación típica (Centro Español de Metrología [CEM], 2008).
- **Línea base:** es el estado actual del emplazamiento previo a la ejecución de un proyecto. En dicho estado se incluye una descripción detallada de las características ambientales y los peligros potenciales.
- **Mitigación:** es un conjunto de acciones que permiten atenuar, disminuir o minimizar los impactos negativos que se puedan generar en el entorno humano y/o natural.
- **Multivariado:** son los datos y variables que se disponen o necesitan para poder describir un objeto o caso de estudio desde distintas perspectivas (Lacourly, 2011).
- **Sistema complejo:** es aquel sistema que tiene muchas componentes que se relacionan entre sí, por ejemplo el ambiente (Martínez, 2013).
- **Valoración ambiental:** es el proceso por el cual, con la información y criterios disponibles, se evalúa el valor del impacto ambiental de las actividades de un proyecto.

2.2. Definición de Evaluación de Impacto Ambiental

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un procedimiento administrativo, jurídico y técnico que tiene como objetivo identificar, predecir, valorar e interpretar los cambios que se puedan generar en la calidad del emplazamiento por un proyecto

en caso de ser ejecutado; así como una herramienta política pública para desarrollar los planes de mitigación o compensación que se puedan emplear para que no se produzcan amenazas para la salud, bienestar y equilibrio ecológico. De esta manera, la EIA es un instrumento legal de protección y gestión ambiental que fortalece la toma de decisiones sobre un proyecto, obra o actividad (Cruz et al., 2008).

Desde la promulgación de la ley N°27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), los proyectos de inversión públicos y privados que puedan causar impactos ambientales negativos son clasificados en tres categorías y requieren de una declaración de impacto ambiental y/o una EIA para la certificación ambiental (Ley N° 27446, 2009). Asimismo, se establecen requisitos mínimos que debe contener una EIA, desde una descripción de la propuesta y su área de influencia, hasta planes de seguimiento, control y participación ciudadana. Por otro lado, la autoridad encargada de realizar la EIA debe procurar la protección de la salud de las personas, la calidad ambiental, los recursos naturales, espacios urbanos, entre otros que surjan de la política nacional ambiental.

Por último, la EIA debe estar planteada de forma que sea una evaluación sistemática, reproducible e interdisciplinaria de los impactos que se generan por la ejecución de un proyecto (CONAM, 1999). Dicha evaluación permite comparar la situación previa antes del inicio de un proyecto, denominado como línea base, y predecir la situación posterior a la culminación de todas las etapas del proyecto. Para predecir el impacto se realiza una comparación entre la situación real o inicial de la calidad del ambiente frente a una situación posterior y simulada gracias a la EIA. De esta manera, se puede predecir la magnitud de los impactos causados por el proyecto.

En los últimos años, se han desarrollado nuevas investigaciones que intentan explicar, desde un enfoque multivariado, la magnitud y el grado de afectación de los impactos ambientales de proyectos (Aznar et al., 2007; Cruz et al., 2008; Plazas et al., 2009). Así como las fuentes de incertidumbre en las metodologías utilizadas en la EIA (Teigland, 2000; Tennøy et al., 2006). Sin embargo, no hay un proceso estándar que reúna dichos aportes y estime de una mejor manera la valoración de impactos ambientales.

2.3. Antecedentes del estudio

2.3.1. Uso de métodos estadísticos en la evaluación de impacto ambiental

Según Antcliffe (1999), existe una necesidad de aplicar métodos estadísticos para la comprobación de hipótesis y determinar el tipo de error que se está cometiendo cuando se analizan los resultados de un estudio. Se propone dos tipos de errores: el error de tipo I (aceptar un valor que es falso) y el error de tipo II (rechazar un valor que es verdadero) son los causantes del aumento de costos en cualquier tipo de estudio. En la Tabla 2 se observa las decisiones estadísticas, el paréntesis representa la probabilidad de ocurrencia, en este caso, uno (1) equivale al poder del análisis estadístico.

Tabla 2. Posibles situaciones de las decisiones estadísticas según naturaleza

Naturaleza	Decisión estadística	
	Rechazar H_0	Aceptar H_0
H_0 verdadero	Error tipo I	Correcto
H_0 falso	Correcto (1 = poder)	Error Tipo II

Por otro lado, se plantea la necesidad de realizar dos tipos de análisis, a priori y a posteriori, para ser utilizado en los siguientes puntos: ayudar a diseñar un mejor estudio del área, mejorar la evaluación de resultados de una muestra y optimizar el poder del análisis. De esta manera, es necesario establecer un protocolo de análisis estándar adicional a los programas de cómputo actuales.

Desde el enfoque multivariado para el análisis, el nuevo modelo de valoración agraria (NAVAM) combina el proceso analítico jerárquico (AHP) y la programación por metas (GP), ambos modelos multicriterio (Aznar et al., 2007). El procedimiento propuesto permite adecuar un entorno de escasa información a los requerimientos de cada método de valoración tradicional utilizados. El AHP tiene como objetivo cuantificar la información subjetiva, asociada a los atributos intangibles, e incorporarlos a diferentes aspectos relevantes de la realidad. Asimismo, proporciona prioridades locales y globales de las preferencias de los individuos cuando realizan la evaluación subjetiva. Por otro lado, la GP recolecta la información de las preferencias generales por el AHP.

El caso aplicativo fue realizado en una parcela agrícola en España. Los resultados demostraron que la metodología propuesta si puede ser adaptada a otros entornos o

contextos. Por último, se pone en evidencia que los entornos de escasa información y de valoración subjetiva, como lo es el uso de criterios ambientales, pueden ser analizados a través de modelos multicriterio con resultados satisfactorios.

Por otro lado, para las valoraciones de impactos ambientales que utilizan criterios ambientales, se propone un análisis factorial en base a un análisis de componentes principales (ACP) como una opción para identificar las variables que aportan información a la valoración de impactos ambientales de un conjunto de EIAs seleccionados (Plazas et al, 2009). Cada EIA tiene una valoración entre 0 y 1, con sus respectivas expresiones matemáticas de construcción, para los impactos y componentes ambientales. De esta manera, se reduce la información a dos dimensiones principales independientes que relacionan los criterios ambientales y los índices de calidad ambiental y para poder analizar el comportamiento de los mismos. Cada atributo corresponde a un componente principal determinado.

Por último, se propuso un modelo de evaluación a través de una expresión generalizada y una escala de categorización de los EsIA a través de rangos. De la Figura 2 se puede apreciar que cada variable de valoración tiene un peso distinto y algunas, como en el caso de evolución (E) y sinergia (S) para la valoración del impacto de las actividades (IA), tienen un peso negativo.

De esta manera, la valoración final es más precisa, aún en situaciones con escasa información. Asimismo, proponen que la valoración de los impactos sea recalculada con las nuevas expresiones. Sin embargo, los autores recomiendan el análisis de más casos de la misma categoría y con mayor información para afinar los resultados y desarrollar nuevos métodos de evaluación.

$$\begin{aligned} IA &= 0.9*P + 0.34*D + 0.07*M - 0.04*E + 0.07*R + 0.11*S + 0.21*M \\ IA_g &= -0.2*P + 0.27*D - 0.47*M + 0.24*E + 0.41*R + 0.29*S + 0.60*M \end{aligned}$$

Figura 2. Expresión generalizada de valoración de impactos por actividades (IA) y por cada factor (IA_g)

Moreno et al (2011) plantean que los métodos de evaluación ambiental se agrupan en dos bloques: los basados en valoraciones económicas y en valoraciones no económicas. El primer grupo permite realizar comparaciones entre alternativas a través de un punto de referencia (costo de los recursos naturales). Es en el segundo grupo donde se genera, a través de aproximaciones, un panorama más preciso del problema

y sus consecuencias. Asimismo, se definen las técnicas de decisión multicriterio (TDM) bajo los siguientes criterios: consideración simultánea de todos los criterios, funciones de utilidad que agregan la contribución de distintos criterios y el empleo de aproximaciones. De esta manera, existen las herramientas y procedimientos para la resolución de problemas complejos de decisión. Aplicado al entorno de la EIA, dichas técnicas multicriterio pueden ayudar a mejorar la toma de decisión frente al plan de manejo ambiental.

2.3.2. Uso de programas para la evaluación de impactos

Por el lado de programas de evaluación ambiental, se una aplicación java, conocida como EIA09, para la realización de estudios de impacto ambiental (EsIA) de cualquier tipo de proyecto (Cruz et al., 2008). A partir de la interacción de los aspectos ambientales y los factores ambientales, se obtienen las actividades del proyecto. Luego, con aplicación de lógica difusa para inferir si el efecto es impacto o no, se puede ingresar la valoración cualitativa y cuantitativa propuesta por un panel de expertos. No obstante, se considera una valoración cualitativa completa (con todos los criterios ambientales de evaluación) y se puede ingresar una función de transformación. El programa permite comparar alternativas de acción y genera un reporte ambiental de cada proyecto. De esta manera, se reduce el tiempo para el análisis de impactos y se agiliza todo el estudio.

El programa IMPRO4 es una variante de análisis estadístico de manera sistemática, rápida y eficiente (Gómez & Gómez, 2012). Dicho programa utiliza metodologías de valoración de impactos ambientales basadas en matrices, como la matriz de Leopold, y estandariza el proceso de evaluación de impactos. El alcance del programa parte desde la identificación de los efectos ambientales de un proyecto hasta la fase de gestión ambiental y seguimiento. De esta manera, se automatizan las tareas que aportan poco valor y se emplea más tiempo en actividades más importantes. Por último, el programa permite mejorar el contenido y la calidad de los trabajos; así como la oportunidad de compartir y colaborar con profesionales de distintos países. Para el entorno de EIA, la comparación de resultados y la estandarización de los procesos que permiten una mejora continua.

2.3.3. Análisis de incertidumbre de los procesos que involucran la evaluación de impacto ambiental

Para el análisis de incertidumbre, Martínez (2013) plantea las siguientes situaciones que generan incertidumbre en los estudios de impacto ambiental: la dificultad de predecir impactos en sistemas complejos, falta de análisis histórico, carencia de metodología oficial para incorporar la complejidad del ambiente, la manipulación de resultados para favorecer el proyecto y cambios no previstos del proyecto. En ese sentido, los resultados de campo demostraron que al menos el 50% de los EIA, los impactos no corresponden a la realidad. La propuesta para reducir dicha incertidumbre es una metodología para la identificación y valoración de impactos a través del estudio de relaciones de causalidad basada en un modelado de sistemas complejos (MSC). Dicha propuesta es emplear una matriz de adyacencia donde se comparten las actividades e impactos ambientales, a través del software Ucinet y Netdraw. De esta manera, se prioriza los impactos en función de su capacidad para interactuar con otros impactos.

Finalmente, la EIA basada en MSC permite identificar impactos relevantes de los proyectos sin la posibilidad de que impactos críticos no sean considerados en la evaluación (Martínez, 2013). Sin embargo, presenta las siguientes limitaciones: la necesidad de capacitar a los evaluadores, dificultad para discriminar impactos positivos de negativos, la necesidad de que los evaluadores sean profesionales de diversas áreas y el uso de software con licencia.

Por otro lado, Tennøy et al (2006) evaluaron 22 casos de EIA en Noruega para estudiar el nivel de predicción de los impactos. Los resultados de campo demostraron que hay una situación de falta de discusión de los resultados, ya que en el 43% de los casos no se mencionó la posibilidad de incertidumbre; en el 23%, se sugirió pero no como incertidumbre; en el 13%, se indicó pero no se explicó; y en el 21%, se discutió sobre las razones. Dicha situación dificulta la validación de la información obtenida en campo y suposiciones iniciales.

A raíz de dicha situación, se plantearon cuatro categorías para definir el tipo de incertidumbre que se produce en los EIA y tres categorías para definir como la información inicial influye. Los resultados demostraron que el resultado de las predicciones puede parecer más certera de lo que realmente es y los que toman las

decisiones (panel de expertos o ejecutores del proyecto) solo tienen limitada información inicial para verificar las predicciones. Los autores concluyen que es necesario desarrollar nuevos modelos y métodos así como una mejor comunicación de las posibles incertidumbres.

2.3.4. Importancia de metodologías que mejoren la calidad de los resultados en la evaluación de impacto ambiental

Respecto a la importancia y calidad de la EIA, Morrison-Saunders y Bailey (2003) realizaron un estudio, a través de encuestas y entrevistas, a treinta y un expertos en EIA con el objetivo de determinar la percepción sobre la importancia y calidad de la ciencia detrás de cada una de las seis etapas (recolección de datos, predicción de impactos, plan de mitigación, toma de decisiones, monitoreo y gestión de adaptación). Se plantearon dos corrientes que perciben el rol de la ciencia: quienes sugieren que la EIA debe ser un ejercicio científico predominante y los que sugieren que la EIA debe recibir información activa de otras fuentes. De esta manera, las preguntas del cuestionario fueron las siguientes:

- ¿Qué tan aceptable es la calidad actual de la ciencia?
- ¿Qué tan importante es el rol de la ciencia?
- ¿Qué tan importante debe ser el rol de la ciencia?
- ¿Cómo ha cambiado la calidad de la ciencia en el tiempo?
- ¿En qué medida la calidad actual de la ciencia en EIA cumple con sus expectativas del proceso?
- ¿Qué factores cree que determinan el nivel de ciencia utilizada?
- ¿Cómo mejoraría la integridad científica?

Los participantes utilizaron una escala Likert del 1 al 7, donde 1 es una valoración positiva, y una posterior entrevista para responder las preguntas. De esta manera se obtuvieron resultados en dos instancias para verificar su continuidad. Los resultados indicaron ha habido un importante avance en la calidad de la ciencia en los últimos años. Sin embargo, no se ha avanzado en las últimas etapas de la EIA, sobretodo en la etapa de monitoreo. Debido a esto, es más difícil detectar si los resultados han sido manipulados para la obtención de la aprobación del proyecto (Viloras & Awad, 2015).

2.4. Estado del arte

2.4.1. Principios de la evaluación de impacto ambiental

Para asegurar que se cumpla el objetivo principal de las evaluaciones ambientales, así como estar alineado con las normas internacionales, se establecieron los siguientes principios (Espinoza, 2007; Ley N° 277446, 2009):

- **Indivisibilidad:** la evaluación se maneja de manera integrada en políticas, planes, programas y proyectos correspondiendo con todos los componentes del mismo.
- **Participación:** el público interesado y afectado por el proyecto debe poder participar en la toma de decisiones.
- **Complementariedad:** el Estado debe asegurar la conexión entre la evaluación y la ley previamente mencionada.
- **Interdisciplinario:** es importante tener un equipo de trabajo con expertos en diferentes especialidades durante la evaluación para obtener resultados aceptables.
- **Reproducible:** el proceso debe tener una metodología clara para que terceros puedan evaluarla. De esta manera, se genera un mayor entendimiento del problema e identificar posibles errores que puedan ser corregidos en futuras evaluaciones.
- **Transparencia:** el público, en especial el afectado, debe tener acceso a la información del proceso de la EIA, así pueden detectar alguna irregularidad.

Asimismo, los principios mencionados permiten saber la efectividad y los límites de la evaluación de impacto ambiental.

2.4.2. Metodología general de valoración de impactos

Los métodos utilizados para la identificación, predicción y evaluación de los impactos ambientales se diferencian en cuatro conjuntos: sistemas de redes y gráficos; sistemas cartográficos; métodos basados en indicadores; y el uso de matrices (Plazas et al., 2009). Para cada alternativa, los métodos proporcionan un valor que mide los efectos en los factores ambientales y funcionan como una referencia numérica o indicador ambiental (Moreno et al., 2001).

No obstante, lo ideal es combinar las herramientas existentes para cada etapa de la EIA, así la evaluación contará con información necesaria para poder comparar las situaciones ambientales existentes con las situaciones simuladas que surgirían por el proyecto (Vásquez, 2015). Asimismo, es importante definir desde el inicio el área de influencia directa e indirecta para poder describir el entorno (Canter, 1998). En dicha área es dónde se van a manifestar todos los impactos de las actividades sobre los factores que componen el ambiente. La Ecuación 1 se utiliza para calcular el área de influencia (AI). El valor de “k” varía para calcular el área indirecta o directa.

$$AI = \pi r^2 k \quad (1)$$

Una manera rápida de identificar las actividades y sus impactos, hasta cierto punto, es a través de listas de verificación. En dichas listas se considera un grupo de actividades normalizadas para uniformizar el proceso de evaluación (Conesa, 1999). Para obtener los aspectos ambientales, se realiza un diagrama de flujo ambiental que identifica las entradas y salidas generadas por actividades de un proyecto, como el mostrado en la Figura 3.

