



Funciones de Transformación para Evaluar Impactos Ambientales relacionados con Calidad del Aire, Calidad del Agua, Erosión del Suelo, Vegetación Terrestre y Diversidad de Especies

Joaquín Benítez¹, Daniel Guitián², Cesar Marín, Antonieta Melone, Patricia Pereira y Debbie Méndez.

¹jbenitez@ucab.edu.ve y ²guitiandaniel@gmail.com

Postgrado de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

Historial del artículo

Recibido: 20 de marzo de 2019

Aceptado: 10 de septiembre de 2019

Disponible online: 12 de septiembre de 2019

Resumen: El Postgrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica Andrés Bello, bajo la dirección del Prof. Joaquín Benítez ha establecido como una de sus líneas de investigación el desarrollo de funciones de transformación para valorar impactos ambientales en Venezuela. En la actualidad cuenta con una metodología de trabajo para lograrlo y funciones propias para cinco (5) factores ambientales: 1) partículas totales suspendidas en el aire, 2) índice de calidad de agua, 3) erosión del suelo, 4) pérdida de vegetación terrestre y 5) diversidad de especies. Dichas funciones fueron diseñadas a partir de información suministrada por expertos, utilizando la técnica Delphi como herramienta de consenso en la modalidad de envío de cuestionarios. Las funciones de transformación obtenidas para relacionar las partículas totales suspendidas, erosión del suelo y pérdida de vegetación terrestre con la calidad ambiental presentaron curvas no lineales y decrecientes, mientras las funciones de transformación para el índice de calidad de agua y diversidad de especies presentaron curvas con crecimientos positivos; directamente proporcional para calidad de agua y lineales a parabólicas de acuerdo al tipo de comunidad biótica para diversidad de especies.

Palabras Clave: Funciones de Transformación, calidad del aire, calidad del agua, erosión, vegetación, diversidad de especies.

Abstract: The Environmental Engineering Postgrad at the Andrés Bello Catholic University, under the direction of Professor Joaquín Benítez, has established as one of its lines of research the development of transformation functions to assess environmental impacts in Venezuela. Currently counts with a methodology of work that allows to achieve it and proper functions for five (5) environmental factors: 1) total particles suspended in the air, 2) water quality index, 3) soil erosion, 4) loss of terrestrial vegetation and 5) diversity of species. These functions were designed based on information provided by experts, using the Delphi technique as a consensus tool in the form of sending questionnaires. The transformation functions obtained to relate the total suspended particles, soil erosion and loss of terrestrial vegetation with environmental quality presented non-linear and decreasing curves, while the transformation functions for the water quality index and species diversity presented curves with positive growth, directly proportional to water quality and linear to parabolic according to the type of biotic community for species diversity.

Keywords: Transformation functions, air quality, water quality, erosion, vegetation, species diversity.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo establecido en el artículo 129 de la Constitución [1], toda actividad capaz de afectar el ambiente requerirá la autorización de la autoridad nacional ambiental, previa aprobación de un estudio de impacto ambiental y sociocultural, los cuales representan instrumentos de gestión que permiten incorporar la variable ambiental en el diseño de políticas, programas, planes y proyectos de desarrollo.

Dichos estudios buscan predecir los efectos del desarrollo de una actividad sobre los diferentes componentes del ambiente natural y social (Decreto N° 1257) [2]. Generalmente están constituidas por la predicción y valoración de impactos ambientales y la proposición de medidas de mitigación [3]. En tal sentido, estos estudios determinan la magnitud de los impactos potenciales de un proyecto, obra o actividad [4], lo cual permite a las autoridades planificar las actuaciones y toma de decisiones [5].

La predicción de impactos ambientales se obtiene a partir de la comparación entre la situación real del ambiente sin proyecto, con la situación simulada de ese mismo ambiente con proyecto [6] y para su valoración se utilizan metodologías multicriterio que incluyen funciones de transformación para relacionar la magnitud del factor ambiental con la calidad ambiental [4]. Estas funciones o curvas de calidad, permiten homogeneizar las diferentes unidades de medida de los indicadores afectados por cada proyecto o actividad objeto del estudio de impacto ambiental y sociocultural, y expresarlas en unidades abstractas de valor ambiental [7].

