

Nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, 2005-2010

Level modeling reliability of used in the application of Dispersion Models air Pollutants in Environmental Impact Studies of Peru, 2005-2010

Recibido 14-05-2013 Aceptado: 17-09-2013

RAFAEL NERY LIÑÁN ABANTO ¹

Resumen

La presente investigación busca determinar el nivel de confiabilidad de la modelación en la aplicación de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos (MDCA) en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) de los grandes proyectos de inversión sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental del Perú (SEIA), entre los años 2005 y 2010. Para la revisión sistemática de las aplicaciones de los MDCA en una muestra representativa de doce (12) proyectos, a partir de una población de 785 EIA, que incluye proyectos mineros, fundiciones y centrales termoeléctricas, usamos un instrumento validado por expertos. Los resultados demuestran que las aplicaciones de los MDCA no se realizaron con una aproximación metodológica adecuada, por consiguiente, su nivel de confiabilidad es bajo debido a que no se estudiaron ni definieron los problemas adecuadamente, no se construyó ni se seleccionó el modelo apropiado, no se especificaron los valores de las variables y los parámetros a evaluar y validar.

Palabras clave: Contaminación atmosférica; modelos dispersión de contaminantes atmosféricos; evaluación del impacto ambiental.

Abstract

This research aims to determine the level of reliability of modeling in the application of air pollutant dispersion models (APDM) in environmental impact studies (EIS) of large investment projects, submitted to the Peruvian National Environmental Impact Evaluation System (SEIA, for the term in Spanish) between 2005 and 2010. Systematic review of the applications of the APDM in a representative sample of twelve (12) projects, from a population of 785 EIS, which includes mining, smelting and thermoelectric power projects, we use an instrument validated by experts. The results show that the applications of the APDM, were not performed with adequate methodological approach therefore your confidence level is low because it was not studied and defined the problem properly, was not built and the appropriate model was selected, not the values of the variables and parameters are specified, it is evaluated and validated results; generally the use of APDM is conducted without an adequate methodological approach; hence, its low reliability level.

Keywords: air pollution; atmospheric pollution dispersion models; environmental management

¹ MSc. Peruano. Departamento de Física, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna-Perú. rafael.linian@gmail.com

Introducción

De acuerdo con los estudios realizados en la Unión Europea (2011a, 2011b) Estados Unidos, por US EPA (1986, 2003, 2011, Argentina (Dawidoski, Gómez y Reich, 1997) y el Banco Mundial (1988), la modelación es una herramienta necesaria para estimar los cambios en la calidad del aire local y a distancia causados por una o un conjunto de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.

Los informes de las tres regiones examinadas y del Banco Mundial reconocen la necesidad que existe, en el sector público y privado, de aplicar modelos de calidad del aire con propósitos regulatorios, políticos, de difusión pública o de investigación; para ello proponen criterios que regulan la aplicación de modelos y establecen guías para su uso, con el objetivo de proveer bases comunes para estimar la concentración de contaminantes en el aire.

Todas las guías desarrolladas examinan la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos más utilizados o que pueden aplicarse para evaluar el impacto en la calidad del aire en las cercanías a una fuente de contaminantes a escala local, urbana y regional.

Con los crecientes problemas de contaminación y el énfasis dado a las normas de calidad del aire, a partir de la década de los setenta en Estados Unidos y Europa, y en los últimos diez años en los países en vías de desarrollo, los modelos de dispersión están siendo extensamente usados en evaluaciones de impacto ambiental, así como para apoyar el establecimiento de requisitos específicos para las emisiones.

La principal diferencia entre los diversos modelos disponibles es su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Algunos de los modelos (como ISC3 y CTDMPPLUS) son denominados como *modelos preferidos* por la US EPA debido a que acreditan cumplir los criterios técnicos mínimos definidos por esa Agencia Ambiental, fueron probados en terreno y ampliamente revisados. Lo anterior no indica que un “modelo no preferido” sea menos apropiado para una determinada aplicación, pero sí que existen experiencias documentadas para los “modelos preferidos” que pueden dar mayor credibilidad al estudio. Sin embargo, tampoco el uso de un “modelo preferido” asegura que cualquier aplicación sea exitosa.

Estos modelos se desarrollaron y se usaron en países industrializados y pueden ser útiles en países en vías de desarrollo. No obstante, su uso puede requerir de una adaptación o calibración de acuerdo con la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y condiciones en las que son utilizados. Por ejemplo, los modelos de dispersión no han sido objeto de una evaluación de sus resultados en relación con registros de calidad del aire en áreas tropicales o cordilleranas.