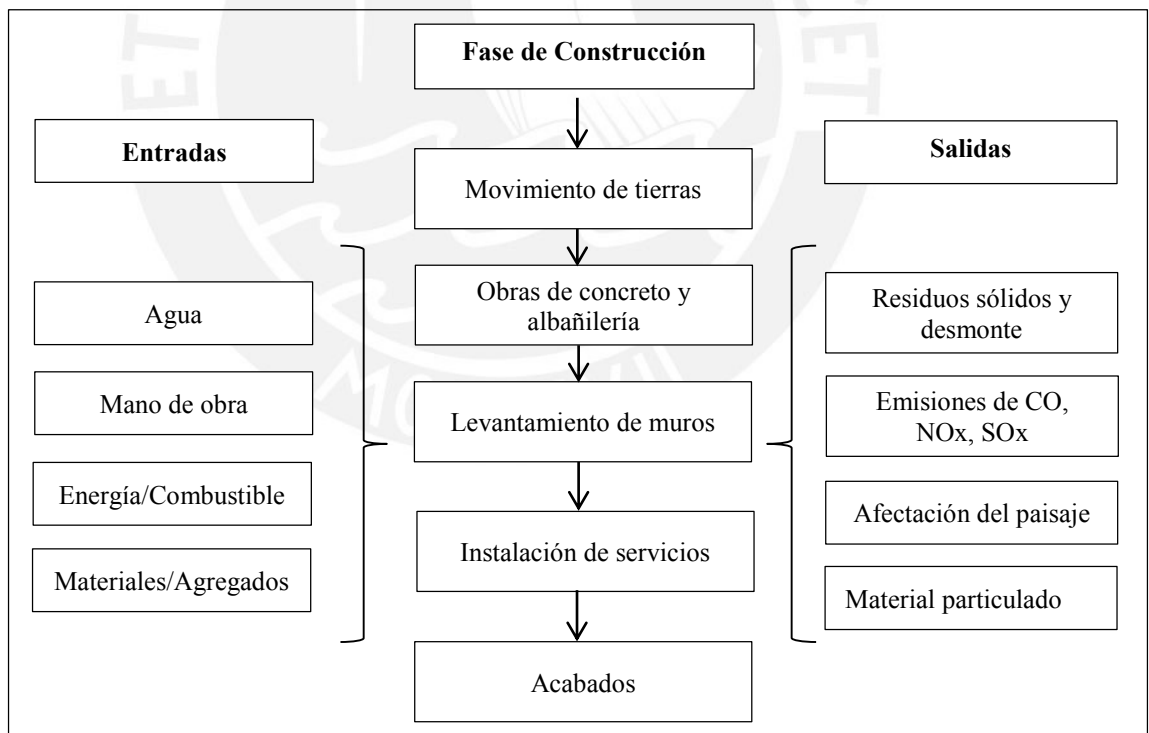


Figura 3. Diagrama de flujo ambiental de entradas y salidas para la fase de construcción de un proyecto de infraestructura típico

La Tabla 3 presenta la identificación de impactos a partir del diagrama de flujo de cada etapa del proyecto. El tipo de frecuencia (ponderada o relativa) para cada impacto permite identificar cuáles afectan más al factor ambiental, según el peso que tiene cada

uno. Para todos los casos, los impactos indican el medio afectado y la acción que lo produce.

La otra opción es a través de una matriz de identificación para cada etapa del proyecto, conocida como la matriz de Leopold. Las actividades que generan impactos se identifican con uno (1) y las que no, con nulo (0). No obstante, el valor no significa el carácter del impacto (negativo o positivo), sólo es un indicador de que existe. La valoración se encargará de darle el carácter correspondiente. En la Tabla 4 se puede apreciar un ejemplo de aplicación de la matriz en el cual se relaciona el factor con el aspecto ambiental. Para este caso, las actividades son las obtenidas por el diagrama de flujo de la fase de construcción. Asimismo, permite contabilizar la cantidad total de impactos.

Tabla 3. Inventario inicial de impactos ambiental para un proyecto de construcción de infraestructura típico

Denominación del impacto	Cantidad	Frec. absoluta	Medio al que afecta	Frec. ponderada	Frec. relativa ponderada
Contaminación del medio atmosférico con gases (CO, NO _x y SO _x)	3	0.25	Aire	15.00	0.28
Contaminación del medio poroso por residuos sólidos orgánicos y desmonte	2	0.17	Suelo	10.00	0.19
Contaminación del medio hídrico por efluentes orgánicos provenientes de servicios sanitarios	2	0.17	Agua	10.00	0.19
Generación de puestos de trabajo e ingresos por actividades de intervención y puesta en valor	4	0.33	Económico	16.67	0.31
Afectación del paisaje como consecuencia de la puesta en valor de la zona	1	0.08	Paisaje	1.67	0.03
Total	12			53.33	1.00

De la Figura 4 se observa la cantidad de impactos que se producen en los factores ambientales de la Tabla 4. Los factores más afectados son el Económico y el Aire, de los cuales le siguen Suelo y Agua. Cabe resaltar que el factor económico suele tener la mayor cantidad de impactos positivos, ya que todo el proceso constructivo genera empleos temporales en la localidad. Esta identificación previa permite tener una idea general de la importancia de una adecuada evaluación de los impactos. De esta manera, una matriz de identificación resulta ser efectiva en gran parte de los casos.

Tabla 4. Identificación de impactos ambientales preliminar para cada factor ambiental

Medio ambiental	Factores ambientales	Fase de construcción				Total por factor	Total por medio
		Actividad 1	Actividad 2	Actividad 3	Actividad 4		
Medio físico	Agua	0	0	1	1	2	8
	Suelo	1	0	1	0	2	
	Aire	0	1	1	1	3	
	Paisaje	0	1	0	0	1	
Medio Socio económico	Económico	1	1	1	1	4	4
Total		2	3	4	3		

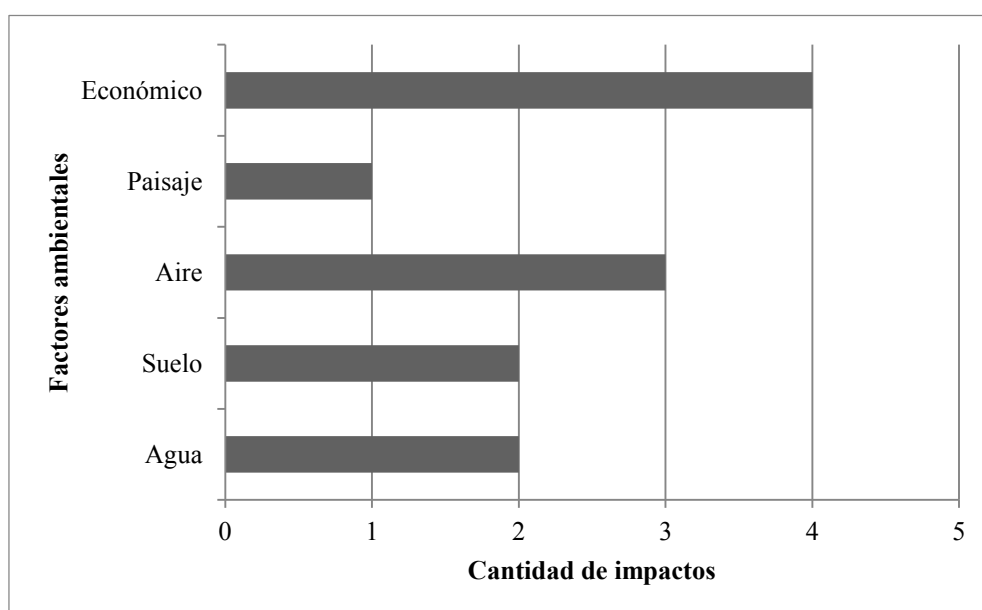


Figura 4. Cantidad de impactos ambientales identificados por factor ambiental

2.4.3. Valoración cualitativa

Para este tipo de metodología, se utilizan criterios o atributos de evaluación para una valoración completa de los impactos. Según Espinoza (2006), las alteraciones ambientales pueden ser individualizadas con los siguientes criterios:

- El carácter o naturaleza define la consideración positiva (1) o negativa (-1) del impacto al estado previo del proyecto. En algunos casos, una actividad no causa impacto en un factor ambiental y, por lo tanto, se considera como nulo o neutro (0).
- La perturbación hace referencia a la alteración en las características de la zona, referidas al factor ambiental que es afectado. Esta puede ser importante, regular o no tener un impacto significativo sobre el área de influencia calculada.
- La importancia indica la intensidad de la afectación que podría tener el impacto en la zona.

- d) La probabilidad de ocurrencia explica que tan probable es que se produzca un impacto, de cualquier naturaleza, en la zona.
- e) La extensión indica el territorio que contiene el impacto y no necesariamente debe coincidir con la localización del proyecto. Para este criterio es importante establecer adecuadamente el área de influencia.
- f) La duración se refiere al comportamiento en el tiempo del impacto. Este puede ser permanente, media o corta.
- g) La reversibilidad del impacto toma en cuenta la posibilidad de retornar a la situación anterior al proyecto (antes del inicio de la acción). Cuando el impacto es de carácter irreversible, deben realizarse medidas de compensación para el ambiente.

Los modelos estadísticos actuales parten de una valoración multi-criterio y una asignación de pesos uniforme, es decir, cada criterio tiene la misma proporción de valoración del impacto con un orden cualitativo o cuantitativo, según sea el método que se requiera aplicar. La escala de valoración de los criterios son mostrados en la **Tabla 5**. Con la valoración de cada criterio, el valor ambiental del impacto se calcula con la Ecuación 2. Para este caso, cada criterio tiene el mismo peso.

Tabla 5. Criterios y escala para la valoración de impactos ambientales

Criterios		Escala	
Carácter (C)	Negativo (-1)	Neutro (0)	Positivo (1)
Perturbación (P)	Importante (3)	Regular (2)	Escasa (1)
Importancia (I)	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Ocurrencia (O)	Muy probable (3)	Probable (2)	Poco probable (1)
Extensión (E)	Regional (3)	Local (2)	Puntual (1)
Duración (D)	Permanente (3)	Media (2)	Corta (1)
Reversibilidad (R)	Irreversible (3)	Parcial (2)	Reversible (1)
Total	18	12	6

(Espinoza, 2006)

$$I_V = C * (P + I + O + E + D + R) \quad (2)$$

Los valores de los criterios ambientales junto con la Ecuación 2 permiten estimar el carácter y el grado de compatibilidad de cada impacto evaluado. La **Tabla 6** muestra

el rango de valores que determina la escala de compatibilidad de los impactos, siendo el severo el que más efecto negativo produce en el ambiente.

Los métodos cualitativos, como son la matriz de Leopold o el método de Conesa, se basan en una valoración multicriterio, realizada por un grupo de expertos multidisciplinario, a través de los criterios ambientales previamente mencionados. De esta manera, este tipo de métodos se justifican con la experiencia colectiva acumulada, asegurando así que todos los impactos, causas e interacciones entre ellos puedan ser cubiertos (Espinoza, 2006). A partir de la interacción entre el aspecto ambiental y el factor ambiental, el valor final de cada impacto dependerá de las unidades de importancia (UIP) que se establecieron para cada factor.

Tabla 6. Rango de valoración de impactos ambientales positivos y negativos

Valoración de impactos	
Negativo (-)	
Severo	$\geq (-) 15$
Moderado	$(-) 15 \geq (-) 9$
Compatible	$\leq (-) 9$
Positivo (+)	
Alto	$\geq (+) 15$
Mediano	$(+) 15 \geq (+) 9$
Bajo	$\leq (+) 9$
(Espinoza, 2006)	

2.4.4. Valoración cuantitativa

La valoración cuantitativa ofrece una exactitud mayor que la cualitativa por tener una evaluación objetiva, por lo tanto, real del ambiente. En ese sentido, es recomendable hacer una valoración cuantitativa en la medida de lo posible. Para el proceso de valoración, es necesario expresar las características del ambiente de forma medible e incluyendo todos los efectos producidos (Garmendia et al., 2005).

De esta manera, los métodos cuantitativos utilizan los estándares de calidad ambiental (ECA) para calcular el valor del impacto. Un modelo conocido como el método de Divergencia propone calcular el valor en virtud de la distancia producida entre la medición ambiental y el ECA a través de la siguiente expresión:

$$I_v = x - y \tag{3}$$

Donde Iv representa la divergencia ambiental que resulta del valor del impacto (x) respecto a un patrón ambiental (y). En la Tabla 7 se muestra un ejemplo de la disposición de los elementos en una matriz cuantitativa utilizando el método de Divergencia. El nivel de afectación es identificado como “NA” y se determina de acuerdo al índice de afectación estándar, como se muestra en la Tabla 8. Por ejemplo, el impacto I2 (afectación del medio atmosférico por emisiones sonoras) tiene un nivel de afectación medio sobre el factor ambiental Aire.

Tabla 7. Ejemplo de valorización cuantitativa de impactos mediante el método de Divergencia

Factor Ambiental	Impacto	(x)	(y)	(x-y)	Índice de afectación	Índice de afectación estándar	NA
Suelo	I1	80	100	-20	-0.20	0.26	2
Aire	I2	90	150	-60	-0.40	0.51	3
Social	I3	110	100	10	0.10	0.13	1
Económico	I4	1000	950	150	0.10	0.07	1
Paisaje	I5	16	9	7	0.80	1.00	3

Tabla 8. Niveles de afectación de los impactos según índice de afectación estándar

Índice de afectación estándar	Coefficiente de afectación	Nivel de afectación
0.01 - 0.20	(1)	Muy baja
0.21 - 0.40	(2)	Baja
0.41 - 0.60	(3)	Medio
0.61 - 0.80	(4)	Alto
> 0.81	(5)	Muy alto

El otro modelo utilizado es el de Batelle-Columbus, que fue desarrollado para proyectos de recursos hídricos y contempla de descripción de los factores ambientales, la ponderación de cada aspecto y la asignación de Unidades de Impacto Ambiental (UIA) de dos escenarios con y sin proyecto (Vásquez, 2015). A partir de los ICA, el método propone estimar el cambio en la categoría con el uso de señales de alerta. Sin embargo, las funciones de transformación para obtener los ICA fueron desarrollados en Estados Unidos, es decir en un medio particular, por lo que no son válidas para medios distintos y se utilizan aproximaciones.

Ambas metodologías permiten describir el ambiente afectado y predecir los impactos; sin embargo, los métodos cuantitativos, al tener una recolección de información en campo, se obtiene un valor más preciso del impacto, se aumenta la confiabilidad de los resultados, permite comparar los proyectos evaluados y muestra efectividad en las etapas de descripción del ambiente afectado.

La desventaja de los métodos cuantitativos radica en, si el emplazamiento se encuentra en una zona alejada y de difícil acceso, la toma de datos llega a ser muy costosa y complicada (Vásquez, 2015). En este sentido, la ventaja de los métodos cualitativos reside en que, al ser una evaluación interdisciplinaria y de trabajo en oficina, es menos costosa y permite tener un resultado rápido y aceptable, hasta cierto punto; sin embargo, es necesario tener conocimiento del emplazamiento afectado a través de imágenes satelitales o proyectos similares en la zona.

2.4.5. Funciones de transformación

Las mediciones en campo cuantifican el estado general del ambiente; sin embargo, las diferentes dimensiones del ambiente se expresan de diferentes maneras según su naturaleza, es decir, en unidades heterogéneas. La transformación de las variables heterogéneas a homogéneas adimensionales se realiza a través de funciones que permiten obtener índices o indicadores ambientales comparables (Garmendia et al., 2005; Gómez, 2003).

Las funciones de transformación asocian los factores ambientales con unidades heterogéneas con sus magnitudes homogéneas correspondientes de recorrido de 0 a 1. Al mayor valor posible del impacto se le asigna 1, y al menor, el 0. La representación de la función tiene como abscisas las magnitudes en unidades heterogéneas (máximo y mínimo) y las ordenas en unidades homogéneas (0 y 1). De esta manera, las funciones de transformación establecen una relación entre la magnitud de un indicador y la calidad ambiental en unidades estandarizadas (Gómez, 2003).

La identificación de la función de transformación adecuada para evaluar un impacto es un paso importante que debe ser preciso. Por lo tanto, Garmendia propone un esquema de preguntas para facilitar la elección (2005), como el mostrado en la **Figura 5**. En total hay diez posibles funciones para escoger según la naturaleza considerada del impacto ambiental.

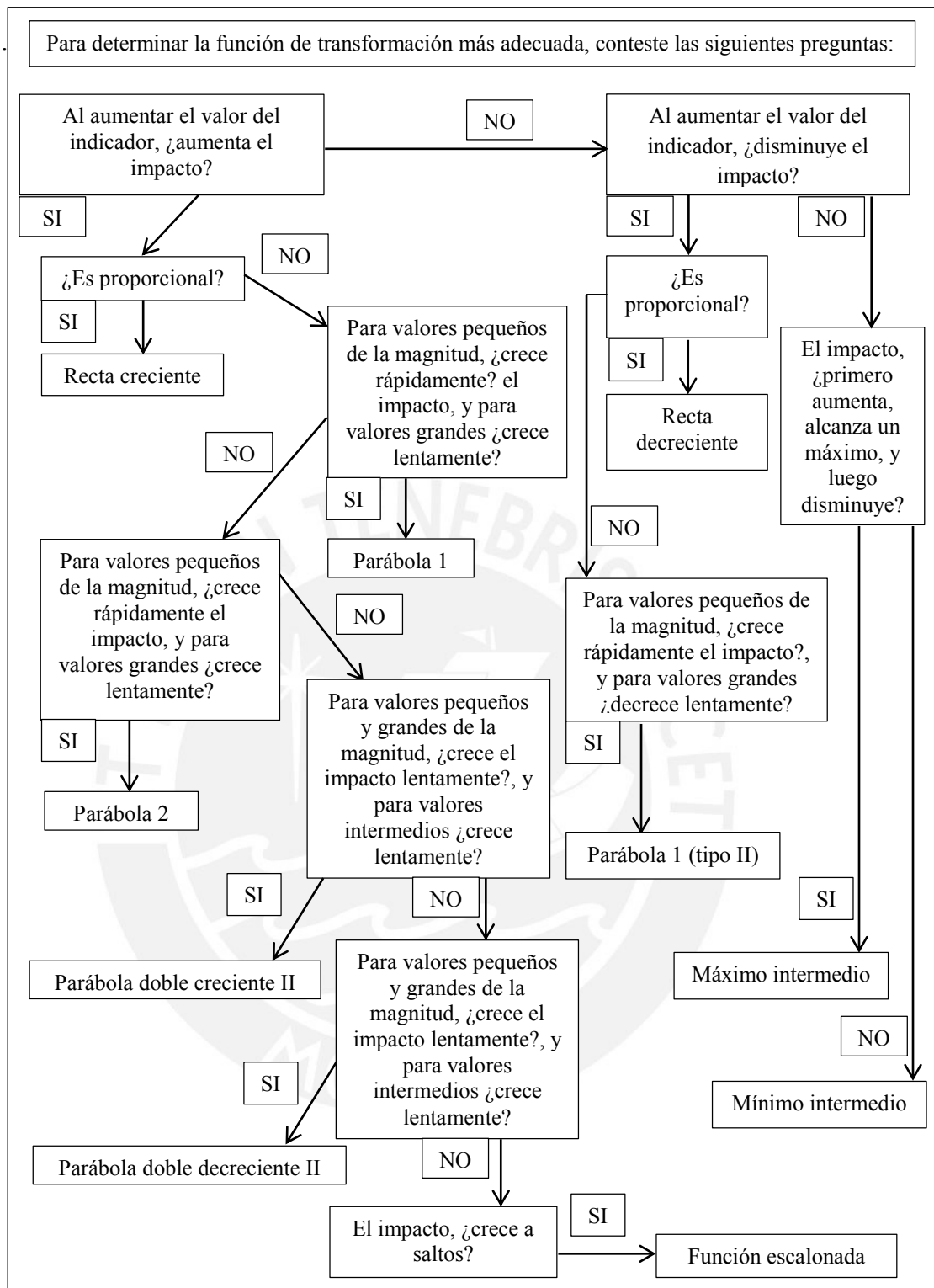


Figura 5. Diagrama simplificado de selección por preguntas de funciones de transformación

(Garmendia et al., 2005)

La función parabólica decreciente, como el mostrado en la Figura 6, representa adecuadamente el caso del ruido, emisiones gaseosas (CO, NO₂, SO₂ y H₂S) y las partículas (PM₁₀) emitidas. Para este caso en particular, a medida que crece el valor

del índice, el impacto disminuye. Asimismo, para valores pequeños de la magnitud, el impacto crece rápidamente; mientras que para valores grandes, crece lentamente.

$$y = \frac{x^2 - 2(Máx)(x) + Máx^2}{(Máx - Mín)^2} \quad (4)$$

Dicha parábola se genera a través de la Ecuación 4 y se define considerando que se alcanza el mínimo en el punto máximo (Máx., 0) para las unidades heterogéneas y un punto mínimo (Mín., 1) para las unidades homogéneas. La variable “x” hace referencia a las magnitudes heterogéneas medidas en el campo. El mínimo y el máximo dependen del estándar de calidad ambiental (ECA) o límite máximo permitido (LMP) de cada zona.