Para lograr mayor precisión y confiabilidad, la función de transformación debe considerar las características locales del indicador y su entorno ambiental. Así como la percepción socio - cultural y normativa legal del país donde se aplique. En Venezuela, el postgrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica Andrés Bello, bajo la dirección del Prof. Joaquín Benítez ha establecido como una de sus líneas de investigación el desarrollo de funciones de transformación adaptadas a las condiciones ambientales y normativa legal del país, y ya se cuenta con una metodología de trabajo para lograrlo y funciones propias para cinco (5) factores ambientales:

- 1) Marín en 2006, estableció las bases metodológicas que permiten desarrollar una curva de calidad ambiental para partículas totales suspendidas (PTS) en el Aire [8].
- 2) Melone en 2007, elaboró una función de transformación para la pérdida de vegetación terrestre [9].
- 3) Pererira en 2007, propuso una función de transformación para evaluar impactos ambientales relacionados con el factor erosión de suelo producido por fenómenos hidráulicos [10].

4) Méndez en 2009, desarrolló una función de transformación que relaciona la calidad ambiental con el índice de calidad de agua [11]

5) Guitian en 2018, diseñó una función de transformación para valorar impactos sobre la diversidad de especies en distintos tipos de comunidades bióticas de Venezuela [12].

El presente artículo, describe la metodología empleada para el diseño de las funciones de transformación y los resultados obtenidos en los cinco (5) estudios.

II. METODOLOGÍA

El procedimiento para construir funciones de transformación recomienda la utilización de la técnica Delphi, la cual consiste en un método de consulta a expertos para concertar la opinión sobre la transformación de valores obtenidos científicamente a valores de calidad ambiental. Esta metodología conlleva a obtener información de los que más saben sobre un tema en particular a través de encuestas, permitiendo la retroalimentación y por lo tanto la reconsideración de opinión hasta alcanzar el consenso.

La consulta a expertos ofrece una información más contrastada que si únicamente se consultara a una persona, y siempre es más difícil que un grupo pueda olvidar algo que pudiera ser importante. Es por esto que se recurre al método Delphi como técnica de consenso, asumiendo que el juicio colectivo es distinto al individual y muchas veces más preciso, dando una visión más cercana a la realidad, disminuyendo de esa manera la subjetividad inherente al método.

La esencia de la técnica es bastante sencilla, comprende el envío de una serie de cuestionarios diseñados para obtener y desarrollar respuestas individuales de un grupo seleccionados de expertos a un problema específico. Al enterárseles de los resultados de la ronda inmediatamente anterior, se permite a los expertos en cualquier etapa del estudio, replantear sus puntos de vista, a fin de generar convergencia de opiniones tomando en cuenta el conjunto de las respuestas de los participantes del estudio.

En las presentes investigaciones se siguió la estructura básica del método Delphi, a través de la siguiente secuencia de pasos:

- 1) Selección de parámetros ambientales y escalas de valor para el diseño del primer cuestionario.
- 2) Selección de expertos y envío del primer cuestionario.
- 3) Procesamiento estadístico de la información recibida por los especialistas y envío del segundo cuestionario con los resultados de la primera ronda.
- 4) Análisis e interpretación de los datos.
- 5) Construcción de las curvas de calidad ambiental.

6) Validación de la curva en un estudio de impacto ambiental.

La técnica Delphi plantea que en la primera ronda de encuesta puede existir cierta dispersión en las respuestas de los expertos, pero a medida que avanza el proceso de retroalimentación, y al disponer de la estadística y las opiniones de la primera ronda, la dispersión en las respuestas tiende a disminuir y alcanzar un mayor grado de consenso [13]. Para favorecer el grado de consenso en cada ronda, se utilizó la mediana como medidas de tendencia central, y la desviación intercuartílica (RIC) como medida de dispersión.

La información que se presentó a los expertos en la segunda ronda incluyó el grado de consenso alcanzado en los resultados del primer cuestionario, mediante un análisis estadístico comparativo de sus resultados con la mediana y la dispersión respecto al resto del panel.

Los cuestionarios presentaron dos grupos de preguntas: las primeras orientadas a identificar y valorar distintos parámetros que permitieran relacionar el factor ambiental con la calidad ambiental y las segundas dirigidas a valorar la calidad ambiental a partir del efecto que tienen las variaciones del factor ambiental sobre los parámetros considerados en las primeras preguntas.