Cristian Bustos Salas (2007), en su tesis para optar al grado de magíster en Gestión y Planificación Ambiental *Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación Impacto Ambiental: Análisis del Proceso*, demostró que la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los EIA, sometidos en Chile al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental entre los años 1997 y 2001, se llevó a cabo sin una aproximación metodológica adecuada.

De los resultados del estudio surgió la necesidad de realizar un trabajo similar en el país, para asegurar que los MDCA se apliquen de acuerdo con lo exigido en la normatividad del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), porque es necesario dotar este sistema de herramientas para asegurar la calidad de las aplicaciones de los Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos (MDCA), transparentar el mercado de la consultoría ambiental y, posiblemente, asignar responsabilidades legales para quienes participan en la preparación de Estudios de Impacto Ambiental.

Esto se justifica debido a que algunos actores han expresado sus dudas sobre la calidad de estos estudios, y los especialistas cuestionan el mal uso de los MDCA y su interpretación inapropiada en la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental. Hechos que van en contra de la normatividad ambiental del país y que de continuar esta situación, la confiabilidad de estos estudios irá en disminución; un elemento que, sin lugar a dudas, puede debilitar la eficacia del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

El objetivo general de esta investigación es determinar el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010.

La hipótesis de trabajo que se estableció fue: *El nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010, es bajo (nada aceptable).*

Finalmente, se concluye que el nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental del Perú, durante el periodo del 2005 al 2010, es bajo (nada aceptable), así se demuestra la hipótesis propuesta en esta investigación. Así mismo, se establecieron recomendaciones que coadyuven a fortalecer el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA.

Marco metodológico

Tipo y diseño de investigación

Se realizó una investigación de tipo descriptivo (Hernández, Fernández, Baptista, 2001). Para determinar la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes, se consideraron las etapas propuestas de la modelación previa (Tanji, 1994; Kiely, 1999; Chase, Aquilano, Jacobs, 2000):

- Estudio y definición del problema
- Selección o construcción del modelo
- Valores de las variables y los parámetros utilizados
- Ejecución de la modelación
- Evaluación de los resultados
- Validación de los resultados

Población y muestra

Población

Se utilizaron los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de inversión públicos, privados o mixtos, sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA, a través de las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Asuntos Ambientales Energéticos del Ministerio de Energía y Minas, y que contaban con la Resolución Directoral de aprobación en el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2005 al 31 de diciembre del 2010.

De la página web del Ministerio de Energía y Minas del Perú (2011) se lograron: el número, la ubicación geográfica, los nombres de los proyectos y las resoluciones de aprobación, lo que determinó que la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), durante el periodo objeto de la investigación, aprobara 203 proyectos de estudios de impacto ambiental.

Para los sectores eléctrico y de hidrocarburos no se encontró información disponible en la página oficial del Ministerio de Energía y Minas; la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) suministró 185 proyectos para el sector electricidad y 397 para el sector hidrocarburos.

Por lo tanto, la población fue de 785 estudios de impacto ambiental de los proyectos de inversión sometidos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA.

Muestra

La muestra es no probabilística, y para determinarla se usaron los siguientes criterios de inclusión y de exclusión:

- **Criterios de inclusión:** Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos al Sistema Nacional de Impacto

Ambiental – SEIA, que cuenten con resolución directoral de aprobación.

- **Criterios de exclusión 1:** Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos al SEIA, que no cuentan con el componente ambiental aire.
- **Criterios de exclusión 2:** Estudios de los Proyectos de Inversión sometidos al SEIA, que cuentan con el componente ambiental aire y con resolución directoral de aprobación; en ellos no se aplicaron Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

Establecidos los criterios de exclusión, se solicitaron a las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales Mineros y Energéticos del Ministerio de Energía y Minas, los estudios de Impacto Ambiental de los proyectos que consideraron el componente ambiental aire, y que aplicaron Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

Al no tener sistematizados los estudios de acuerdo con lo solicitado, se coordinó con los funcionarios de las dependencias para conseguir la documentación digital de los estudios. Se lograron:

- Diecisiete Estudios de Impacto Ambiental
- Trece de proyectos mineros
- Cuatro de centrales térmicas para generación de electricidad

Al revisarlos se excluyeron cinco estudios de los proyectos mineros que no se le habían aplicado Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Por lo tanto, la muestra de estudio estuvo conformada por doce estudios de impacto ambiental.