Por otro lado, para los demás valores de calidad (paisaje, suelo, geología y economía), es preferible utilizar un modelo lineal creciente, como el mostrado en la Figura 7 y calculado con la Ecuación 5. Este tipo de modelo se justifica porque ante cualquier incremento de alguno de los vectores, el efecto influirá directamente en la calidad total de la variable considerada. Por ejemplo, las actividades de intervención de cada proyecto tienen influencia directa y positiva sobre la economía, ya que genera empleos.

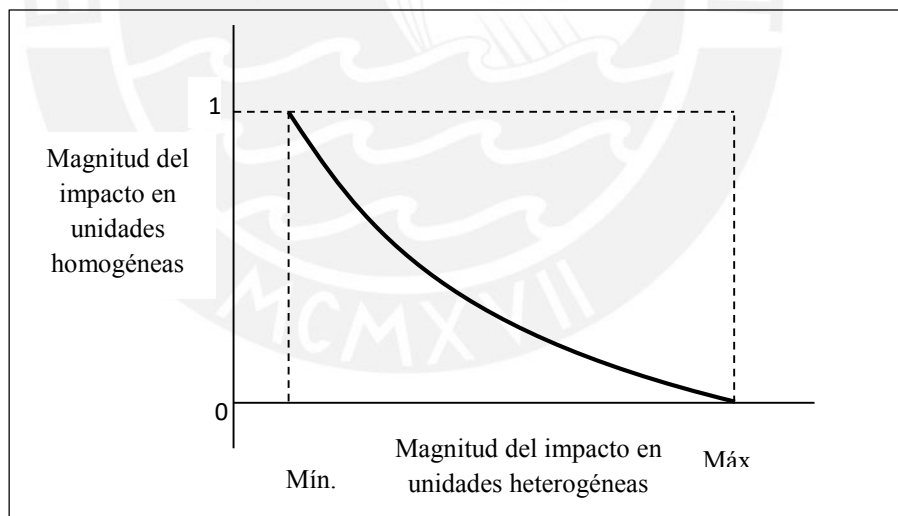


Figura 6. Función de transformación parabólica decreciente, que disminuye rápidamente para valores pequeños y lentamente para grandes

(Garmendia et al., 2005)

$$y = \frac{x - Mín}{Máx - Mín} \quad (5)$$

Finalmente, el uso de las funciones de transformación para la obtención de los índices de calidad ambiental permite comparar el estado del ambiente entre los medios

ambientales y también entre otros proyectos de la misma categoría (Espinoza, 2007). Cada factor requiere de una función específica y si la Figura 5 ayuda a identificar o comprobar dichas funciones.

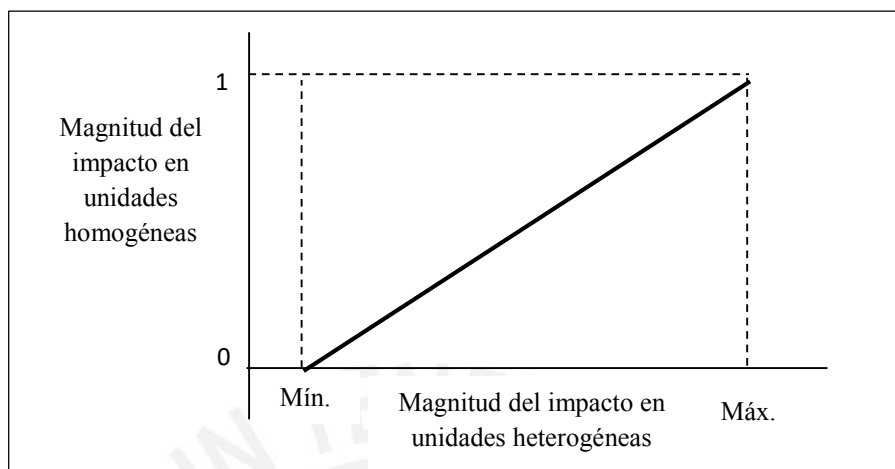


Figura 7. Función de transformación lineal creciente para magnitudes directamente proporcionales
(Garmendia et al., 2005)

2.4.6. Asignación de unidades de importancia (UIP)

El método de ponderación jerárquica es el más usado para asignar valores a los componentes ambientales. Esta técnica de jerarquización necesita de un grupo de expertos que ordene los factores ambientales según importancia y permite adquirir una visión global del estado del ambiente (Cruz et al., 2008). Cada experto asigna al factor más importante un 1, al siguiente un 2 y así sucesivamente hasta asignar n factores. No obstante, se puede realizar el proceso de manera inversa, pero el resultado es el mismo. La Tabla 9 muestra el proceso para la técnica planteada. Para la suma total de las valoraciones, en este caso 55, se utiliza la Ecuación 6, donde m es el número de factores.

La ponderación o peso que recibe cada factor se calcula al dividir la suma de los valores de cada factor entre la suma total. Por ejemplo, la suma de valoración del medio inerte entre el total (calculado con la Ecuación 6) da como resultado 0.29. Dichos pesos se pueden convertir en porcentaje o repartirse en mil unidades de importancia (UIP).

$$Suma\ total = \frac{n(n + 1)m}{2} \quad (6)$$

Es importante recalcar que existen diversos métodos basados en la consulta a expertos, como la comparación de pares no jerarquizados o la técnica de ponderación mediante

puntuación; no obstante, la información que se presenta debe ser lo más completa posible para poder conocer el grado de consenso que existe en la respuesta del grupo de especialistas (Garmendia et al., 2005).

Tabla 9. Jerarquización de factores ambientales por expertos interdisciplinarios

Medios	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	Suma	Peso	%	Repartición
Inerte	5	1	2	3	5	16	0.29	29	290
Biótico	1	2	3	1	3	10	0.18	18	180
Perceptual	2	1	4	4	3	14	0.25	25	250
Socio - Económico	4	2	5	3	1	15	0.27	27	270
Suma	12	6	14	11	12	55	1.00	100	990

2.4.7. Efectividad de la evaluación de impacto ambiental

Determinar la efectividad de la EIA tiene como objetivo asegurar que los impactos producidos por las actividades de un proyecto, en cualquier etapa, sean consideradas en el plan de gestión ambiental. En primer lugar, la efectividad de la EIA depende de las políticas del país donde se realizará el proyecto, ya que esta la certificación de este instrumento permite prohibir, de ser el caso, proyectos que puedan generar impactos negativos (Vallejos, 2016). Esta certificación dependerá de la base legal en la cual se apoya la EIA. En el caso del Perú, dicha base legal es la SEIA, promulgada por Decreto Supremo en el 2009.

En segundo lugar, es importante evaluar la toma de decisiones para cada etapa del proyecto (Conesa, 2010). Con una evaluación preliminar del proyecto se puede establecer la etapa que tiene las actividades con impactos importantes o en mayor cantidad. De esta manera, cada medida de mitigación o compensación dentro de las etapas forma una parte importante de la efectividad de la EIA.

Finalmente, el monitoreo es una etapa necesaria para identificar los errores cometidos durante el proceso de valoración. Si los conocimientos fueran suficientes para realizar una predicción de impactos confiable, no sería necesario la etapa de monitoreo (Duinker, 1989).

2.4.8. Limitaciones de EIA

Como se mencionó anteriormente, la asignación de pesos requiere una serie de supuestos, como considerar que el valor ambiental es consecuencia de eventos independientes o una delimitación inadecuada del área de influencia del proyecto, que

producen la gran incertidumbre de resultados, propios de una metodología cualitativa (Plazas et al., 2009). Además, algunos autores (Garmendia et al., 2005) proponen que la incertidumbre que afecta la EIA puede ser de tres tipos:

- La falta de conocimientos científicos sobre el propósito de los elementos del ecosistema. Así, el pronóstico de la extensión, magnitud y el mecanismo de producción puede ser erróneo.
- Referido a los criterios valorativos que se utilizan en la valoración multicriterio.
- Referido a la importancia que se le otorga a cada uno de los elementos ambientales y la información que se considere relevante.
- Conocimiento de alternativas con viabilidad técnica

Es aquí donde se presenta una de las principales limitaciones de la EIA: algunos impactos no tienen una correcta valoración y pueden no ser considerados en el plan de gestión ambiental al ser calificados de menor importancia. Algunos podrían caer en errores más graves, como ser obtener que un impacto es positivo cuando en realidad es negativo a largo plazo o la situación de falsos positivos y negativos (Antcliffe, 1999).

Asimismo, cuando se realiza una valoración ambiental del emplazamiento, existe otra incertidumbre que debe ser integrada en el proceso ambiental: la información obtenida de un EsIA puede no estar completa o tener errores. Problemas como limitación en el flujo de la información, la cantidad de factores ambientales por analizar y la falta de experiencia por parte de los evaluadores produce que intentar obtener toda la información necesaria llevaría más tiempo y demoraría la toma de decisiones del proyecto (Martínez, 2013; Garmendia et al., 2005). De esta manera, es necesario establecer las conclusiones más relevantes con la información disponible en un panorama de escasa información.

Finalmente, los programas de vigilancia ambiental, establecidos en el plan de gestión ambiental, carecen de un adecuado seguimiento y control, debido a que no se especifica el nivel de detalle que deben tener las medidas y existe una tendencia de reducción de medidas compensatorias (Carrasco et al., 2013). Asimismo, el conocimiento legal de las regiones así como la participación ciudadana para controlar que las empresas realicen un adecuado seguimiento no es suficiente.

2.5. Etapas de evaluación de impacto ambiental

A pesar de que cada país define cómo se debe hacer la EIA, existen etapas obligatorias que deben seguirse para lograr una correcta gestión ambiental. Por lo tanto, se definen las siguientes tres etapas importantes: etapa inicial, etapa de análisis detallado y etapa de post aprobación (Vallejos, 2016).

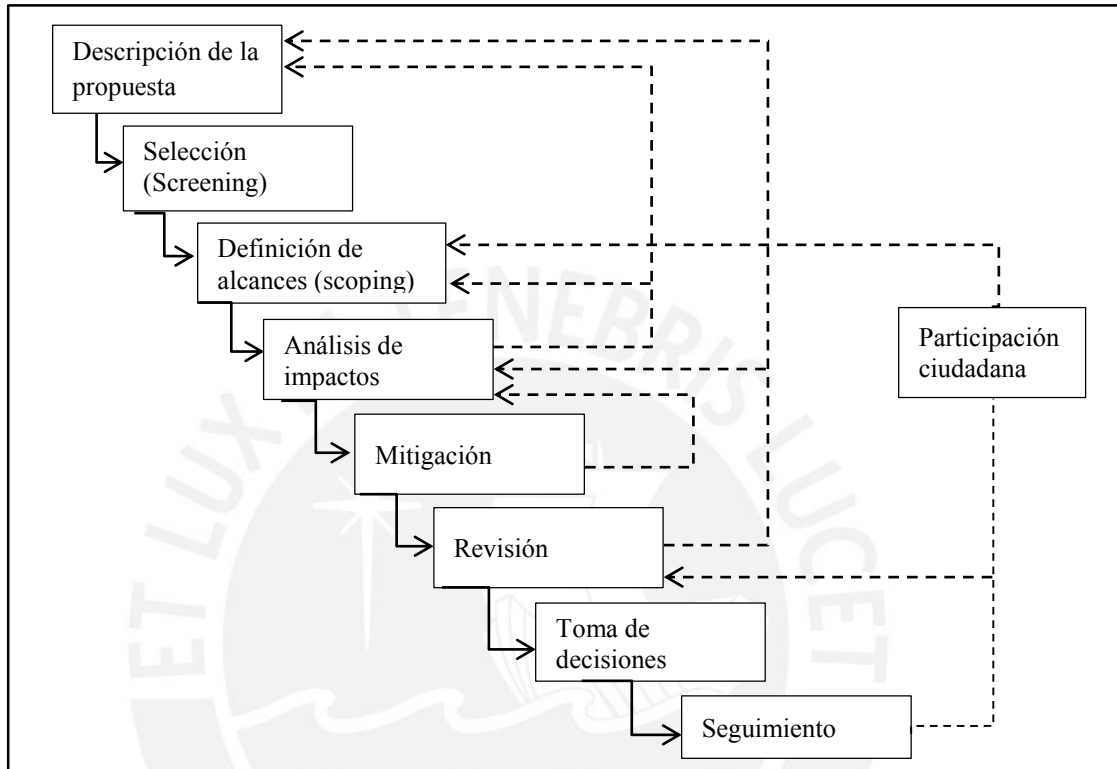


Figura 8. Proceso de evaluación de impacto ambiental (líneas continuas) y proceso iterativo (líneas discontinuas)

(Espinoza, 2007)

En la Figura 8 se presenta el proceso iterativo con las medidas de retro alimentación. Las líneas discontinuas indican que esas medidas cumplen un rol importante en las etapas de la EIA, desde un replanteamiento de la descripción de la propuesta, gracias a la información obtenida del análisis de los impactos; hasta una nueva definición del alcance de la evaluación. Además, se puede notar que la participación ciudadana cumple un factor clave en el proceso de retroalimentación, ya que mejora la definición del alcance de la EIA.

2.5.1. Etapa inicial

Se realiza una evaluación preliminar que parte del análisis de la situación previa del entorno o área de influencia; así, se define el alcance de la EIA que se debe realizar. El contenido mínimo, estipulado por la norma, incluye un alcance general por etapas

del proyecto, los residuos que este generará, un plan preliminar de participación ciudadana y una breve descripción de los posibles impactos. De esta manera, se requiere la siguiente información: el estudio del proyecto y su entorno; la identificación de las acciones y factores ambientales; y la elaboración de listas de verificación.

Luego de identificar los factores ambientales, se procede a realizar un inventario ambiental para describir los elementos ambientales (Vallejos, 2016). Para la identificación de los impactos, se utiliza normalmente métodos matriciales, como la matriz de interacción, ya que son más fáciles de aplicar y comprender (León & Lopera, 1999). Así, se obtiene un inventario de los componentes ambientales principales que podrían verse afectados de manera positiva o negativa, durante y después de realizar el proyecto.

Finalmente, se obtiene un modelo simplificado del ambiente con las decisiones tomadas por el panel de expertos. Sin embargo, pueden generarse los siguientes tres tipos de errores estructurales: errores de procesamiento, donde se escogen ciertos procesos que son importantes y se ignoran otros; errores de función, el modelo no es suficiente para describir el proceso de causa y efecto; y el modelo puede ser no válido para el problema o proyecto a evaluar (De Jongh, 1990). Para identificar esa situación, es necesario el proceso de retroalimentación luego de la etapa de monitoreo.

2.5.2. Etapa de análisis detallado

Dentro de esta etapa, se realiza una evaluación simplificada de los impactos de forma sencilla, utilizando criterios de valoración. Si se considera que una actividad puede causar grandes impactos, se realiza una evaluación detallada (Conesa, 2010). De esta manera, para ambas evaluaciones, se utiliza el EsIA de cada proyecto, el cual permite realizar uno de los principales objetivos de la EIA: clasificar los impactos y evaluar cuáles se van a mitigar o compensar en un plan de gestión ambiental. (Toro et al., 2013a).

Las medidas de mitigación o compensación se establecen cuando el impacto ambiental supera el límite admisible y se clasifican de la siguiente manera (Cruz et al., 2008):

- Tipo y gravedad del impacto: las cuales pueden ser obligatorias, si son impactos inadmisibles; o convenientes, si son admisibles.

- **Carácter:** las cuales pueden ser protectoras, correctoras, curativas, potenciativas o compensatorias.
- **Signo del impacto:** se pueden prevenir impactos o mejorar los efectos positivos.
- **Número de factores a que se dirigen:** se debe identificar las actividades que afectan una gran cantidad de factores.