III. RESULTADOS

Para elaborar las curvas de transformación se tomaron los resultados obtenidos en el segundo cuestionario, los cuales representaron el logro del consenso entre las puntuaciones dadas por los paneles de expertos. La integración de las dos (2) preguntas del cuestionario se realizó mediante la multiplicación de cada una de las medianas de calidad ambiental obtenidas en la segunda pregunta por el porcentaje de importancia de los parámetros resultantes de la primera pregunta. A continuación, se presentan las funciones de transformación resultantes en las cinco (5) investigaciones en orden cronológico.

1.- Función de Transformación para Partículas Totales Suspendidas.

La Función de transformación para partículas totales suspendidas (PTS) propuesta por Marín [8] (Figura 1), consideró parámetros relacionados con la salud, vegetación, visibilidad y materiales, bajo las condiciones ambientales de Venezuela y tomando en cuenta la normativa legal vigente para PTS (Decreto 638) [14].

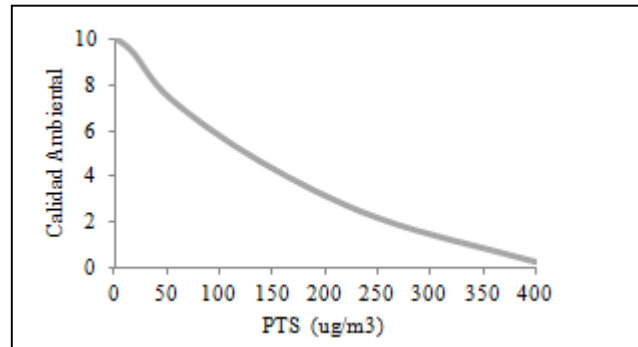


Figura 1: Función de Transformación para Partículas Totales Suspendidas. Fuente: Marín [8]

Marín (2006) [8] comparó la curva obtenida con las reportadas por Gómez Orea [15] en España, Dee [16] del Instituto Battelle para Estados Unidos y Mendoza Puga [17] en España. Todas corresponden a una función no lineal decreciente, con diferencias a concentraciones bajas y medias y comportamiento muy similar a concentraciones altas del indicador.

Adicionalmente, Marín [8] estableció las bases metodológicas para el diseño de las funciones de transformación que se presentan a continuación.

2.- Función de Transformación para la pérdida de vegetación terrestre.

Melone [9], consideró 8 factores ambientales que relacionan su grado de afectación con la pérdida de vegetación natural terrestre, éstos fueron diversidad biológica, fauna silvestre, cuerpos de agua, suelo, microclima, calidad del aire, paisaje y valor económico vegetal; aunque todos fueron aceptados por los especialistas participantes, los resultados obtenidos señalan la contribución de la diversidad biológica y la fauna silvestre con el 40% del ponderado total; mientras que calidad del aire, paisaje y valor económico vegetal fueron los menos importante en su aporte en el medio integrado.

La forma resultante de la curva de calidad ambiental fue la esperada para un factor ambiental indeseable y como lo señala Garmendia [7], su pendiente es negativa y disminuye con la magnitud del impacto. Fueron construidas tres funciones de valor para diferentes grados de intervención que relacionan la pérdida de vegetación según el grado de intervención que presenta el lugar (Figura 2): sin intervención, intervención moderada e intervención fuerte.

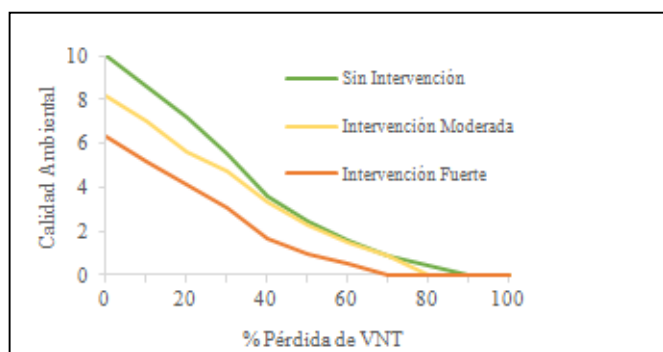


Figura 2: Función de Transformación para Pérdida de Vegetación Terrestre. Fuente: Garmendia [7]

3.- Función de Transformación para erosión de suelos producido por fenómenos hidráulicos.