Técnicas e instrumentos para recolección de datos

- La documentación de los doce estudios de impacto ambiental se seleccionó y revisó haciendo énfasis en el componente ambiental aire y en los anexos que contienen la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.
- En el chequeo se utilizó *el instrumento validado denominado Lista de chequeo de la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en los EIA*, que consta de veintiséis ítems, cada uno de ellos con tres categorías:
 - Nada aceptable, 1
 - Poco aceptable, 2
 - Muy aceptable, 3 (Anexo 1)

Diseñados para medir la incidencia de las variables necesarias en una modelación, y que concuerdan con el enfoque metodológico propuesto por Tanji (1994), Kiely (1999), Chase, Aquilano y Jacobs (2000).

- En la construcción del instrumento se utilizó el método *Delphi* de estructuración de un proceso de comunicación grupal y efectivo a la hora de permitir a un grupo de

individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Se contó con la colaboración de cuatro expertos de amplia experiencia, un especialista en metodología de la investigación y tres en ciencias ambientales, quienes aportaron sus opiniones sobre cuestiones de **relevancia, coherencia, suficiencia y claridad** de cada uno de los ítems. Las estimaciones de los expertos se realizaron en rondas sucesivas, anónimas, con el objeto de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes.

- Para examinar la concordancia entre los jueces, en cada ítem se utilizó la prueba *binomial*, usando el *software* estadístico *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*, el cual se interpretó como significativo, y el grado de concordancia (*P*) arrojó un valor menor a 0,05 (Anexo 2).

Luego se procedió a realizar un análisis de fiabilidad al instrumento (Anexo 3).

Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables, las dimensiones, los indicadores y las categorías.

- **Variable de estudio:** Nivel de confiabilidad de la modelación usada en la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en los estudios de impacto ambiental
- **Definición operacional:** Incorporación de la descripción del problema, los objetivos y la metodología de la modelación utilizada para construir o seleccionar el modelo en los documentos asociados al Estudio de Impacto Ambiental.

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Dimensiones	Indicadores	Categorías		
Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los estudios de impacto ambiental	Descripción de la fuente emisora			
	Descripción de los contaminantes emitidos			
	Descripción de la zona en estudio			
	Identificación de los procesos que inciden en la dispersión de contaminantes			
	Establecimiento de objetivos de la aplicación del modelo			
Incorporación de la metodología utilizada para construir o seleccionar el modelo en los estudios de impacto ambiental	Concordancia entre el modelo y el problema en estudio y sus objetivos	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable
	Justificación del modelo construido o seleccionado			
Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los estudios de impacto ambiental	Descripción de los valores de las variables y los parámetros con los cuales será cargado el modelo	1	2	3
	Control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar el modelo			
	Identificación de la condición más Desfavorable			
Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en los estudios de impacto ambiental	Presentación y discusión de resultados			
	Análisis de sensibilidad del modelo			
	Cumplimiento de objetivos de la modelación			
Incorporación de la validación de los resultados en la aplicación del modelo	Precisión de los resultados			

Fuente: El autor (adaptado Bustos, 2004).

Resultados y discusión

Resultados de la revisión de los estudios

Características generales de la muestra

Se revisaron doce estudios de impacto ambiental:

- Siete de proyectos mineros: Pucamarca, Alto Chicama, Antamina, Antapacay, Yanacocha, Cerro Verde y Toro Mocho.
- Uno de una fundición: Funsur

- Cuatro de centrales termoeléctricas: Pampas Salinas, Santa Rosa, Chilca I y Tinku.

Los doce declararon actividades que originan emisiones de contaminantes; sin embargo, no modelaron todos sus contaminantes. Los proyectos mineros modelaron PM_{10} y los energéticos modelaron óxidos de nitrógeno (NO_x). La Tabla 2 muestra los contaminantes modelados por cada proyecto.

Tabla 2. Contaminantes modelados por cada proyecto

Contaminante	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
PM_{10}	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
$PM_{2.5}$		X										
Arsénico(As)	X	X					X					
Plomo (Pb)	X	X					X					
Mercurio (Hg)		X										
Dióxido de azufre (SO_2)		X		X			X			X		
Óxidos de nitrógeno (NO_x)		X		X			X		X	X	X	X
Monóxido de carbono (CO)				X			X			X	X	
Dióxido de carbono (CO_2)							X					
O_2							X					X
N_2							X					

Fuente: El autor a partir de la revisión de los EIA.