2.5.3. Etapa de post-aprobación

En esta etapa, se presentan los resultados finales del proyecto a través de informes y se revisa la calidad de los mismos a través de la normativa. La finalidad de esta etapa es exponer toda la información necesaria para una buena toma de decisiones y el desarrollo de un plan de seguimiento y monitoreo para evaluar la eficiencia de las medidas a través del denominado Plan de Participación Ciudadana. Dicha evaluación permite mejorar los planes de proyectos ya existentes o que están en fase de desarrollo.

Asimismo, el plan de participación permite el intercambio de información, consulta y diálogo entre todos los involucrados (Espinoza, 2007). Un buen monitoreo ambiental da la capacidad de detectar posibles situaciones de incertidumbre (Tennøy et al., 2006). De esta manera, el debido control de esta etapa permite mejorar el proceso y las políticas ambientales de cada país y contribuyen al desarrollo de la EIA a nivel internacional.

2.6. Retos de valoración

La cantidad de información obtenida durante el EsIA genera una situación con variables que no aportan información debido a que están correlacionadas. Los datos cualitativos, al ser tomados de un grupo de expertos, son aproximaciones que buscan ser objetivas, claras y precisas. No obstante, cada integrante del grupo de expertos posee una visión filtrada de la realidad y la información necesita ser organizada y sometida a un análisis e interpretación (Monje, 2011).

Ante esta problemática, algunos autores (Plazas et al., 2009) han aplicado el análisis de componentes principales (ACP), el cual consiste en transformar los datos multivariados obtenidos de un caso a índices estandarizados para poder describirlo con la menor cantidad posible. De esta manera, se crean nuevas variables que no están correlacionadas y son más fáciles de interpretar, conocidas como componentes principales (Lacourly, 2011). Esta técnica permite que los resultados de los métodos

cualitativos tengan una mayor confiabilidad y aproximación, es decir menos incertidumbre, a los obtenidos por métodos cuantitativos.

Asimismo, se ha tratado de implementar técnicas estadísticas, como la lógica difusa o análisis matricial, en las metodologías antes mencionadas. Sin embargo, hace falta implementar dichas técnicas a EsIA de gran envergadura, es decir, con una mayor cantidad de información con el objetivo de utilizar una metodología cualitativa, lo cual reduce los costos y el tiempo.

Por otro lado, es necesario revisar la información obtenida luego del uso de herramientas estadísticas, como el análisis factorial, para ver si hay algún tipo de error en la valoración. De esta manera, se puede identificar los errores de tipo I o tipo II y se corrobora los análisis planteados por Antcliffe (1999). Además, permite identificar las fuentes de incertidumbre y en qué etapa de la EIA se pudieron generar.

Finalmente, los métodos de análisis multicriterio permiten tomar una decisión en base de distintas variables. Sin embargo, hay una alta posibilidad de que los expertos que toman dicha decisión no consideren ciertos criterios para así lograr que el proyecto se apruebe (Viloria & Awad, 2015).

CAPITULO III: METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Ámbito de proyectos

El ámbito de los proyectos de nueva construcción están dentro de sector vivienda y construcción, según lo estipulado por la ley SEIA (Ley N° 277446, 2009). Además, al ser estar en zonas ambientales susceptibles a impactos significativos deberán ser analizados por los diferentes criterios que estipula la ley mencionada.

Asimismo, los decretos supremos establecidos por el Ministerio de Ambiente aprueban y regulan los estándares nacionales de calidad ambiental. De esta manera, las autoridades podrán determinar, ratificar, modificar, revisar y aprobar la categoría del proyecto.

3.2. Proceso de retroalimentación propuesto

El procedimiento planteado para el trabajo parte de la valoración y matriz cualitativa inicial, realizada por un grupo de expertos, para los ocho proyectos escogidos. La Figura 9 representa el esquema de retroalimentación que se utilizó para evaluar la información obtenida de los análisis estadísticos y comparación de los resultados. Todo el proceso se realizó con ayuda del paquete estadístico SPSS.

En primer lugar, se diseñarán dos bases de datos: una con los criterios de valoración multicriterio y la otra con los pesos de los componentes ambientales. Paso seguido, se evaluarán estadísticamente la base de datos de las valoraciones. A través de pruebas estadísticas, se determinará si la base de datos es adecuada sólo para el caso de los criterios de valoración. De no ser el caso, se tiene que replantear la valoración inicial con mayor información, es decir, más proyectos.

Una vez diseñadas y evaluadas las bases de datos, se realizó el análisis factorial por componentes principales (ACP) para ambas bases. Se espera que en ambos casos se generen dos componentes con suficiente información. No obstante, si hay tres componentes aún se puede realizar el proceso. Se evaluarán los resultados, a través de la curva de saturación y se determinarán la matriz de transformación.

Por otro lado, se realizará el análisis discriminante jerárquico y de clúster para ver el comportamiento de la valoración multicriterio. Este paso tiene como objetivo identificar los grupos en los que se dividen los atributos y determinar el nivel de

correlación. No se realizará este análisis para los pesos ambientales, ya que no tienen relación alguna entre sí.

Finalmente, se desarrolla la nueva matriz de valoración y se compara con su contraparte real, es decir la matriz inicial. De esta manera se puede identificar la diferencia de los resultados comparando los valores extremos de las matrices y realizar las pruebas de hipótesis correspondientes.

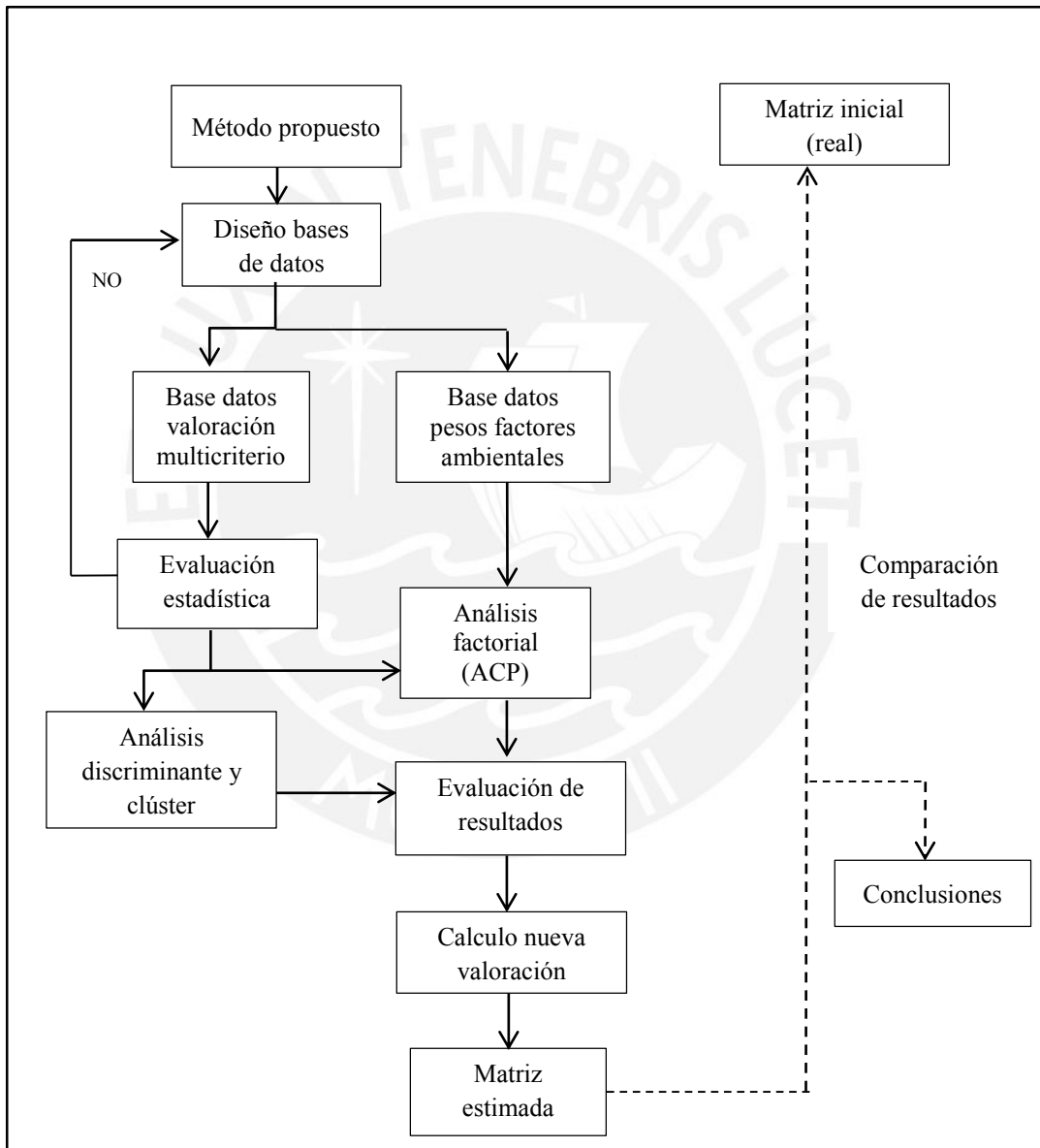


Figura 9. Esquema del método propuesto (líneas continuas) y la comparación con los datos iniciales (líneas discontinuas)

3.3. Descripción de casos

La Tabla 10 muestra información relevante (breve descripción y ubicación) de los ocho proyectos de estudio. Dichos proyectos poseen una valoración multicriterio, realizada por un panel de expertos, para cada impacto.

Tabla 10. Breve descripción de proyectos seleccionados para el estudio

Proyecto	Breve descripción	Ubicación
Construcción de nueva infraestructura, equipamiento y mejoramiento de una facultad (Proyecto 1).	Se plantean tres edificaciones de cuatro pisos, las cuales alojaran salones de estudio, aulas, cafeterías, auditorios, bibliotecas y servicios complementarios.	Distrito de Callao, Departamento constitucional del Callao.
Construcción de un boulevard para la recuperación de espacios públicos (Proyecto 2).	Se realizará la compactación y cimentación del talud para convertirlo en un espacio público y ambientalmente sostenible.	Franja litoral del distrito de San Miguel, Departamento de Lima
Construcción e implementación y de taller de maquinaria de alquiler y venta en Punta Negra (Proyecto 3).	Se plantean dos complejos de edificaciones de tres componentes: sector de áreas comunes y dos sectores de talleres y almacenes. Asimismo, contará con una playa de estacionamiento.	Distrito de Punta Negra, Departamento de Lima.
Construcción e implementación de edificios de uso mixto oficinas, comercio y hoteles (Proyecto 4).	Se plantean cuatro torres de dieciséis pisos de altura. Tres torres son de uso de oficinas y la otra, un hotel.	Distrito de Surco, Departamento de Lima.
Construcción e implementación de edificios de uso mixto oficinas, comercio, hoteles y vivienda (Proyecto 5).	Se plantean cuatro torres de dieciséis pisos de altura. Dos torres para oficinas-comercio, una para hotel y la última para vivienda.	Distrito de Surco, Departamento de Lima.
Construcción de almacenes de maquinaria pesada (Proyecto 6).	Se contempla la construcción de dos zonas de exhibición y administrativa, almacén de repuestos y taller de máquinas.	Distrito de Subtanjaylla, Departamento de Ica.
Construcción y acondicionamiento turístico de una laguna (Proyecto 7).	Se pueden diferenciar dos áreas: la primera sobre un relleno y la segunda sobre pilotes (malecón en agua). Contempla la construcción de dos embarcaderos de 736 m ² y 200 m ² respectivamente.	Distrito de Yarinococha, Departamento de Ucayali

Construcción y puesta en valor de espacio público en Sillustani (Proyecto 8).

Se realizará una restauración de monumentos del complejo arqueológico y se construirá un nuevo circuito turístico que considera tres componentes de implementación.

Distrito de Puno,
Departamento de Puno

La Figura 10 muestra las características de los proyectos seleccionados. Los criterios de comparación (uso, área de influencia, cantidad de impactos) establecen la escala de cada proyecto y al total. Es importante recalcar que se buscaron proyectos heterogéneos, es decir, con características distintas para tener un método que se pueda aplicar a cualquier proyecto.

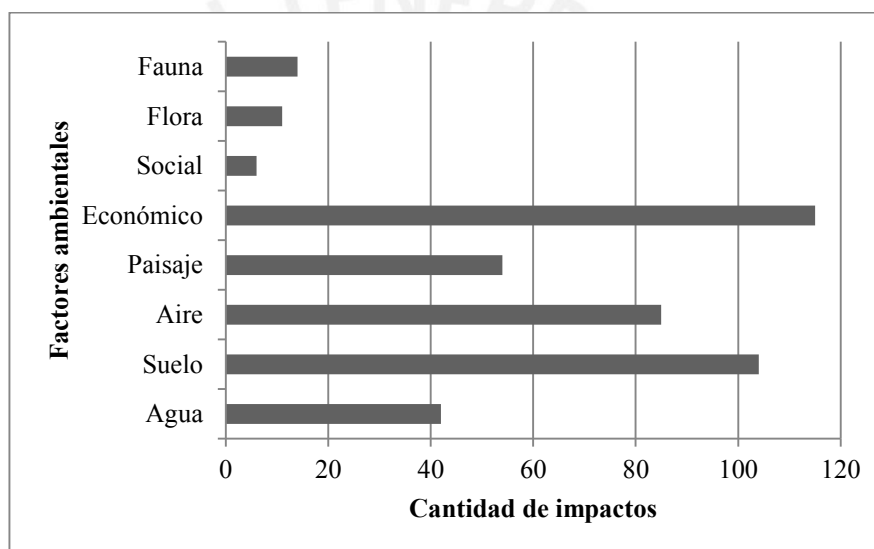


Figura 10. Distribución de impactos ambientales por factor ambiental de los proyectos seleccionados para el estudio

El total de proyectos tienen 431 impactos los cuales tienen una distribución por factor ambiental tal como lo muestra la Figura 10. Se observa que la cantidad de impactos para el factor Economía es igual al factor Suelo. Por otro lado, los factores Social, Flora y Fauna tienen la menor cantidad de impactos. Es importante notar que el factor Aire tiene una gran cantidad de impactos, ya que las actividades de nueva construcción producen emisiones de ruido y gases nocivos.

Por otro lado, en la Tabla 11 se observa que el área total de influencia (AI) directa es de 133.78 hectáreas e indirecta de 263.94 hectáreas, en las cuales se distribuyen los 431 impactos. Los últimos dos proyectos, al tener mayor superficie de afectación,

tienen una mayor influencia en el factor económico que los demás proyectos. Además de poseer más del 45% del total de impactos.

Sin embargo, se identificaron los aspectos ambientales comunes entre ellos. En algunos casos se combinaron aspectos ambientales en uno solo, como instalaciones eléctricas junto a las sanitarias y de servicios. En la Tabla 12 se observa que para la fase de construcción los aspectos ambientales se reducen a dos grupos: componente A, actividades referidas a las obras provisionales y componente B, actividades referidas a la propia construcción hasta el cierre de obra. Cada uno de los aspectos ambientales tienen determinados sobre los factores ambientales en común de los proyectos (agua, suelo, aire, paisaje, económico, social, flora y fauna), los cuales ya fueron identificados y valorizados. Asimismo, las valorizaciones de cada impacto fueron estandarizadas entre 0 y 1.

Tabla 11. Resumen por criterios de los proyectos seleccionados para el estudio

Proyecto	Uso	Criterios			Factor más afectado
		AI Directa (m ²)	AI Indirecta (m ²)	Cantidad de impactos	
1	Privado	7 853	153.93	40	Suelo/Económico
2	Público	57 000	No calculado	56	Suelo/Económico
3	Privado	163 167	601 150	45	Suelo/Económico
4	Privado	53 885	107 771	24	Suelo
5	Privado	53 885	107 771	43	Económico
6	Privado	4 401	8 803	23	Económico
7	Público	290 740	400 050	117	Económico
8	Público	706 850	1 413 710	83	Económico
Total		1 337 781	2 639 408	431	

Tabla 12. Actividades en común de los proyectos seleccionados por componente (A y B)

Fase de construcción	Aspecto ambiental
Componente A	Trazado áreas de edificaciones (A1)
	Instalación de campamento y guardianía (A2)
	Instalación cerco perimetral (A3)
Componente B	Limpieza del terreno (B1)
	Movilización de equipos y maquinarias (B2)
	Movimiento de tierras (B3)
	Nivelación (B4)
	Encofrado (B5)
	Levantamiento de muros (B6)
	Vaciado (B7)
	Instalaciones eléctricas, sanitarias y de servicios (B8)
	Acabados (B9)

Asimismo, con el uso de la Ecuación 6 y la distribución de la Tabla 9, se calculó el peso de cada medio por proyecto. Para algunos proyectos se optó por utilizar los pesos ambientales propuestos por Conesa (2010). De esta manera, la Tabla 13 muestra la influencia de cada medio en la valoración total de los impactos. Cabe resaltar que los valores ya están estandarizados entre 0 y 1.

Tabla 13. Peso de cada medio ambiental por proyecto seleccionado

Proyecto	Medio físico	Medio biótico	Medio perceptual	Medio socio económico
1	0.54	0.18	0.06	0.22
2	0.54	0.18	0.06	0.22
3	0.54	0.18	0.06	0.22
4	0.29	0.18	0.25	0.27
5	0.29	0.18	0.25	0.27
6	0.28	0.18	0.28	0.26
7	0.43	0.29	0.05	0.24
8	0.54	0.18	0.06	0.22

3.4. Diseño de base de datos

Los impactos de los proyectos escogidos ya tienen una valoración multicriterio a través de criterios de valoración mencionados en la Tabla 5 y un grupo de cinco expertos interdisciplinarios. Dichas valoraciones se ordenan en una tabla de doble entrada,

como la mostrada en la Tabla 14. Los impactos están ordenados de acuerdo a la numeración de los proyectos y los criterios fueron estandarizados entre 0 y 1. No se colocó el valor total de cada impacto para el análisis, ya que presenta información redundante.