En el diseño de esta función, Pereira [10] consideró 6 parámetros ambientales: afectación de actividades productiva, cuerpos de agua, vegetación, paisaje, fauna y clima, aunque todos fueron aceptados por los especialistas participantes, de los resultados obtenidos, se puede observar que la afectación de las actividades productivas y los cursos de agua obtuvieron el 60% del peso dentro total de los parámetros siendo el clima el considerado menos importante en cuanto a su aporte en el medio integrado.

La curva obtenida (Figura 3) fue no lineal y de pendiente negativa; además presenta por lo menos tres puntos de inflexión, dividiendo la curva en cuatro partes, en cada uno de esos puntos la pendiente se empieza a suavizar hasta ser casi constante a partir de los 100 Mg/ha/año de pérdida de suelo.

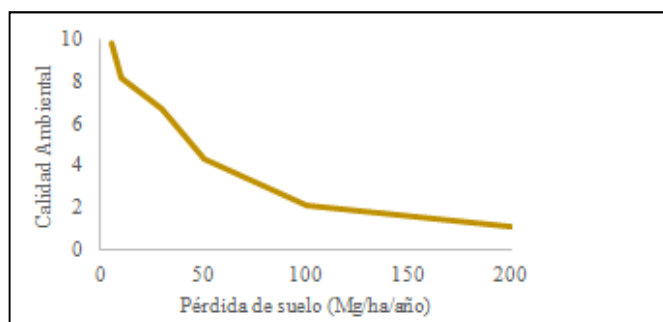


Figura 3: Función de Transformación para Erosión de Suelos. Fuente: Pereira [10]

Al comparar la curva de calidad ambiental obtenida en este trabajo, con las reportadas por Gómez Orea [15] y Conesa [4], se observan como todas corresponden a una función no lineal decreciente donde el valor máximo de pérdidas de suelo propuesto en este trabajo es 10 veces superior al indicado por dichos autores. Por lo que éstas últimas son mas restrictivas en el momento de valorar el impacto con respecto a la propuesta en este trabajo.

4.- Función de Transformación para el Índice de Calidad de Agua.

Para el cálculo del índice de calidad de agua, Méndez [11] requirió elaborar 10 funciones de transformación de parámetros relacionados con este índice: pH, oxígeno disuelto, coliformes totales, nitritos -nitratos, solidos disueltos, fenoles, cloruros, biocidas organoclorados, aceites minerales y plomo total.

Las curvas de calidad ambiental obtenidas cumplieron con las tendencias referidas en la bibliografía: pH con campana centrada, oxígeno disuelto y fenoles con tendencia positiva, coliformes totales, nitritos -nitratos, solidos disueltos, cloruros, organoclorados, aceites minerales y plomo con tendencias y plomo con tendencias de crecimiento negativo. A partir de estas curvas se construyó la función de transformación del índice de calidad de agua vs calidad ambiental (Figura 4), la cual presenta un crecimiento positivo y directamente proporcional.

De acuerdo a la investigación realizada los expertos consideran que la mayor calidad ambiental se encuentran en valores: a) mayores a 5 mg/l de oxígeno disuelto; b) menores a 500 NMP por 100 ml de coliformes totales; c) menores a 8 mg/l de nitritos – nitratos; d) menores de 100 mg/l para solidos disueltos totales; e) menores de 0,3 mg/l para aceites minerales; i) menores de 0,02 mg/l de plomo total; j) entre 6 y 9 para valores de pH. Lo que indica, además, que todos los parámetros estudiados se encuentran dentro de los rangos aceptables del Decreto 883 [18] para la clasificación de aguas tipo I.

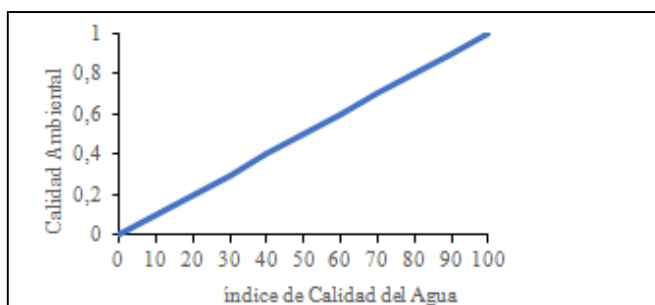


Figura 4: Función de Transformación para el Índice de Calidad del Agua. Fuente: Méndez [11]

5.- Función de Transformación para Diversidad de Especies.