Resultados de la aplicación del instrumento

La aplicación del instrumento a la muestra de los doce estudios arrojó las puntuaciones que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Puntuaciones de los 26 ítems para los 12 EIA

Ítem	EIA 1	EIA 2	EIA 3	EIA 4	EIA 5	EIA 6	EIA 7	EIA 8	EIA 9	EIA 10	EIA 11	EIA 12
1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2
2	1	2	2	3	3	2	3	1	3	3	3	3
3	1	2	3	2	2	1	3	1	3	3	3	3
4	2	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	2
5	2	3	2	3	3	2	1	2	2	2	3	3
6	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3
7	3	3	2	3	3	1	3	2	2	2	3	1
8	2	2	2	2	2	1	1	2	3	3	2	1
9	1	1	1	1	1	1	3	1	3	3	3	3
10	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2
11	1	3	1	2	2	3	1	3	1	2	2	2
12	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
13	1	3	1	1	3	2	1	2	2	2	2	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
15	3	2	1	1	3	2	2	3	1	2	1	1
16	1	2	1	1	2	3	1	2	2	3	2	1
17	2	3	2	3	3	3	2	3	2	2	1	2
18	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
19	1	3	1	3	2	3	1	2	1	3	2	2
20	1	3	1	3	2	3	2	2	2	3	2	1
21	1	2	1	2	2	3	2	3	2	3	2	2
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2	1	2	2	3	3	3	2	2	3	3	1
24	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	2	1	2	1	1	1	3	1	2	2	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Fuente: El autor a partir de la revisión de los EIA.

Resultados de la aplicación de la Prueba Binomial para cada dimensión

En la aplicación de la prueba binomial se usó el *software* estadístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) para definir las escalas correspondientes; en cada dimensión se establecieron los puntos de corte.

Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación

De los veintiséis ítems que contenía la lista de chequeo, la dimensión tenía diecisiete. Los puntos de corte establecidos fueron:

- 17 - 34 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 35 - 44 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 45 - 51 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los doce EIA se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 1.

Tabla 4. Resultados para la dimensión incorporación de la descripción del problema y objetivos de la modelación

	Nº	%
Nada aceptable	6	50
Poco aceptable	6	50
Muy aceptable	0	0
Total	12	100

Fuente: El autor.

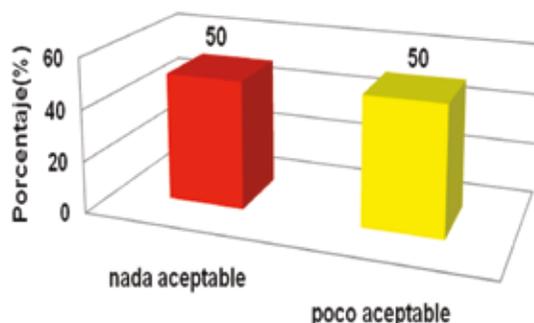


Figura 1. Categorías (%) para la dimensión incorporación de la descripción del problema y objetivos de la modelación

Interpretación

La Tabla 4 y la Figura 1 muestran que seis de un total de doce EIA, es decir, el 50% del total, califican como nada aceptable, y el mismo número o porcentaje se obtuvo para poco aceptable; mientras que ningún EIA calificó en la categoría muy aceptable. Esto indica que, no obstante esta dimensión es la más importante por su número de ítems y por el cumplimiento elemental exigible, no existe EIA que califique con un puntaje aprobatorio.

Incorporación de la metodología usada para la selección y la construcción del modelo

En ésta se consideraron dos ítems de los veintiséis que contiene la lista de chequeo, y se establecieron los siguientes puntos de corte:

- 2,0 - 4,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 4,1 - 5,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 5,1 - 6,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los doce EIA se presentan en la Tabla 5 y en la Figura 2.

Tabla 5. Resultados para la dimensión incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	0	0
Muy aceptable	1	8,33
Total	12	100

Fuente: El autor.

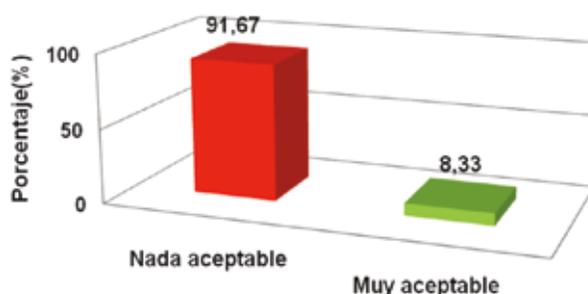


Figura 2. Categorías (%) de la incorporación de la metodología usada para la selección y construcción del modelo

Interpretación

La Tabla 5 y la Figura 2 muestran que once de un total de doce EIA (el 91,67% del total) califica como *nada aceptable*, y uno (el 8,33%) de los EIA calificó en la categoría *muy aceptable*. Esto significa que la gran mayoría de los EIA, aproximadamente el 92%, **no ha cumplido con incorporar una metodología para la selección y la construcción del modelo**; en contraste, solo el 8,33% lo cumplió.

Incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros

Esta dimensión considera tres de los veintiséis ítems que contiene la lista de chequeo, y se establecieron los siguientes puntos de corte:

- 3,0 - 6,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 6,1 - 8,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 8,1 - 9,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los doce EIA se resumen en la Tabla 6 y en la Figura 3.

Tabla 6. Resultados para la dimensión incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros

	Nº	%
Nada aceptable	10	83,33
Poco aceptable	2	16,67
Muy aceptable	0	0
Total	12	100

Fuente: El autor.

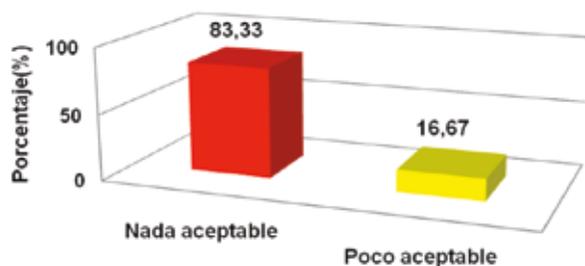


Figura 3. Categorías (%) para la incorporación del análisis de los valores de las variables y los parámetros

Interpretación

La Tabla 6 y la Figura 3 muestran que diez de un total de doce EIA (83,33% del total) resultó ser *nada aceptable*, y dos (el 16,67%) fue *poco aceptable*. Esto significa que el total de los EIA no ha descrito los valores de las variables y los parámetros con los que se cargó el modelo, ni se ha realizado un control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar al modelo; más aún, no se realizó la identificación de la condición más desfavorable de la calidad del aire.

- **Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo**

Esta dimensión considera tres ítems de los veintiséis que contiene la lista de chequeo, y se consideraron los siguientes puntos de corte:

- 3,0 - 6,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 6,1 - 8,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 8,1 - 9,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los doce EIA se presentan en la Tabla 7 y en la Figura 4.

Tabla 7. Resultados para la dimensión incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100

Fuente: El autor.

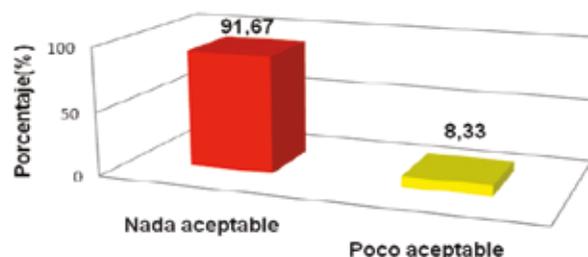


Figura 4. Categorías (%) para la incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo

Interpretación

La Tabla 7 y la Figura 4 muestran que once de un total de doce EIA (91,67% del total) resultó ser nada aceptable, y solo uno (el 8,33%) fue poco aceptable. Esto significa que la gran mayoría, aproximadamente el 92%, no ha presentado ni discutido los resultados, ni realizó un análisis de sensibilidad del modelo; más aún, no realizó la verificación del cumplimiento de los objetivos de modelación.

- **Incorporación de la validación de los resultados**

De los veintiséis ítems que contenía la lista de chequeo, esta dimensión consideró uno, y se establecieron los siguientes puntos de corte:

- 0,0 - 1,0 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 1,1 - 2,0 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 2,1 - 3,0 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados de la calificación de los doce EIA se presentan en la Tabla 8 y la Figura 5.

Tabla 8. Resultados para la dimensión incorporación de la validación de los resultados

	Nº	%
Nada aceptable	11	91,67
Poco aceptable	1	8,33
Muy aceptable	0	0
Total	12	100

Fuente: El autor.