Tabla 14. Base de datos para valoración de impactos

Proyecto	N° Impacto	Criterios de Valoración				
		Perturbación	Importancia	Ocurrencia	Extensión	Duración
1	1 al 40					
2	41 al 96					
3	97 al 141					
4	142 al 165					
5	166 al 208					
6	209 al 231					
7	232 al 348					
8	349 al 431					

Por otro lado, se estableció otra tabla de doble entrada, como la mostrada en la Tabla 13. De esta manera, cada proyecto tiene un peso para cada medio o factor ambiental que será necesario para los análisis estadísticos.

3.5. Análisis multivariante

Los métodos estadísticos que se van a emplear, así como la evaluación estadística, serán explicados en los siguientes sub capítulos.

3.5.1. Análisis de componentes principales

El método de análisis de componentes principales (ACP) transforma los datos multivariados, como los criterios de valoración cualitativos, a componentes reducidos con el objetivo de facilitar su interpretación en nuevas variables (Lacourly, 2011). Estas variables representan una gran cantidad de información en un solo número o índice, sin eliminar información. De esta manera, se crean los componentes principales que no están correlacionados entre sí. Asimismo, identifica posibles variables no observadas que están generando la variabilidad de los datos al aportar o no información para el estudio.

Para el ACP, se utilizó el paquete estadístico SPSS y la información de la Tabla 13 y Tabla 14. Sin embargo, antes de realizar el ACP, se realizaron los pasos mostrados en la Figura 11. Para el caso de las variables cualitativas (criterios ambientales) se realizó

el análisis para dos componentes principales. De esta manera, un primer componente quedó definido por un tipo de variables, por ejemplo las pertenecientes a tiempo, como el criterio de Duración; mientras que el segundo componente, quedó definido por las variables de magnitud. Por otro lado, los componentes ambientales fueron reducidos a tres componentes ambientales. Se espera que el primer componente sea referido al medio físico, como lo son el aire y el suelo; el segundo componente, al medio biótico-perceptual; y el tercer componente, al medio social-económico.

Luego de realizar los dos primeros pasos, se calculan los coeficientes de correlación múltiple, es decir, el grado de asociación lineal entre las variables. De esa manera, se calcula la matriz de correlaciones con el SPSS. En primer lugar, será necesario crear una matriz cuadrada de los criterios ambientales (6x6), tal como se representa en la Ecuación 7, donde 1 es el criterio de Perturbación, mientras que k, de Reversibilidad.

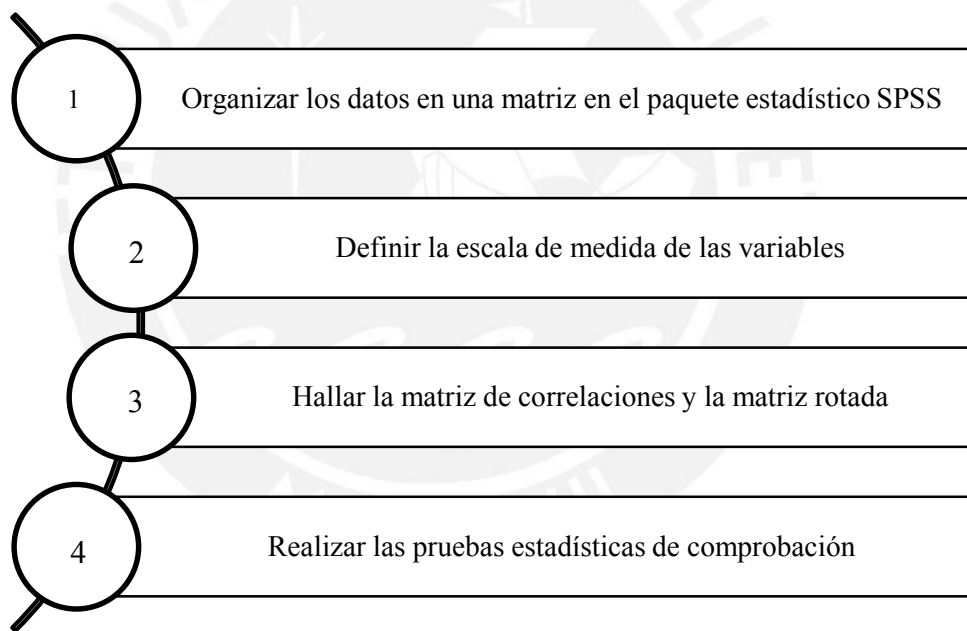


Figura 11. Pasos a seguir antes del análisis por componentes principales

$$Xi = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{k1} & \cdots & x_{kk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Asimismo, se debe calcular las varianzas y covarianzas de cada uno de los criterios considerando los 431 impactos modelado, mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$v_{kj} = \begin{cases} Var(x^k) & si\ k = j \\ Cov(x^k, x^j) & si\ k \neq j \end{cases}$$

El siguiente paso es estandarizar las variables. Con la Ecuación 8 se obtiene la matriz de correlaciones $R = (r_{kj})$, reemplazando los valores X_{ij} , que se utilizó para el análisis factorial. La matriz resultante es simétrica y siempre positiva.

$$r_{kj} = \begin{cases} 1 & \text{si } k = j \\ \frac{\text{Cov}(x^k, x^j)}{\sqrt{\text{Var}(x^k)} \sqrt{\text{Var}(x^j)}} & \text{si } k \neq j \end{cases} \quad (8)$$

El siguiente paso es comprobar si las características estadísticas de las bases de datos son las adecuadas para seguir con el procedimiento mediante el uso de las siguientes pruebas estadísticas:

- **Prueba de esfericidad de Barlett:** se obtiene mediante la transformación del determinante de la matriz de correlación y evalúa la aplicabilidad del análisis factorial. Si se obtiene que la matriz de correlación de las variables observadas (criterios ambientales o factores ambientales) es la identidad, se confirma la hipótesis nula, es decir, las variables no están correlacionadas y no se puede aplicar el análisis. Se espera que el nivel crítico (Sig.) sea menor al 5% para rechazar la hipótesis nula y continuar al análisis.
- **Medida de Adecuación de la Muestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO):** o índice KMO se utiliza para comparar las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial, mientras más pequeño sea el valor, menor es la relación entre los coeficientes y, por lo tanto, menos apropiado es realizar un análisis factorial. Se propone que los valores del KMO que se pueden aceptar son los siguientes:
 - $KMO \geq 0.75$: Bien, se puede seguir con el análisis.
 - $KMO > 0.5$: Valor aceptable del análisis.
 - $KMO < 0.5$: Inaceptable, no se puede continuar con el análisis, debe cambiarse la base de datos inicial y agregar más variables correlacionadas.

Una vez realizadas las pruebas estadísticas, se puede continuar con el análisis factorial por componentes principales. Según el método, el primer componente corresponde a un porcentaje grande de la variabilidad. El segundo, corresponde a la variabilidad restante. Se debe obtener un gráfico de sedimentación. De esta manera, los criterios ambientales no dan información redundante, sin perder su varianza.

Todo el proceso mencionado deberá ser repetido para analizar los componentes ambientales de los proyectos. Sin embargo, no se realizarán las pruebas estadísticas, debido a que provienen de la misma base de datos. Cada nueva variable queda denotada bajo la denominación “D_x” o “C_x” para el caso de los criterios y componentes ambientales correspondientes.

En el siguiente paso se analizaron las comunalidades de cada variable. La suma de la matriz factorial representa el grado de explicación de una variable, mientras más cercana a 1 (valor que se asume inicialmente), mejor es el aporte de la variable al análisis.

Por otro lado, se realizó el gráfico de sedimentación, el cual indica el porcentaje de la varianza total asociada a cada componente principal hallado. Para poder seguir con el análisis, el porcentaje acumulado debe ser significativo para los componentes que se quieren establecer. Normalmente, se espera una pendiente pronunciada en los factores más importantes y un descenso en los restantes componentes, es decir, un punto del cual los valores propios son aproximadamente iguales (Quezada, 2017). Caso contrario, se debe replantear el análisis considerando más componentes principales.

Paso seguido, se obtiene la matriz de componentes y se observa la variable en un espacio rotado, por rotación de Varimax, que aporta más en un componente principal. En el gráfico de dispersión se muestra la ubicación de las variables como puntos en un plano respecto a los dos componentes principales y, al medir el ángulo que se forman entre las variables, se determina cuáles están correlacionadas y cuáles no. A continuación, en la Figura 12 se explica cómo se deben analizar las variables en el gráfico de dispersión.

Finalmente, con las variables obtenidas del análisis de componentes principales, se calcula la matriz de transformación de los componentes, como la indicada en la Tabla 15. A partir de dicha matriz, se establece la función de transformación, como la indicada en la Ecuación 9. La variable “ α_{xy} ” corresponde a la transformación del componente. Mientras que la variable “D_x” corresponde a los componentes principales creados para cada impacto. El carácter del impacto (positivo o negativo) se asigna al final.

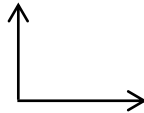
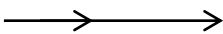
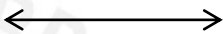
Sea el ángulo entre dos variables	
$\text{Cos}(\theta) = r_{ij}$	El coseno del ángulo entre dos variables es el coeficiente de correlación.
$r = 0, \theta = 90^\circ$	 No existe relación entre X_1 y X_2
$r = 1, \theta = 0^\circ$	 Existe relación directa entre X_1 y X_2
$r = -1, \theta = 180^\circ$	 Existe relación indirecta entre X_1 y X_2

Figura 12. Criterios para identificar la correlación entre dos variables

Para el caso de los componentes ambientales, se identificará a qué componente principal corresponde cada medio analizado a partir de la matriz de componentes rotados. De esta manera se define la variable F_i para cada factor ambiental. Por ejemplo, si el medio físico (aire, agua y suelo) queda definido en el primer componente, se asigna el valor de F_i al resultado de las nuevas variable por cada proyecto. Para este caso no será necesario establecer una ecuación de transformación, debido a que cada medio es independiente.

Tabla 15. Matriz de transformación de para dos componentes

Componente	1	2
1	α_{11}	α_{12}
2	α_{21}	α_{22}

$$A_N = \frac{\alpha_{11}D_1 + \alpha_{12}D_2}{\alpha_{11} + \alpha_{12}} \quad (9)$$

3.5.2. Análisis clúster jerárquico

El análisis tiene como objetivo clasificar elementos en grupos (clúster) según la menor distancia entre ellos (similitud). El procedimiento que se realizó para el estudio es el clúster jerárquico, el cual consiste en identificar los grupos relativamente homogéneos de variables de forma jerárquica y sólo se empleó para los criterios ambientales. La matriz de distancia de elementos es el cálculo inicial para empezar a buscar los dos

elementos más cercanos y se apilan en un conglomerado (Quezada, 2017). Paso seguido, los elementos se van congregando en conglomerados cada vez más grandes y más heterogéneos.

Los datos son etiquetados a partir de una variable que sirve como corte superior y se obtienen los coeficientes que representan la distancia entre los elementos y la variable superior determinada. Para el caso de los criterios cualitativos, la variable superior será la suma total de sus valoraciones incluyendo el carácter del impacto (negativo o positivo) mediante el uso de la Ecuación 2. Los resultados son organizados y divididos en válidos y perdidos.

Por otro lado, los resultados deben ser ordenados mediante un dendrograma. En dicho gráfico, se dividen los casos en dos, tres o más grupos dependiendo de las necesidades. Se debe trazar una línea vertical en el gráfico donde se produce una intersección que represente información relevante. Por ejemplo, se espera que, para un corte significativo, los criterios de importancia (I), ocurrencia (O), extensión (E) y duración (D) estén relacionados en un grupo, debido a que son criterios de lugar y tiempo; mientras que los criterios de perturbación (P) y reversibilidad ®, en otro grupo, debido a que son criterios de magnitud. De esta manera, los grupos estarían divididos como propone el ACP.

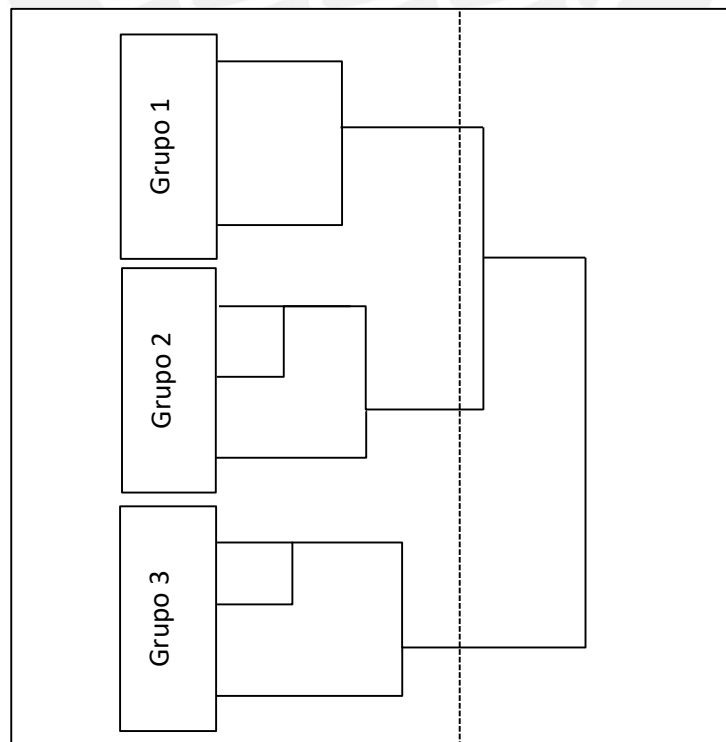


Figura 13. Ejemplo de Dendrograma para tres grupos identificados (línea discontinua)

Por último, se cuentan las intersecciones que se forman para saber la cantidad de grupos obtenidos. La Figura 13 muestra un ejemplo de los grupos que se pueden identificar en un dendrograma y las relaciones que se pueden establecer. Para este caso, el corte (línea punteada) identifica tres grupos.

3.5.3. Análisis discriminante

En los modelos estadísticos, siempre ha existido el problema de clasificar los elementos, que pueden venir de dos o más conjuntos distintos, con escasa información (Quezada, 2017). Esta situación se presenta en los análisis cualitativos, que presentan una valoración subjetiva asociada a falta de experiencia de los evaluadores (Martínez, 2013). Por otro lado, la información puede llegar a ser muy costosa de obtener o una línea base errónea. El objetivo del análisis discriminante es establecer un rango de calificación para los estudios de impacto ambiental de acuerdo con los grupos, conocidos como clústers, a partir de la división de n individuos (Torrado-Fonseca & Berlanga, 2013). Asimismo, se corroboran los resultados del análisis de clúster jerárquico (Plaza et al., 2009).

Normalmente, en el análisis discriminante clásico se utiliza la función o recta de Fisher, tal como se muestra en la Ecuación 10 bajo la condición de que todas las variables son continuas o se puedan transformar para que lo sean. Dicha función se representa como una recta y determina las zonas para diferenciar los grupos. De esta manera, se identifican las variables empleadas para diferenciar los grupos y encontrar cuáles son las más importantes.

$$f_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |V|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_i)' V^{-1} (x - \mu_i) \right\} \quad (10)$$

Antes de realizar las pruebas estadísticas, se establece el máximo y mínimo de los valores en los que se van a dividir las valoraciones de los impactos. Para este caso, como se dividirán los grupos por proyectos, el mínimo corresponde al proyecto 1 y el máximo al proyecto 8. Paso seguido, se realiza lo siguiente:

- **Autovalor:** con esta prueba se compara la distribución de la dispersión de los grupos internos cuando existe más de una función. El valor mínimo es de cero y permite identificar si los grupos son parecidos (Autovalor igual o cercano a 0) o los grupos son diferentes (Autovalor grande), no tiene un valor máximo.

Para este caso, los criterios ambientales funcionan como variables que distinguen a los grupos.

- **Correlación canónica:** el objetivo es hallar la correlación que existe entre dos grupos. Las variables discriminantes pueden diferenciar entre los grupos si la correlación es alta (60%).
- **Lambda de Wilks:** se expresa la proporción de variabilidad total no debida a las diferencias entre los grupos. Los valores de lambda más cercanos a 1 indican un gran parecido entre los grupos. En contraste, los valores cercanos a 0 indican una gran diferencia entre ellos. Este valor se transforma a Chi-cuadrado para comparar con el nivel crítico (Sig.).
- **Mapa territorial:** Las funciones canónicas halladas por el análisis permiten establecer la diferencia o límite que hay entre cada grupo. No obstante, se identifican las áreas o zonas donde no se puede explicar la diferencia entre los grupos.

Finalmente, se puede describir algebraicamente las relaciones entre los grupos de una forma más evidente a través de funciones en centroides de grupo. De esta manera, se puede determinar si es posible realizar un análisis discriminante.

3.6. Desarrollo de nueva matriz de evaluación

Una vez reducidos los criterios ambientales y los componentes ambientales a dos y tres componentes respectivamente, se halla la nueva valoración de los impactos para cada factor. Con la Ecuación 11 se calcula el nuevo valor (V_{ij}) al establecer una función entre los factores (F_i) y los aspectos ambientales (A_j) que estarán bajo un arreglo matricial y fueron calculados con el componente ambiental y la Ecuación 9 respectivamente. De esta manera se crea la Tabla 16, la cual representa una matriz de 8x12. El valor absoluto (VA) servirá para comparar los resultados estimados con los iniciales para cada proyecto. Por ejemplo, la actividad A1 (trazado áreas de edificaciones) tiene un impacto sobre el suelo para el proyecto 1, se calcula el valor de F_i para ese factor ambiental (0.72) y multiplicando por el nuevo valor del impacto ($A_j = -0.46$) da como resultado -0.17.