La función de transformación para valorar impactos sobre la diversidad de especies propuesta por Guitian [12], consideró 6 parámetros: complejidad de la comunidad, dinámica sucesional, especies relevantes, flujo de materia y energía, ciclo de nutrientes y acumulación de carbono. Así como 8 tipos de comunidades bióticas de Venezuela: bosques siempreverdes *per se*, bosques nublados, bosques deciduos, arbustales espinosos, herbazales, morichales, manglares y arrecifes de coral.

Las funciones de transformación obtenidas a partir del consenso de los expertos presentaron curvas con tendencias lineales a parabólicas y un incremento positivo de la calidad ambiental respecto al número de especies. Sin embargo, se obtuvieron diferencias en la pendiente y forma de las curvas de acuerdo al tipo de comunidad biótica (Figura 5).

Las curvas asociadas a los bosques deciduos, bosques siempreverdes, bosques nublados y arrecifes de coral presentan una mayor linealidad en la relación entre el número de especies y la calidad ambiental, mientras las curvas correspondientes a los arbustales, herbazales, morichales y manglares presentan un rápido crecimiento al pasar de 0 a 40 especies y un lento crecimiento para valores mayores de riqueza. Todas las curvas alcanzan valores máximos de calidad ambiental al llegar a 200 especies, con excepción de las curvas de arbustales y herbazales, las cuales alcanzaron su máxima valoración de calidad ambiental con 160 especies.

Las curvas obtenidas coinciden con la función reportada por Conesa [4] en cuanto a la relación positiva entre el número de especies y la calidad ambiental, sin embargo, los rangos de número de especies utilizados en la curva propuesta por Conesa fueron menores debido a que se diseñó para países con menor diversidad.

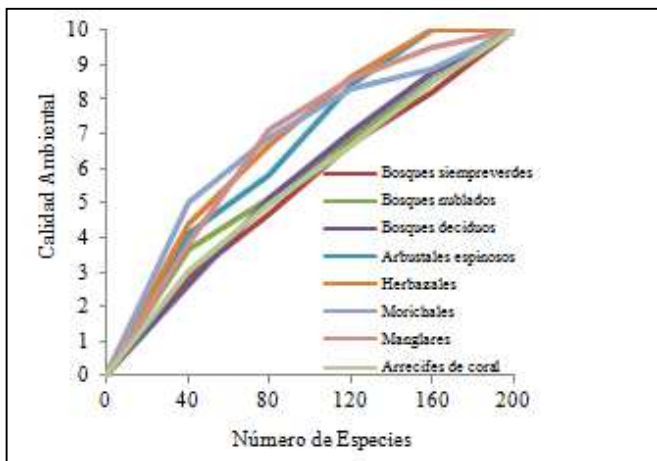


Figura 5: Función de Transformación para Diversidad de Especies. Fuente: Guitian [12]

Por último, es importante destacar que las Funciones de Transformación presentadas en este artículo fueron aplicadas y validadas en estudios reales.

IV. CONCLUSIONES

- La aplicación del método Delphi permitió lograr el consenso de los especialistas respecto a los parámetros y la relación matemática entre los cinco factores ambientales estudiados y la calidad ambiental.

- La función de transformación obtenida para relacionar las partículas totales suspendidas con la calidad ambiental presentó una curva no lineal decreciente con diferencias a concentraciones bajas y comportamiento similar a concentraciones altas del indicador.
- La función de transformación para pérdida de vegetación terrestre presentó una curva no lineal decreciente cuyo valor inicial de calidad ambiental depende del grado de intervención de la vegetación.
- La función de transformación para erosión de suelos fue no lineal y de pendiente negativa, con una reducción gradual de la pendiente, hasta ser casi constante al alcanzar los 100 Mg/ha/año de pérdida de suelo.
- Las curvas de calidad ambiental obtenidas para calidad de agua cumplieron con las tendencias referidas en la bibliografía: pH con campana centrada, oxígeno disuelto y fenoles con tendencia positiva, coliformes totales, nitritos - nitratos, sólidos disueltos, cloruros, organoclorados, aceites minerales y plomo con tendencias de crecimiento negativo. A partir de estas curvas se construyó la función de transformación del índice de calidad de agua vs calidad ambiental, la cual presentó un crecimiento positivo y directamente proporcional.
- Las funciones de transformación obtenidas para relacionar la diversidad de especies con la calidad ambiental presentaron curvas positivas con tendencias lineales para bosques deciduos, bosques siempreverdes, bosques nublados y arrecifes de coral y parabólicas para arbustales, herbazales, morichales y manglares.