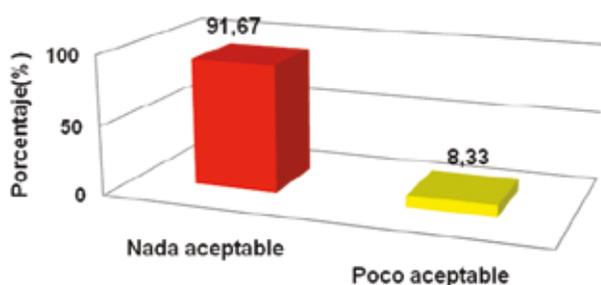


Figura 5. Categorías (%) para la incorporación de la validación de los resultados

Interpretación

La Tabla 8 y la Figura 5 muestran que once de un total de doce EIA (el 91,67% del total) califican como *nada aceptable*, y uno (el 8,33%) de los EIA calificó en la categoría *poco aceptable*. Esto significa que todos los EIA *no han presentado ni discutido el grado de precisión de los resultados*, ni han realizado alguna verificación o comprobación de los resultados de la aplicación del modelo, a pesar de que en algunos de ellos existía la información suficiente como para evaluar la certeza de la herramienta, por ejemplo comparando los resultados del modelo con monitoreo de la calidad del aire y datos de emisión ya disponibles de la zona en estudio.

- **Resultados de la aplicación de la Prueba Binomial en forma general para todos los ítems**

La prueba binomial se aplicó a los veintiséis ítems que contiene la lista de chequeo, y se establecieron los siguientes puntos de corte para las tres escalas:

- 26 - 52 puntos = nivel bajo (nada aceptable)
- 53 - 71 puntos = nivel medio (poco aceptable)
- 72 - 78 puntos = nivel alto (muy aceptable)

Los resultados se presentan en la Tabla 9 y en la Figura 6.

Tabla 9. Resultado de la aplicación del instrumento en los 12 EIA

	Nº	%
Nada aceptable	9	75,00
Poco aceptable	3	25,00
Muy aceptable	0	0
Total	12	100

Fuente: Elaboración propia

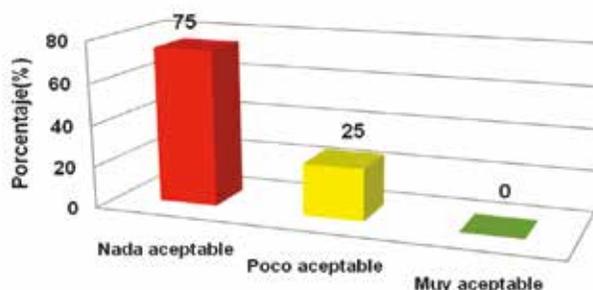


Figura 6. Resultado general (%) de la aplicación del instrumento en los doce EIA

Interpretación

La Tabla 9 y la Figura 6 muestran que 9 (el 75 % de los EIA) resultan ser *nada aceptable (nivel de confiabilidad bajo)*, y tres (el 25%) resultó *poco aceptable (nivel de confiabilidad medio)*, *este resultado es concordante con los obtenidos para las cinco dimensiones, donde todos, excepto un estudio, caen en las categorías de nada aceptable o poco aceptable*. Esto significa que los Estudios de Impacto Ambiental, en lo referente a la aplicación de MDCA, **no son confiables**.

Conclusiones

La discusión de los resultados permitió concluir que la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental, *ha considerado la etapa de estudio y definición del problema* con un nivel bajo, entre otras razones porque no se estableció la definición de los objetivos para la aplicación del modelo.

En la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental *no se ha construido o seleccionado un modelo* de acuerdo con las características del proyecto; todos los estudios evaluados usaron modelos conocidos de la US EPA, sin tomar en cuenta algún criterio para la elección.

En la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental no se consideró la etapa de especificación de valores de variables y parámetros.

La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental no ha considerado la etapa de análisis de los resultados.

La aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental no ha considerado la etapa de validación de los resultados.

En general, la aplicación de Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en los Estudios de Impacto Ambiental no ha considerado un enfoque metodológico apropiado para estas herramientas de análisis. Los resultados demuestran la hipótesis respecto a que *el nivel de confiabilidad es bajo*.