Paso seguido se identifica, mediante un gráfico de barras, el impacto final que se tiene en cada factor y actividad del proyecto. Dicho gráfico permite identificar los factores

que tienen más impacto y las actividades que más causan impactos. Este procedimiento se repetirá para cada proyecto y se calculará una matriz promedio.

$$V_{ij} = f[F_i x A_j] \quad (11)$$

Tabla 16. Arreglo matricial por factores ambientales y actividades durante la fase de construcción

Factores Ambientales	Fase de construcción												V. A.
	Componente A			Componente B									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
Agua	V ₁₁												
Aire													
Suelo	-0.17												
Paisaje													
Social													
Económico													
Flora													
Fauna												V ₈₁₂	
V. A.													VF

Finalmente, se compara el valor final (VF) de cada matriz estimada con su respectiva matriz real y se organiza en una tabla. La diferencia de medias, que se explica en el siguiente sub capítulo, que se calculará entre los valores promedio finales determinará el nivel de aproximación conseguido por el método propuesto.

3.7. Prueba de diferencia de medias

La prueba de diferencia de medias sirve para determinar si el método seleccionado influye en el resultado final. Se diseña una tabla comparando los valores finales (VF) estimados frente a los reales de cada proyecto. Como la muestra es menor a 30 casos, se debe realizar una prueba no paramétrica. Se asume que las muestras están relacionadas debido a que pertenecen a la misma fuente de datos.

De esta manera, la hipótesis inicial es comparar las medias de los datos y determinar si son iguales (el método no influye en el resultado) o diferentes (el método si influye en el resultado), a través de la prueba de rangos signados de Wilcoxon. Dicha prueba es fácil de usar y determina si una variable tiende ser mayor que otra (Gómez-Gómez et al., 2003). Sin embargo, se deben comprobar que los datos sean pareados, sean continuos y que haya simetría en los resultados. El paquete estadístico SPSS se encarga de comprobar dichas condiciones.

Por otro lado, es necesario comparar el error estándar de la información inicial (método tradicional) y la información estimada (método numérico propuesto). De esta manera se determina si el método propuesto reduce el error inicial y, por lo tanto, es más confiable.



CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Vectores ponderados

4.1.1. Criterios ambientales

La Tabla 17 presenta los resultados de las pruebas estadísticas luego del análisis descriptivo y matriz de correlaciones de la Tabla 14 que se muestra en los Anexo 1 y 2. El índice Káiser-Meyer-Olkin (KMO) es mayor a 0.5, por lo tanto se demuestra que el modelo estadístico es aceptable para el análisis propuesto. Asimismo, con la prueba de Bartlett se obtiene un valor de significancia menor al 5%.

Tabla 17. Resultados de las pruebas estadísticas de KMO y Bartlett

Prueba estadística		Resultado
Medida de adecuación muestral de Káiser-Meyer-Olkin		0.625
	Chi-cuadrado aproximado	996.688
Prueba de esfericidad de Bartlett	GL	15
	Sig.	0.000

Durante el análisis de componentes principales, se identificaron seis componentes que describen la valoración multicriterio de todos los impactos. Sin embargo, los autovalores y el porcentaje acumulado de la varianza indican que con solo dos componentes se puede resumir y describir toda la información. La Tabla 18 muestra los resultados de la varianza para cada componente. Se observa que con dos componentes se obtiene el 66% de la varianza. Esta situación es favorable para poder graficar y entender las correlaciones entre los criterios propuestos.

Tabla 18. Varianza total explicada de criterios ambientales por autovalores y suma de saturaciones

Comp.	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones			Suma de las saturaciones de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2.64	43.96	43.96	2.64	43.96	43.96	2.35	39.12	39.12
2	1.34	22.30	66.26	1.34	22.30	66.26	1.63	27.14	66.26
3	0.99	16.63	82.89						
4	0.60	9.95	92.84						
5	0.22	3.70	96.53						
6	0.21	3.47	100.00						

En la Figura 14 se observa una pendiente pronunciada para los dos primeros componentes y una tendencia horizontal para los demás. No obstante, se observa una pendiente pronunciada para el tercer componente. Dicha situación refleja que la información puede reducirse a tres componentes si se requiere de un porcentaje de varianza acumulada mayor.

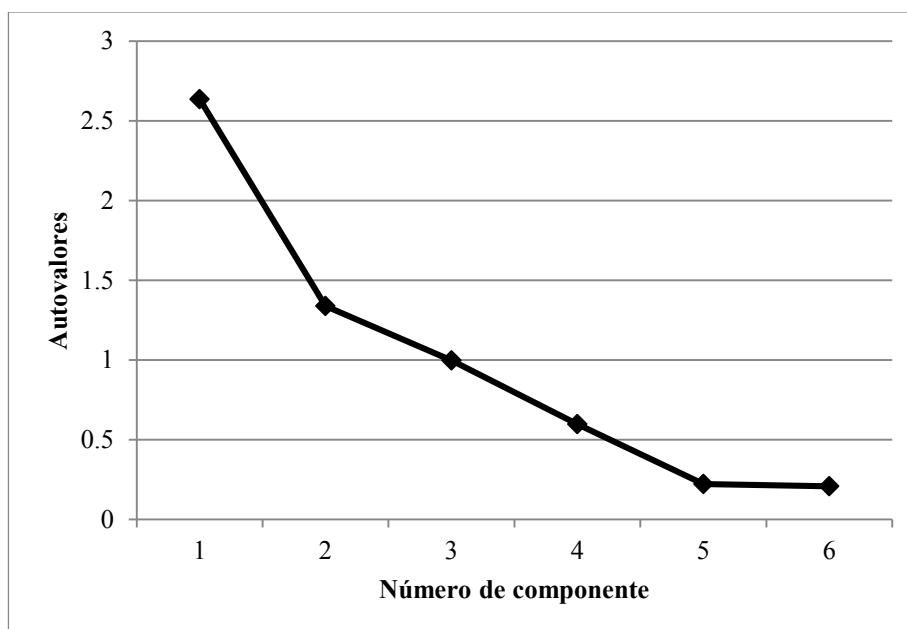


Figura 14. Sedimentación de componentes por autovalores de criterios de valoración

Una vez definidos los componentes, se analiza la matriz de componentes rotados. De esta manera, se pueden ubicar las variables en el espacio e identificar fácilmente la correlación. Asimismo, las comunalidades y los porcentajes de varianza total no cambian. La propuesta de realizar el análisis con dos componentes permite graficar mejor los criterios en el espacio. Mediante el uso de los criterios de identificación de la Figura 12, se analizan los criterios correlacionados. De la Figura 15, se observa que los criterios de Importancia y Duración tienen una correlación casi directa (el ángulo entre sus pendientes es casi cero). Esto puede indicar que a mayor nivel de importancia la duración del impacto puede ser permanente. También se observa que en ningún caso las rectas son perpendiculares, es decir, todas las variables están relacionadas

Asimismo, del gráfico en la Figura 15 se plantean dos comentarios. En primer lugar, se observa que los criterios de Reversibilidad, Extensión, Importancia y Duración se encuentran en el segundo cuadrante (positivo – positivo). Por otro lado, los otros dos

critérios, Perturbación y Ocurrencia se encuentran en el primer y cuarto cuadrante respectivamente.

Por otro lado, la Tabla 19 muestra que el segundo componente queda explicado por los criterios de perturbación y reversibilidad (tienen el valor absoluto más cercano a uno). Mientras que el primer componente posee el resto de criterios.

Tabla 19. Matriz de componentes rotados de criterios de valoración por componente

Criterio	Componente	
	1	2
Perturbación	-0.176	0.825
Importancia	0.270	0.067
Ocurrencia	0.825	-0.265
Extensión	0.679	0.567
Duración	0.905	0.124
Reversibilidad	0.532	0.733

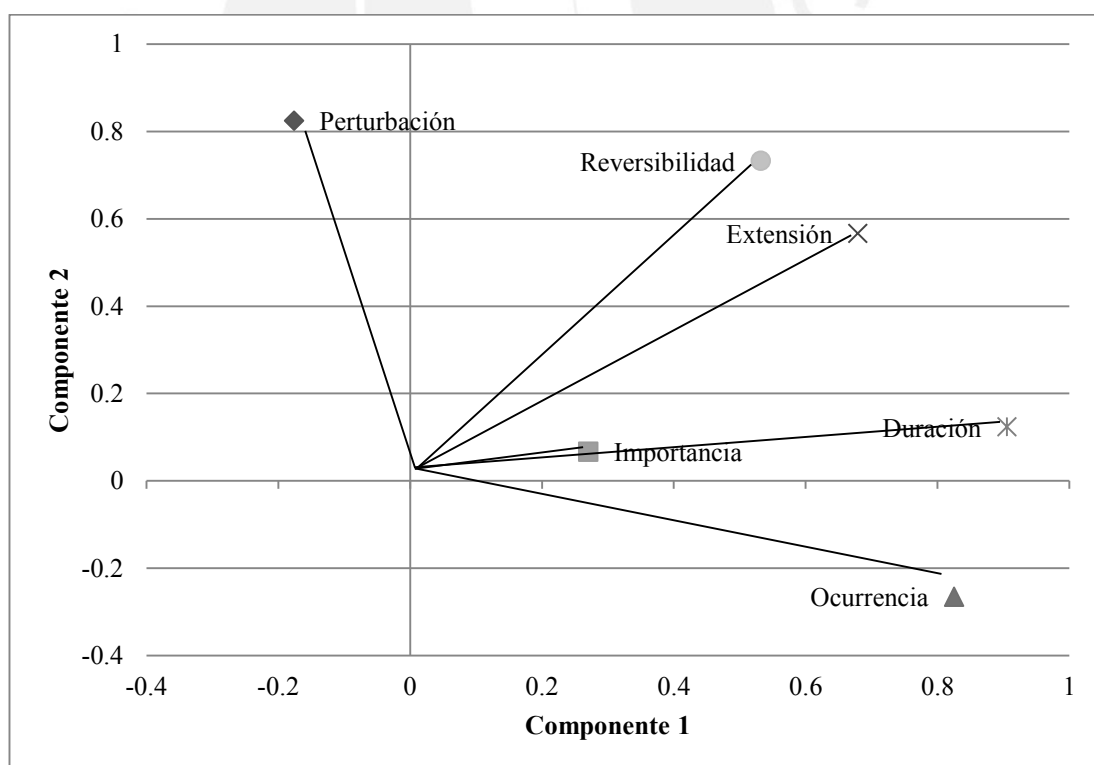


Figura 15. Componentes rotados por Varimax de criterios de valoración con relación entre variables (líneas continuas)

La Tabla 20 muestra la matriz de transformación necesaria para obtener la nueva valoración de cada impacto. Fueron calculadas con las ecuaciones propuestas en la

metodología y la matriz de componentes rotados. De esta manera, se establece se crea la Ecuación 12, donde las variables “D1” y “D2” son las nuevas dimensiones creadas por el análisis y se toma el valor absoluto.

Tabla 20. Matriz de transformación de dos componentes

Componente	1	2
1	0.881	0.473
2	-0.473	0.881

$$A_N = \frac{0.881D_1 + 0.473D_2}{0.473 + 0.881} \quad (12)$$

4.1.2. Factores ambientales

Un primer análisis de componentes principales determinó que solo son necesarios dos componentes principales para tener una parte importante de la varianza total. La Tabla 21 muestra el porcentaje de varianza acumulada, para este caso, casi el 100% de la varianza se comprende en dos componentes. Sin embargo, la matriz de correlaciones no es definida como positiva, por lo que no se pueden realizar las pruebas estadísticas (Anexo 3). Se debe asumir que el modelo es adecuado, ya que proviene de proyectos cuya información ya han pasado las pruebas correspondientes.

Tabla 21. Varianza total explicada de factores ambientales

CP	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones			Suma de saturaciones de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2.92	72.99	72.99	2.92	72.99	72.99	2.89	72.28	72.28
2	1.06	26.38	99.38	1.06	26.34	99.38	1.08	27.10	99.38
3	0.03	0.62	100.00						
4	0.00	0.00	100.00						

La Tabla 22 muestra que el medio Físico, Perceptual y Socio-Económico están comprendidos para el primer componente. Esta situación nos indica que los criterios de importancia asignados por el panel de expertos están ligados al desarrollo y habilitación urbana de los emplazamientos. Por ejemplo, la habilitación urbana de un terreno, que afecta negativamente todo el medio físico, también aporta una mejora visual del entorno (medio perceptual) y social al mejorar la calidad de las personas.

Por otro lado, de la Figura 16 se observa que el medio físico y el socio-económico poseen una relación indirecta. Es decir, si la importancia del medio físico crece, el del socio-económico disminuye.

Tabla 22. Matriz de componentes rotados de medios ambientales

Medio	Componente	
	1	2
Físico	-0.998	-0.043
Biótico	-0.040	0.999
Perceptual	0.954	-0.287
Socio -Económico	0.992	0.043

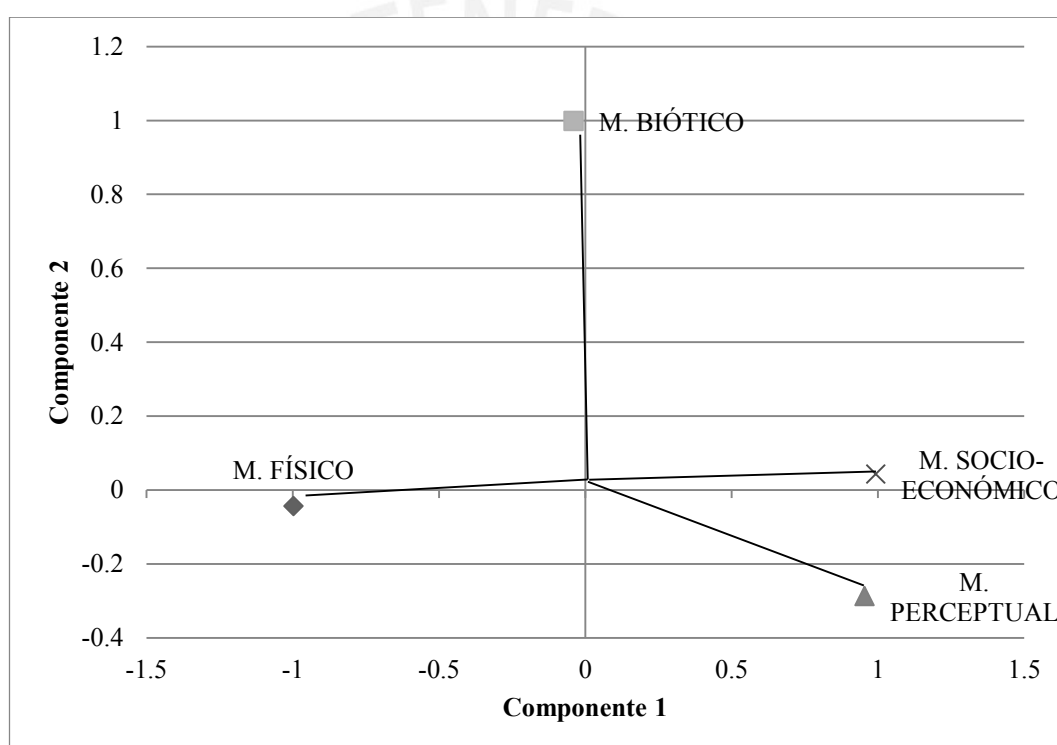


Figura 16. Componentes rotados por Varimax de medios ambientales con relación entre variables (líneas continuas)

Como cada factor se comporta de manera independiente, no se requiere hallar la matriz de transformación y se le asigna un nuevo componente. De esta manera, los factores Aire, Suelo, Agua, Paisaje, Social y Económico tendrán el valor del primer componente; mientras que los factores de Flora y Fauna, del segundo componente para cada proyecto. La Tabla 23 muestra el valor que tendrá cada factor ambiental según el componente principal obtenido. En algunos proyectos, los valores son iguales, ya que

se optaron por pesos propuestos por Conesa (2010). Los valores ya fueron estandarizados de 0 a 1.

Tabla 23. Valor estandarizado de los medios ambientales por proyecto

Proyecto	Medio físico	Medio biótico	Medio perceptual	Medio socio económico
1	0.72	0.16	0.72	0.72
2	0.72	0.16	0.72	0.72
3	0.72	0.16	0.72	0.72
4	1.00	0.11	1.00	1.00
5	1.00	0.11	1.00	1.00
6	0.97	0.15	0.97	0.97
7	0.08	1.00	0.08	0.08
8	0.72	0.16	0.72	0.72

4.2. Resultados de análisis clúster jerárquico y discriminante

Se realizó el análisis clúster jerárquico a los 431 impactos de los proyectos (Anexo 4). Asimismo, se generó una matriz de distancia euclidianas, las cuales permiten valorar la distancia que hay entre cada grupo, es este caso, cada criterio propuesto.

La Figura 17 muestra los criterios distribuidos por grupos. Para cada corte (número en la parte superior) se identifican los grupos. Se escoge el tercer corte (10) debido a que representa mayor información. De esta manera, se identifican tres grupos: perturbación-reversibilidad-extensión, ocurrencia-duración e importancia. Por otro lado, se observa que el criterio de importancia tiene el mismo peso que todos los demás criterios juntos, para el último corte (25).

Para el análisis discriminante, se halló el máximo y mínimo de la valoración total de cada impacto. Se encontró que el mínimo era 0.33 y el máximo 1. Como el análisis necesita de números enteros para realizarse, se multiplicaron los valores por cien. En la Tabla 24 se observa que la función 1 tiene un Autovalor grande, lo que indica que los primeros grupos definidos son diferentes. Asimismo, con las dos primeras funciones se obtiene el 90% de la varianza acumulada.

Tabla 24. Autovalores del análisis discriminante para cada función y su correlación canónica

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	62.29	84.6	84.6	0.99
2	6.19	8.4	93.0	0.93
3	2.49	3.4	96.4	0.85

4	1.49	2.0	98.4	0.77
5	0.85	1.1	99.6	0.68
6	0.32	0.4	100.0	0.50

Por otro lado, la Tabla 25 muestra el resultado de la prueba de Wilks. Se observa que con las funciones 1 a 6 se obtiene un valor igual a 0. De esta manera, se determina que los grupos son diferentes con un nivel de significancia alto (sig. 000). Es a partir de la función 6 que se obtienen grupos similares (cercano a 1). En el Anexo 5 se observa el mapa territorial de los grupos definidos con sus respectivos centroides. También se calcularon los coeficientes utilizados para las respectivas rectas de Fisher para cada grupo determinado.