V. RECOMENDACIONES

- El método Delphi como herramienta de consenso en la modalidad de envío de cuestionarios resultó idóneo para la construcción de las curvas de calidad ambiental, sin embargo, a partir de las experiencias de la presente línea de investigación es posible realizar algunas recomendaciones para mejorar la participación de los especialistas: 1) realizar una reunión inicial para intercambiar expectativas, presentar las posibles preguntas y acordar los tiempos de entrega 2) mantener una constante comunicación entre la primera y la segunda ronda de encuestas y 3) evitar cuestionarios muy densos y largos.
- Considerando que el principal objetivo de las funciones de transformación es homogeneizar las diferentes unidades de medida de los

factores afectados por cada proyecto objeto del estudio de impacto ambiental y que en Venezuela hasta la fecha solo se han diseñado funciones de transformación para cinco factores ambientales: 1) Calidad de Aire [8], 2) Vegetación [9], 3) Erosión [10], 4) Calidad de Agua [11] y 5) Diversidad de Especies [12], se recomienda mantener la línea de investigación para desarrollar funciones aplicables a otros factores ambientales, así como publicar y distribuir entre las consultoras ambientales de Venezuela las funciones disponibles hasta la fecha con fines de lograr la homogeneización de las unidades de medida de los estudios.

- [16] Dee, N., Baker, J. K., Drobny, N. L., Duke K.M., Fahringer D. C. (1972). Environmental Evaluation System for Water Resource Planning. Final report. Columbus, Ohio: Batelle Columbus Laboratories (PB-208 822).
- [17] Mendoza-Puga, I.E. (2004). Evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura vial: funciones de transformación. Tesis Doctoral, Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- [18] República de Venezuela (1995). Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Decreto 883. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5021 del 18-12-1995.

REFERENCIAS

- [1] República Bolivariana de Venezuela (1999). Constitución de la Republica. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.453. Extraordinario del 24-03- 2000.
- [2] República de Venezuela (1995). Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Decreto 1.257. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 35.946 del 25-4-1996.
- [3] Sadler, B. (1994). Environmental Assessment and Development Policy Making. The World Bank, Washington D.C.
- [4] Conesa, V. (2010). Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental. Mundi-Prensa. Madrid.
- [5] Canter, L. (1998). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Mc-Graw-Hill. Madrid.
- [6] Benítez J. (2015). Curso de Evaluación de Impacto Ambiental, Postgrado Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Andrés Bello.
- [7] Garmendia, S., Salvador, A., Crespo, C., Garmendia, L. (2006). Evaluación de Impacto Ambiental. Pearson – Prentice Hall. España.
- [8] Marín, C. (2006). Propuesta de una Función de Transformación para partículas sólidas suspendidas. Tesis de Maestría. Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
- [9] Melone, A. (2007) Propuesta de una Función de Transformación para la pérdida de vegetación natural terrestre. Tesis de Maestría. Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
- [10] Pereira, P. (2007). Propuesta de una Función de Transformación para evaluar impactos ambientales relacionados con el factor erosión de suelo producida por fenómenos hidráulicos. Tesis de Maestría. Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
- [11] Méndez, D. (2009). Propuesta de una Función de Transformación para evaluar impactos ambientales relacionados con el índice de calidad del agua. Tesis de Maestría. Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
- [12] Guitian, D. (2018). Propuesta de una Función de Transformación para evaluar impactos ambientales relacionados con diversidad de especies. Tesis de Maestría. Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
- [13] Dalkey, N.C. (1969). The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion. The Rand Corporation. Santa Mónica.
- [14] República de Venezuela (1995). Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. Decreto 638. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4899 del 19-5-1995.
- [15] Gómez Orea, D. (2002). Evaluación del Impacto Ambiental. Agrícola Madrid. España.