Referencias

- BUSTOS, C. Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación de Impacto Ambiental: Análisis del Proceso. Santiago de Chile. 2004. Tesis para optar al grado de magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile.
- CHASE, R. AQUILANO, N., JACOBS, R. Administración de producción y operaciones. Madrid: McGraw-Hill, 2000.
- DAWIDOSKI, L., GÓMEZ, D., REICH, S. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental atmosférico. CNEAA. Buenos Aires, septiembre, 1997.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Informe de la European Environment Agency. 1999a [en línea] < <http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-028-6> > [Citado en 22 de julio de 2011].
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Review on requirements for models and model application. 1999b [en línea] < http://www.eea.europa.eu/publications/topic_report_1996_18 > [Citado en 22 de julio de 2011].
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, L. Fundamentos de la metodología de la Investigación. México: McGraw Hill, 2007.
- KIELY, G. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: McGraw-Hill, 1999. 1330 p.
- KUPERMINTZ H. On de reliability of categorically scored examinations. J Educ Meas. 41:193-2005. Citado por CAMPO-ARIAS A. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. 2004, [en línea] Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/806/80634409.pdf> [Citado en 13 de mayo de 2011].
- PERÚ, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Certificaciones ambientales aprobadas 2005-2010. PERÚ-MINEM. 2011, [en línea] < http://intranet2.minem.gob.pe/web/dgaam/certificado_EIAS_new.asp > [Citado en 26 de mayo de 2011].
- TANJI, K. K. Hydrochemical modeling, Class Notes, Land, Air and Water Resources, University of California at Davis. 1994.
- US EPA. Guideline on air quality model, Revised, EPA-450/2-78-072R). Research Triangle Park, North Carolina. 1986.
- US EPA. Revision to the guideline on air quality models: Adoption of a preferred long range transport model and other revisions. EPA 40CFR Part 51. 2003a
- US EPA. Support center for regulatory air models. 2003b [En línea] < <http://www.epa.gov/scram001/> > [Última consulta 16 de junio de 2011]
- WORLD BANK GROUP. Airshed models. En: Pollution prevention and abatement handbook, July 1998.

Anexo 1. Instrumento validado o Lista de chequeo

Dimensión	Indicador	Ítems						
Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los Estudios de Impacto Ambiental	Descripción de la fuente emisora	1. ¿Se ha descrito el tipo de fuente? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable				
		1	2	3				
		2. ¿Se ha descrito la ubicación de la fuente? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable				
	1	2	3					
	3. ¿Se ha descrito la altura de la fuente sobre el nivel del terreno? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
	4. ¿Se ha descrito el punto de descarga? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
5. ¿Se ha descrito el régimen de operación? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Descripción de los contaminantes emitidos	6. ¿Se han descrito e identificado los contaminantes emitidos? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
	7. ¿Se ha descrito la tasa de emisión? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
8. ¿Se ha descrito el caudal de emisión? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
9. ¿Se ha descrito la temperatura de emisión? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Descripción de la zona en estudio	10. ¿Se ha descrito la meteorología de la zona? <table border="1"> <tr> <td>Nada aceptable</td> <td>Poco aceptable</td> <td>Muy aceptable</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
1	2	3						

Continúa en la página 121

Viene de la página 120

Incorporación de la descripción del problema y los objetivos de la modelación en los Estudios de Impacto Ambiental	Descripción de la zona en estudio	11. ¿Se ha descrito la topografía de la zona?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
		1	2	3					
		12. ¿Se ha descrito el uso del suelo?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
		Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
		1	2	3					
13. ¿Se ha descrito la calidad anual del aire?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
14. ¿Se ha descrito la presencia de edificaciones de altura?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
15. ¿Se ha descrito la presencia de receptores críticos en la zona?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3		
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
Identificación de los procesos que inciden en la dispersión de contaminantes	16. ¿Se identifican los procesos que resultan relevantes en la dispersión de los contaminantes en estudio?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
Establecimiento de los objetivos de la aplicación del modelo	17. ¿Se establecen los objetivos de la aplicación del modelo?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
Incorporación de la metodología usada para construir o seleccionar el modelo en los estudios de impacto ambiental	Concordancia del modelo con el problema en estudio y sus objetivos	18. ¿Se ha descrito la metodología para construir o seleccionar un modelo acorde con las características del problema en estudio y sus objetivos?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3							
Justificación del modelo construido o seleccionado	19. ¿Se ha justificado el modelo construido o seleccionado?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							
Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los Estudios de Impacto Ambiental	Descripción de los valores de las variables y parámetros con los que será cargado el modelo	20. ¿Se han descrito los valores de las variables y parámetros con los cuales se realizará la modelación?	<table border="1"><tr><td>Nada aceptable</td><td>Poco aceptable</td><td>Muy aceptable</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable							
1	2	3							