Tabla 25. Prueba de Lambda de Wilks, Chi-cuadrado y nivel de significancia

Prueba de funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1 a 6	0.000	3795.12	156	0.000
2 a 6	0.007	2080.03	125	0.000
3 a 6	0.047	1264.04	96	0.000
4 a 6	0.164	746.88	69	0.000
5 a 6	0.409	369.58	44	0.000
6	0.755	116.08	21	0.000

Finalmente, con las funciones de Fisher y los grupos divididos, se calculó si la valoración es correcta. Es decir, si el valor final corresponde a lo esperado. La Tabla 26 muestra el total de casos por proyecto donde hay un error de valoración. Para los proyectos 7 y 8, el error es menor al 10%. Sin embargo, para el caso del proyecto 5, el error es de 52%; mientras que para el proyecto 6, es de 43%. En ambos casos, el factor más afectado es el Económico, lo que nos indica que el panel de expertos sobrevaloró los impactos en la economía.

Tabla 26. Casos valorados incorrectamente de cada proyecto seleccionado

Proyecto	Cantidad de impactos	Casos incorrectos	Porcentaje de error
1	40	4	10
2	56	6	11
3	45	4	9
4	24	6	25
5	43	23	52
6	23	10	43
7	117	5	4
8	83	5	6
Total	431	63	15

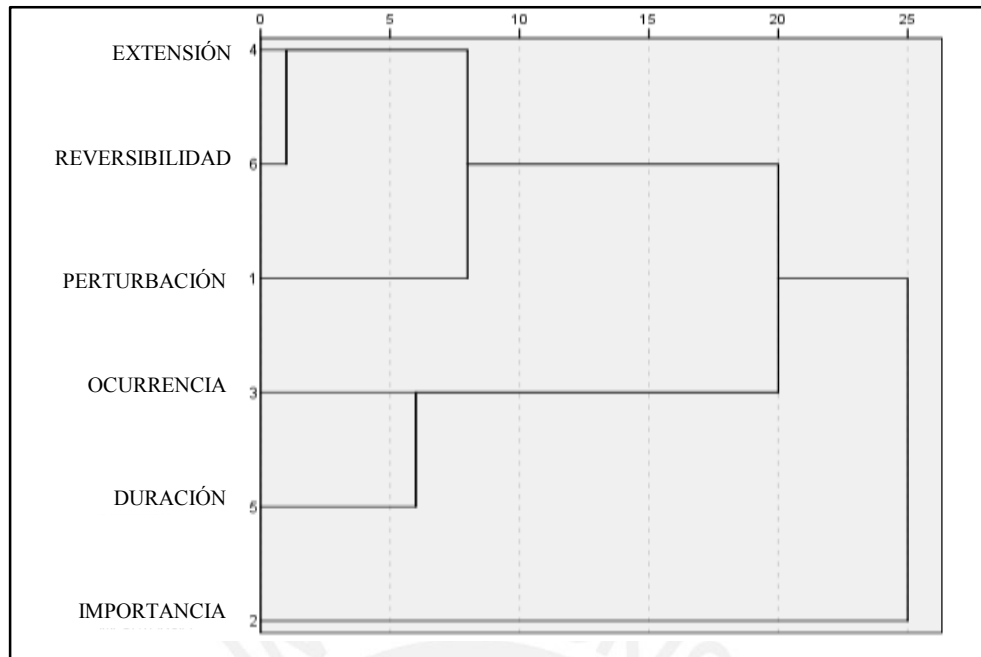


Figura 17. Dendrograma generado por el análisis clúster jerárquico

4.3. Arreglo matricial por vectores

Con la Ecuación 12 se calcula el nuevo valor de los impactos. Siendo 0, ningún tipo de afectación, y 1, como afectación total. Como no se consideró el vector de carácter en el ACP, la naturaleza de la nueva valoración tendrá la misma que la inicial. Con la Ecuación 11 se calcula el valor final del impacto por cada interacción aspecto-factor ambiental. De esta manera se obtiene la matriz mostrada en la Tabla 30. Se observa que el paquete de actividades A no afecta el factor Social. En el Anexo 7 se observa la matriz real de comparación.

De la Figura 18 se observa que tanto el promedio estimado como el real mantienen la naturaleza (positiva o negativa) de las actividades. Sin embargo, la magnitud del impacto se reduce. Se debe modificar el rango de calificación, propuesto en la Tabla 6. Por otro lado, de la Figura 19 se observa que también se mantiene la naturaleza del impacto para cada factor ambiental pero con una magnitud reducida, como era de esperarse.

Esta situación demuestra dos cosas. En primer lugar, el método propuesto mantiene la naturaleza del impacto. El panel de expertos debe tener cuidado al momento de asignar el carácter, positivo o negativo, del impacto. En segundo lugar, se mantienen los factores ambientales afectados más importantes, como el caso del factor Económico.

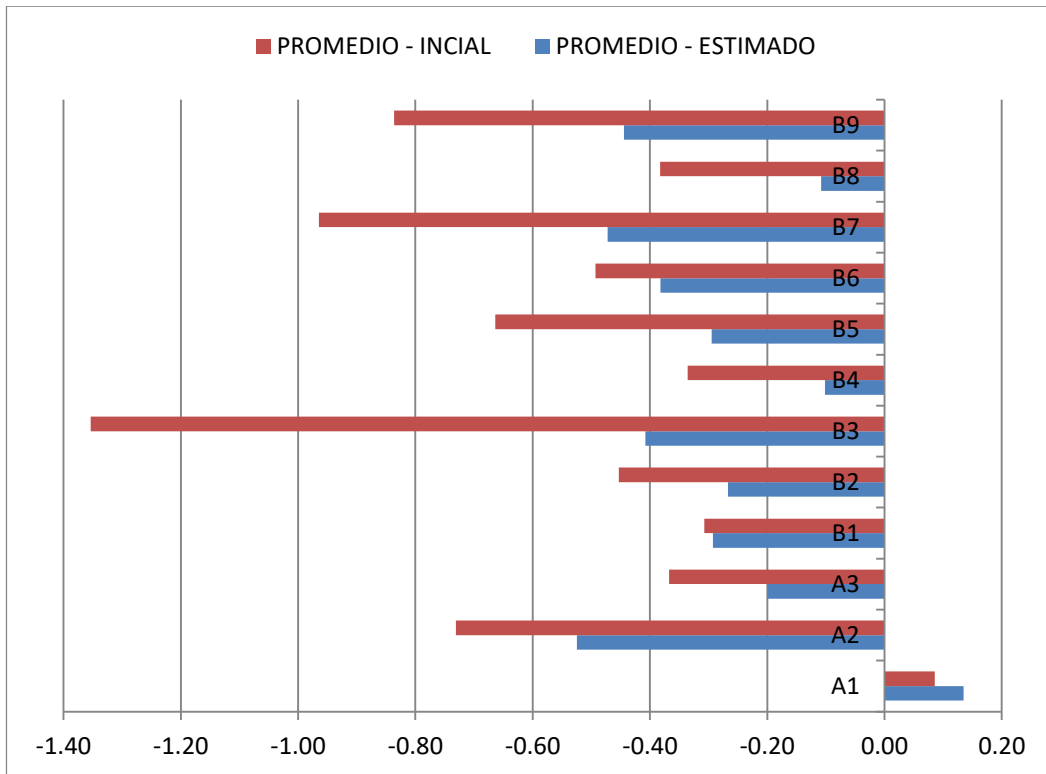


Figura 18. Comparación de naturaleza (positiva o negativa) de las valoraciones totales de las actividades

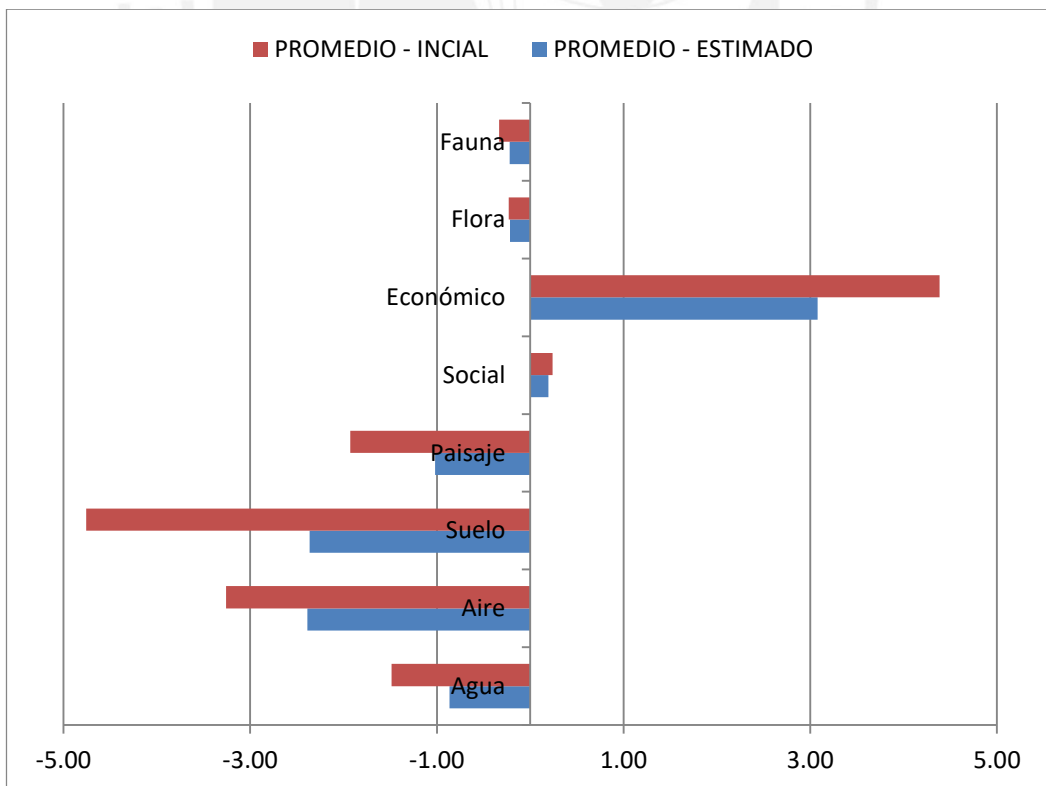


Figura 19. Comparación naturaleza (positiva o negativa) de las valoraciones totales por factores ambientales

4.4. Prueba de diferencia de matrices

La Tabla 27 muestra el resumen de los resultados finales por proyecto y la comparación frente a la comparación inicial. A simple vista, se observa un problema de escala entre las valoraciones finales y una diferencia entre la naturaleza de la valoración estimada e inicial del proyecto 6.

Tabla 27. Comparación entre resultados estimados e iniciales por cada proyecto seleccionado

Proyecto	Estimado	Inicial
1	-5.44	-11.50
2	-2.67	-6.59
3	-5.52	-13.03
4	-4.68	-5.42
5	-8.76	-11.03
6	0.33	-0.59
7	-0.18	-4.12
8	0.04	-2.16

El paquete estadístico SPSS comprueba las condiciones iniciales para realizar la prueba de rangos de Wilcoxon y resume la hipótesis en la Tabla 28. Como el grado de significación es menor a 0.05, se debe rechazar la hipótesis de que la diferencia de medias es igual a 0. En otras palabras, el método si influye en los resultados.

Tabla 28. Resumen de contraste de hipótesis para una prueba no paramétrica

Hipótesis nula	Significación	Decisión
La diferencia de medias entre lo Estimado e Inicial es igual a 0	0.012	Rechazar hipótesis nula

Finalmente, la Tabla 29 muestra los resultados estadísticos descriptivos de ambos datos, así como el error estándar. Se puede observar que los datos iniciales tienen un error menor a los datos estimados. En otras palabras, una estimación más precisa de la muestra. Por lo tanto el grado de confianza es mayor en el segundo caso.

Tabla 29. Error estándar de los resultados

Dato	Media	Error estándar
Inicial	-6.81	1.63
Estimado	-3.36	1.16

Tabla 30. Matriz promedio de resultados estimados para la fase de construcción de los proyectos seleccionados

Promedio de proyectos – Estimado													
Factores Ambientales	Fase de construcción												Valor Absoluto
	Componente A			Componente B									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
Agua	-0.02	-0.02	0.00	-0.03	0.00	-0.06	-0.04	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.18	-0.86
Aire	0.00	-0.39	-0.07	-0.23	-0.11	-0.37	-0.08	-0.11	-0.30	-0.35	-0.14	-0.23	-2.39
Suelo	-0.11	-0.19	-0.07	-0.18	-0.13	-0.18	-0.13	-0.19	-0.23	-0.41	-0.23	-0.31	-2.36
Paisaje	-0.03	-0.20	-0.13	-0.05	-0.17	-0.21	-0.01	-0.13	-0.04	0.04	-0.01	-0.07	-1.02
Social	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.00	0.00	0.09	-0.03	0.19
Económico	0.29	0.28	0.07	0.20	0.15	0.41	0.11	0.18	0.31	0.39	0.31	0.37	3.08
Flora	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.05	-0.10	0.00	0.00	0.02	0.00	-0.22
Fauna	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.04	-0.05	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.22
Valor Absoluto	0.13	-0.52	-0.20	-0.29	-0.27	-0.41	-0.10	-0.29	-0.38	-0.47	-0.11	-0.44	-3.36

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Evaluación de impacto ambiental y propuestas de métodos estadísticos

Los diversos puntos de vista para la valoración cualitativa de los impactos, así como la jerarquización de los factores ambientales, no fueron un problema para el análisis factorial, ya que se hallaron los componentes ambientales. Al igual que otros estudios fueron necesarios dos componentes para explicar más del 60% de la variabilidad de ambas bases de datos, las valoraciones y los factores ambientales (Plazas et al., 2009). Sin embargo, fueron otros criterios los que tuvieron diferentes pesos en cada componente. Esta situación puede explicarse debido a que se utilizaron criterios de valoración propuestos por otro autor (Espinoza, 2006).

Por otro lado, la aplicación del análisis factorial complementa las valoraciones del panel de expertos y puede llegar a mejorar los resultados al utilizar el software EIA09 (Cruz et al., 2008). De esta manera, la lógica difusa, que determina la importancia de un impacto ambiental (compatible, moderada, severa o crítica), se integra con el análisis factorial, discriminante y clúster jerárquico a través de un análisis estadístico que encuentra nuevos vectores de evaluación a partir de los criterios y factores ambientales previamente definidos y establece una metodología para identificar las fuentes de incertidumbre que antes no se podían identificar (Duarte, 2000). Dentro del software, se puede evaluar con una mayor precisión el impacto total y generar un reporte de las alternativas del proyecto.

Respecto a la selección de criterios de valoración, cada uno tiene una representación mediante el análisis de los componentes ambientales. De esta manera, el peso de los criterios se modifica para la mejora de la valorización y no se elimina ninguno. Sin embargo, según los autores Toro (2009) y Toro et al (2013b), la probabilidad de ocurrencia es de carácter definitivo, es decir, define si el impacto tiende a generarse en el proyecto o no. Los resultados demostraron que la ocurrencia de un impacto ambiental junto el criterio de duración tienen las mismas características que el criterio de importancia.

Finalmente, el error estándar encontrado en la matriz estimada (1.16) respecto a la matriz original (1.63) se redujo en un 28% y la diferencia de medias, con una significancia menor al 5%, lo cual reduce las posibilidades de error en las decisiones

estadísticas y se pueden considerar como un protocolo de análisis estándar (Antcliffe, 1999). Además, el resultado final del proyecto ocho resulta ser de carácter positivo frente a la valoración original esto se puede indicar que los impactos en el factor económico, que es el factor más afectado en siete proyectos, tienen mayor peso o importancia que los demás.

5.2. Evaluación de impacto ambiental e incertidumbre en métodos de valoración actuales

Una de las principales fuentes de incertidumbre es la simplificación del ambiente al no considerarlo como un sistema complejo (Martínez, 2013). Sin embargo, la cantidad de impactos identificada por el panel de expertos, a través de métodos matriciales para cada proyecto, resultó ser suficiente para el análisis. La prueba de KMO (0.625) demostró que 431 impactos son adecuados para el proceso. Por lo tanto, la primera fuente de incertidumbre se reduce estableciendo la cantidad óptima de impactos ambientales.

Asimismo, la prueba KMO demostró que los criterios propuestos tienen una alta correlación. Por lo tanto, se identifica otra fuente de incertidumbre, ya que se repite información necesaria para la valoración de impactos ambientales. En la Figura 15, el criterio de importancia se relaciona con todos los demás criterios, menos el de perturbación, lo cual indica que, durante la evaluación cualitativa de los expertos, las valoraciones de dichos criterios dependen de la valoración de la Importancia del impacto. Esto podría explicar los impactos ambientales mal estimados mostrados en la Tabla 26.

Por otro lado, la Figura 16 no muestra que exista una gran correlación entre los medios ambientales, esto indica que la simplificación del entorno en factores ambientales (Conesa, 2010), para este caso ocho factores en cuatro medios, fue correcta y no es una fuente de incertidumbre para la valoración de los impactos.

El problema de los métodos cualitativos, basados en una escala de valoración a través de criterios ambientales, radica en que dichos criterios no pueden ser lo suficientemente adecuados para reducir la incertidumbre (Garmendia et al., 2005). Además, la jerarquización de factores ambientales tienen una visión sesgada de la realidad, así como la falta de comunicación y cambios imprevistos (Martínez, 2013;

Monje, 2011; Tennøy et al., 2006). Sin embargo, los resultados del análisis de clúster jerárquico demostraron que hay tres grupos de criterios que tienen el mismo peso.

Los resultados reportados (Figura 18 y Figura 19) muestran la naturaleza, negativa o positiva, de los impactos. Sin embargo, el método propuesto no contempla el carácter del mismo, sólo la valoración final. Por lo tanto, aún persiste un problema de incertidumbre en la identificación de impactos ambientales durante las actividades de la fase de construcción. Sin embargo, se reduce la incertidumbre escalar del impacto, es decir su valoración.

Finalmente, los resultados mostrados en la Tabla 26 demuestran que hay un porcentaje de valoraciones que no son correctas (15%). De esta manera, queda evidenciado una fuente de incertidumbre en los métodos cualitativos: los expertos pueden equivocarse en la valoración multicriterio. Sin embargo, no demuestra si la cantidad de expertos, normalmente cinco, es suficiente para obtener una valoración adecuada de los impactos.

5.3. Evaluación de impacto ambiental respecto a aportes para mejora de predicciones

La cantidad de información a través de criterios de valoración, junto con la visión limitada del grupo de expertos, dificulta el análisis del ambiente (Monje, 2011), Sin embargo, los resultados demostraron que, la opción de utilizar componentes principales como medio para reducir la alta variabilidad sin perder información es una opción apropiada para mejorar la evaluación ambiental (Plazas et al., 2009; Lacourly, 2011).

Por otro lado, la estimación de componentes ambientales (CP), que cambia el peso de cada criterio y factor ambiental, optimiza la importancia de cada uno. La información transformada por la Ecuación 12 de ambos componentes permite introducir el concepto de CP en una matriz de interacción (Plazas et al., 2009). El valor extremo de la matriz conserva el carácter final de cada proyecto por lo que aún persiste la posibilidad de no haber considerado todos los impactos (Martínez, 2013; Tennøy et al., 2006). No obstante, se ha demostrado una mejora de las predicciones al interactuar cada factor ambiental con la valoración final de los impactos ambientales.

Finalmente, el dendrograma (Figura 17) muestra que todos los criterios de valoración están relacionados con el criterio de importancia. Sin embargo, según el análisis por componentes principales, dicho criterio está dentro del primer componente junto con los criterios de ocurrencia, extensión y duración. Esta situación indica que puede generarse un tercer componente que tenga sólo el criterio de importancia. Si se compara este resultado con lo propuesto por Toro (2009), que divide la valoración de un impacto calculando la importancia de tres factores (probabilidad de ocurrencia, vulnerabilidad y actividad), resulta en una mejora considerable de las valoraciones de impactos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Los nuevos vectores ambientales calculados mediante los componentes ambientales y las ecuaciones de transformación propuestos, lograron optimizar las valoraciones finales de los impactos al combinar las valoraciones cualitativas iniciales con el peso cuantitativo de los factores ambientales en la matriz de interacción. La reducción de componentes mejora la predicción y evita que la información se repita. Además, la cantidad de proyectos escogidos fue suficiente para lograr una mejora de la predicción de los impactos.

Por el lado del uso del análisis clúster jerárquico y el análisis discriminante, se logró identificar las fuentes de incertidumbre durante la valoración cualitativa. Además, se puede tener un mayor entendimiento del entorno y de cómo los paneles de expertos evalúan y predicen los impactos ambientales. De esta manera, se verificó que hay un criterio (importancia) que tiene el mayor peso durante dicha valoración. Por lo tanto, se debe tener cuidado al valorar dicho criterio para evitar redundancia en la información y afecte la valoración final del impacto.

La comparación de resultados demostró una mejora considerable de la predicción de impactos. Las pruebas consideradas determinaron que el método propuesto sí influye positivamente en la evaluación y respalda el uso de esta en otros proyectos. De esta manera, la introducción de técnicas estadísticas para el análisis de impactos ambientales implica un gran avance en la mejora en la predicción en la EIA.

En conclusión, con la reducción a componentes principales no se pierde información de la valoración, en cambio, se puede optimizar los resultados y obtener un comportamiento más exacto de los impactos ambientales de las actividades de los proyectos. Con la metodología propuesta, se pueden identificar con mayor precisión el efecto que los impactos producen en los factores ambientales. De esta manera, se pueden plantear mejores medidas compensatorias o mitigadoras para el futuro plan de gestión ambiental durante la fase de construcción.

6.2. Recomendaciones

Sería recomendable tener una valoración completa de los impactos ambientales para todos los proyectos, de esta manera se obtiene más grados de libertad en el análisis de

componentes ambientales y un modelo estadístico más óptimo (KMO cercano a la unidad). Así como establecer un nuevo rango de evaluación de impactos, ya que la escala de valoración cambia cuando se calculan los componentes principales.

Por otro lado se deben incluir más proyectos al análisis, de esta manera se optimizan los resultados y se tiene una muestra más adecuada. Además, para determinar en cuál fase de presenta mayor fuentes de incertidumbres, la metodología puede extenderse a todas las fases de los proyectos y mejorar la predicción de impactos ambientales.

Finalmente, para verificar la nueva valoración de los impactos, en las etapas de control y monitoreo se debe identificar y comparar la magnitud de los verdaderos impactos frente a los valores estimados. De esta manera, las medidas de mitigación y compensación serán mejoradas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antcliffe, B. L. (1999). Environmental impact assessment and monitoring: the role of statistical power analysis. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 17, 1, 33-43.

Aznar, J., Guijarro, F. & Moreno, J. (2007). Valoración agraria multicriterio en un entorno con escasa información. *Estudios de Economía Aplicada*, 25, 2, 549-572.

Berrocal, F. (2016). *Análisis comparativo de tres métodos de valoración de puestos de trabajo*. (Tesis doctoral) Universidad Complutense de Madrid, España.

Canter, L. (1998). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: McGraw Hill.

Carrasco, M., Enríquez de Salamanca, A., García, M. & Ruiz, S. (2013). Evolución de las medidas compensatorias en los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental. *Ingeniería Civil*, 73-80.

Centro Español de Metrología [CEM]. (2008). *Guía para la Expresión de la incertidumbre de Medida*. Madrid: CEM.

Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Consejo Nacional de Ambiente [CONAM]. (1999). *Principios de Evaluación de Impacto Ambiental*. Lima: CONAM.

Cruz, V., Gallego, E. & González, L. (2008). *Sistema de Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia.

De Jongh, P. (1990). Uncertainty in EIA. *Environmental Impact Assessment. Theory and Practice*. London: Rotledge.

Duarte, O. (2000). *Técnicas difusas en la evaluación de impacto ambiental*. (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.

Duinker, P. (1989). Ecological effects monitoring in environment impact assessment: what can it accomplish? *Environmental Management*, 13, 6, 797-805.

Espinoza G. (2007). *Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago de Chile: DIB-CED.

Fierrols, R. & Alós, M. (2011). Métodos de análisis de la incertidumbre. *Farmacia Hospitalaria*, 3-9.

Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C. & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. 1ra ed. Madrid: Pearson Education.

Gómez, D. (2003). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Mundi Prensa.

Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C. & Vega-Franco, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 70, 2, 91 – 99.

Gómez, T. & Gómez, D. (2012). IMPRO4: Una aplicación de tipo SAAS (Software As A Service) para la evaluación de impacto ambiental. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22, 2, 179 – 195.

Gutiérrez, D. & Pomar, R. (2016). *Modelo para estimar impactos ambientales en el movimiento de tierras en obras de edificaciones*. (Tesis de licenciatura) Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Lacourly, N. (2011). *Estadística Multivariada*, Santiago de Chile, Chile: Worldcolor Chile.

León, J. & Lopera, G. (1999). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental a partir de diferentes métodos específicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 52, 2, 565-598.

Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, Diario Oficial el Peruano, Perú, 23 de Abril de 2009.

Macintosh, A. & Waugh, L. (2014). Compensatory mitigation and screening rules in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 49, 1, 1-12.

Martínez, L. (2013). *Análisis de la Incertidumbre en los Estudios de Impacto Ambiental de Colombia desde el Enfoque de los Sistemas Complejos*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa – Guía didáctica. Colombia: Universidad SurColombiana, 29 – 32.

Moreno, J., Aguarón, J. & Escobar, M. (2001). Metodología científica en valoración y selección ambiental. *Pesquisa Operacional*, 21, 1, 1-16.

Morales, V. (2011). *El análisis factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Morrison-Saunders, A. & Bailey, J. (2003). Practitioner Perspective on the Role of Science in Environmental Impact Assessment. *Environmental Management*, 31, 6, 683-695.

Morgan, R. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30, 1, 5-14.

NTP-ISO14001. (2015). *Sistema de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para uso*. Lima: INACAL

Peretvochtchikova, M. (2012). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 23,2, 283-312.

Plazas, J. A., Lema, A. & León, J. D. (2009). Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 62, 1, 4937-4955.

Quezada, N. (2017). *Estadística Multivariada*, Lima, Perú: Editorial Macro.

Teigland, J. (2000). *Impact assessment as policy and learning instrument: why effect predictions fail, and how relevance and reliability can be improved*. Roskilde: Roskilde Universitet.

Tennøy, A., Kværner, J. & Gjerstad, K. I. (2006). Uncertainty in environmental impact assessment predictions: The need of better communication and more transparency. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24, 1, 45-46.

Toro, J. (2009). *Análisis constructivo del proceso de evaluación de impacto ambiental en Colombia. Propuestas de mejora*. (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.

Toro, J., Martínez, R. & Arrieta, G. (2013a). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4, 2, 43-53.

Toro, J., Requena, I., Duarte, O. & Zamorano, M. (2013b). A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 9 – 20.

Torrado-Fonseca, M. & Berlanga, V. (2013). Análisis Discriminante mediante SPSS. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 6 (2), 150 - 166.

Vallejos, K. (2016). *Evaluación de impacto ambiental del proyecto vial “Carretera Satipo - Mazamari – Desvió Pangoa – Puerto Ocopa”*. (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Vásquez, J. (2015). *Impacto ambiental en el proceso de construcción de una carretera afirmada en la zona alto andina de la región Puno*. (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Viloria, M. & Awad, G. (2015). *Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental aplicada al ciclo de vida de proyectos de infraestructura en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Viloria, M., Cadavid, L. & Awad, G. (2018). Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28, 2, 121 – 156.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



ANEXOS

**MODELADO DE IMPACTOS AMBIENTALES CON MÉTODOS
NUMÉRICOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. que presenta el Bachiller.

César André Lucana Agüero

Asesor: Dr. Federico Alexis Dueñas Dávila

Lima, Marzo de 2019

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis descriptivo de los criterios ambientales de los proyectos seleccionados.....	84
Anexo 2. Matriz de correlaciones de los criterios ambientales.....	84
Anexo 3. Matriz de correlaciones para factores ambientales.....	84
Anexo 4. Resumen de procesamiento de datos para casos válidos y perdidos.....	84
Anexo 5. Mapa territorial por valoración total de proyectos seleccionados para dos funciones discriminantes.....	85
Anexo 6. Matriz de interacción promedio de valoraciones iniciales de los proyectos seleccionados.....	86



Anexo 1. Resultado de análisis descriptivo de los criterios ambientales de los proyectos seleccionados

Criterio	Media	Desviación típica	N del análisis
Perturbación	0.5953	0.18129	431
Importancia	0.6077	0.29013	431
Ocurrencia	0.5603	0.34202	431
Extensión	0.5918	0.24532	431
Duración	0.6010	0.30952	431
Reversibilidad	0.4528	0.25391	431

Anexo 2. Matriz de correlaciones de los criterios ambientales

Criterio	Perturbación	Importancia	Ocurrencia	Extensión	Duración	Reversibilidad
Perturbación	1.000	-0.044	-0.143	0.219	-0.002	0.361
Importancia	-0.044	1.000	0.126	0.094	0.094	0.263
Ocurrencia	-0.143	0.126	1.000	0.312	0.667	0.178
Extensión	0.219	0.094	0.312	1.000	0.648	0.736
Duración	-0.002	0.094	0.667	0.648	1.000	0.507
Reversibilidad	0.361	0.263	0.178	0.736	0.507	1.000

Anexo 3. Matriz de correlaciones para factores ambientales

Medio ambiental	M. Físico	M. Biótico	M. Perceptual	M. Socio-Económico
M. Físico	1.000	-0.004	-0.943	-0.988
M. Biótico	-0.004	1.000	-0.322	0.000
M. Perceptual	-0.943	-0.322	1.000	0.923
M. Socio-Económico	-0.988	0.000	0.923	1.000

a. Determinante = .000

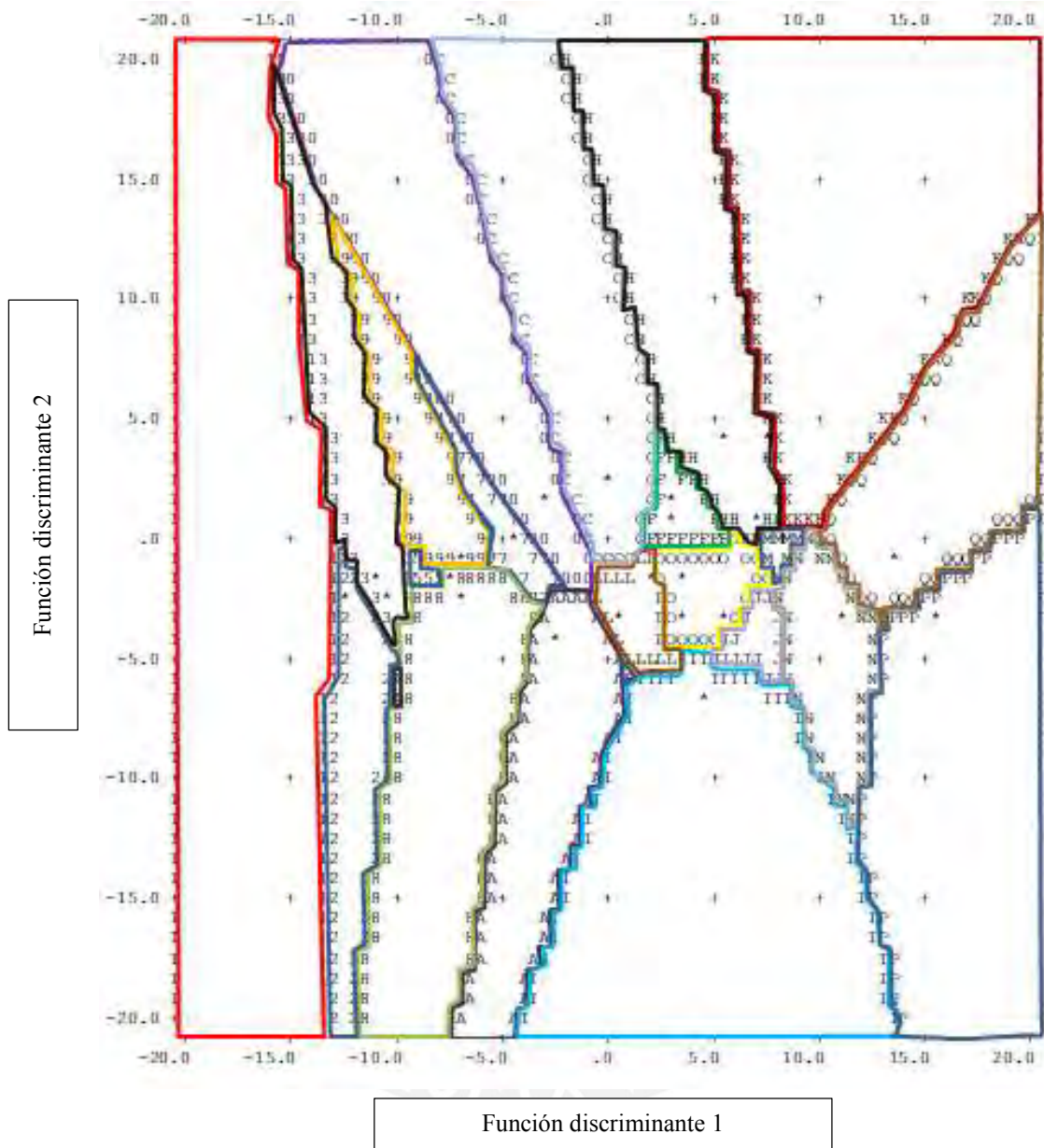
b. Esta matriz no es definida positiva.

Anexo 4. Resumen de procesamiento de datos para casos válidos y perdidos

Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
431	100%	0	0%	431	100%

a. Distancia euclídea al cuadrado usada

Anexo 5. Mapa territorial por valoración total de proyectos seleccionados para dos funciones discriminantes



Símbolos utilizados en mapa territorial

Símbolos	Grupo
De 1 a 0	33, 36, 41, 44, 49, 50, 51, 54, 56
De A a Q	61, 62, 63, 64, 65, 69, 70, 75, 77, 79, 81, 85, 87, 88, 90, 94, 100

Anexo 6. Matriz de interacción promedio de valoraciones iniciales de los proyectos seleccionados

Promedio de proyectos - Real													
Factores Ambientales	Fase de construcción												Valor Absoluto
	Actividad 1			Actividad 2									
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
Agua	-0.03	-0.05	0.00	-0.02	0.00	-0.14	-0.08	-0.24	-0.19	-0.30	-0.15	-0.29	-1.48
Aire	0.00	-0.43	-0.14	-0.17	-0.22	-0.58	-0.29	-0.21	-0.24	-0.46	-0.25	-0.27	-3.26
Suelo	-0.24	-0.34	-0.16	-0.22	-0.18	-0.72	-0.30	-0.47	-0.32	-0.69	-0.57	-0.54	-4.76
Paisaje	0.01	-0.34	-0.20	-0.07	-0.23	-0.46	-0.03	-0.25	-0.07	-0.08	-0.04	-0.18	-1.93
Social	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.13	0.00	0.00	0.14	-0.09	0.24
Económico	0.34	0.43	0.13	0.17	0.18	0.55	0.30	0.37	0.33	0.57	0.49	0.53	4.38
Flora	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.05	-0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.23
Fauna	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.07	-0.06	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.33
Valor Absoluto	0.09	-0.73	-0.37	-0.31	-0.45	-1.35	-0.34	-0.66	-0.49	-0.96	-0.38	-0.84	-6.80