Continúa en la página 122

Viene de la página 121

Incorporación del análisis de los valores que toman las variables y los parámetros del modelo en los Estudios de Impacto Ambiental	Control cualitativo y cuantitativo de la información necesaria para aplicar el modelo	21. ¿Se ha identificado y proporcionado al modelo información en la cantidad y calidad requerida? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
1	2	3						
Identificación de la condición más desfavorable	22. ¿Se han identificado los valores que pueden tomar las variables y parámetros del modelo para provocar la condición más desfavorable sobre la calidad del aire? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Incorporación del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en los estudios de impacto ambiental	Presentación y discusión de resultados	23. ¿Se han presentado y analizado los resultados del modelo, así como las conclusiones que se pueden tomar a partir de estos? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable					
	1	2	3					
Análisis de sensibilidad del modelo	24. ¿Se ha discutido y cuantificado la sensibilidad del modelo a posibles variaciones en los valores utilizados para las variables y parámetros durante la modelación? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Cumplimiento de objetivos de la modelación	25. ¿Se ha verificado si la aplicación cumple con los objetivos inicialmente propuestos? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3	
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						
Incorporación de la validación de los resultados en la aplicación del modelo en los EIA	Precisión de los resultados	26. ¿Se ha presentado o discutido el grado de precisión de los resultados del modelo? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nada aceptable</th> <th>Poco aceptable</th> <th>Muy aceptable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable	1	2	3
Nada aceptable	Poco aceptable	Muy aceptable						
1	2	3						

Anexo 2: Validez del cuestionario (Prueba de expertos)

Prueba Binomial					
Ítems	N° de juez				P
	1	2	3	4	
1	0	1	1	0	1,000*
2	0	1	0	0	0,289*
3	1	1	1	0	0,289*
4	1	1	0	0	1,000*
5	1	1	0	0	1,000*
6	1	1	0	1	0,289*
7	1	1	0	0	1,000*
8	1	0	0	0	0,289*
9	1	0	0	0	0,289*
10	1	1	1	1	0,008
11	1	1	0	0	1,000*
12	1	1	1	0	0,289*
13	1	0	1	0	1,000*
14	1	1	0	0	1,000*
15	1	1	1	1	0,008
16	1	1	1	1	0,008
17	1	1	0	1	0,289*
18	1	1	0	1	0,289*
19	1	1	0	1	0,289*
20	1	1	1	1	0,008
21	1	1	0	0	1,000*
22	1	1	1	0	0,289*
23	1	1	0	0	1,000*
24	1	1	0	1	0,289*
25	1	1	0	1	0,289*
26	1	1	0	1	0,289*

Interpretación

Se ha considerado:

- 0: Si la respuesta es negativa
- 1: Si la respuesta es positiva

Decisión: Si la P es menor o igual a 0,05, el grado de concordancia es significativo.

(*) Las observaciones y sugerencias para estos ítems, fueron consideradas y modificadas en la versión del cuestionario final.

Anexo 3. Análisis de fiabilidad

La confiabilidad se define como el grado en que un instrumento de varios ítems mide consistentemente una muestra de la población. El coeficiente de confiabilidad se expresa con la letra r, e indica la fuerza de la asociación. El valor r varía entre -1 y +1, un valor 0 indica que no existe relación entre los dos puntajes, mientras que un valor cercano a -1 y +1 indica una relación muy cercana, negativa o positiva, respectivamente. Un valor positivo indica que las personas con puntaje alto en una primera aplicación de la escala, también puntuarán alto durante la segunda ocasión. Una confiabilidad negativa indica un error de cálculo o una inconsistencia de la escala.

La confiabilidad del instrumento se determinó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach (α), cuya ecuación es la siguiente:

$$\alpha = \frac{K(COV / VAR)}{1 + (k - 1)(COV / VAR)}$$

Donde:

K= Número de ítems

COV= Media de las covarianzas de los ítems

VAR= Media de las varianzas de los ítems

Resultados:

Confiabilidad para el cuestionario (26 ítems)

$$\alpha = \frac{K(COV / VAR)}{1 + (k - 1)(COV / VAR)}$$

$$\alpha = 0,718$$

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	Nº de elementos
0,718	0,736	25*

*El ítem 22 no se comprendió en el análisis por presentar una varianza 0.

Estadísticos de resumen de los elementos

	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Máximo/mínimo	Varianza	Nº de elementos
Medias de los elementos	1,940	1,083	2,667	1,583	2,462	0,221	25
Varianzas de los elementos	0,485	0,083	1,061	0,977	12,727	0,046	25
Covarianzas inter-elementos	0,045	-0,500	0,682	1,182	-1,364	0,028	25

Interpretación

El valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,70; por debajo de este valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Por su parte, el valor máximo esperado es de 0,90; por encima de ese valor se considera que hay redundancia o duplicación. Usualmente se prefieren valores de alfa entre 0,80 y 0,90.

Conclusión

El cuestionario con veintiséis ítems es fiable, ya que el valor alfa de Cronbach para el total de la escala es de 0,718; lo que evidencia una alta consistencia interna, y por tanto, una buena homogeneidad de la escala.