

CONOCIMIENTO AMBIENTAL. PAPEL DE LA INCERTIDUMBRE

ENVIRONMENTAL KNOWLEDGE.
ROLE OF UNCERTAINTY

Gladys Linares Fleites

ISSN 2448-5829

Año 11, No. 31, 2025, pp. 78 - 91

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0000-0003-0856-3994>

Fecha de recepción: 00/04/2024
Fecha de revisión recepción: 2/12/2024
fecha de publicación: 20/01/2025
Posgrado de Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
gladys.linares@correo.buap.mx

Teléfono: fijo 2223956706; móvil 2222936614

Resumen

En la actualidad se trabaja en nuevas estrategias para la resolución de problemas, en las que se aprecia el papel de la Ciencia en un contexto más amplio que incluye la complejidad y la incertidumbre de los sistemas naturales y la relevancia de los compromisos y valores humanos. En particular, en los temas ambientales, además de que la incertidumbre se presenta en la toma de la información, para asegurar la calidad efectiva de esa información que forma parte del proceso de toma de decisiones, el manejo de la incertidumbre juega un importante rol. Este artículo tiene como objetivo mostrar, con una visión general, el papel que la incertidumbre ha jugado en el desarrollo científico de la humanidad y sus posibilidades futuras en la solución de diversos estudios ambientales.

Palabras claves: ciencias ambientales, complejidad, inferencia estadística, sistema socioambiental

Abstract

Currently, new strategies for problem-solving are being worked on, in which the role of science is appreciated in a broader context that includes the complexity and uncertainty of natural systems and the relevance of human commitments and values. In the case of environmental issues, managing uncertainty is very important to make sure that the information that is used to make decisions is of high quality. This is because uncertainty is present when the information is being gathered. This article aims to show, with a general vision, the role that uncertainty has played in the scientific development of humanity and its future possibilities in the solution of various environmental studies.

Keywords: environmental sciences, complexity, statistical inference, socio-environmental system

Introducción

Los problemas ambientales, en su mayoría, involucran algún grado de incertidumbre. La estimación de emisiones de gases efecto invernadero, el destino y transporte de los contaminantes, la exposición humana y los efectos a la salud y ecológicos son algunos de los componentes del análisis ambiental cargado frecuentemente de incertidumbre. Esta se origina por diversas razones: información incompleta, desacuerdo entre los especialistas o fuentes de información, lenguaje impreciso o por la variabilidad que resulta de los errores de muestreo o por la estructura de un modelo usado en el análisis.

Al reconocer los problemas ambientales como problemas de conocimiento sobre sistemas con fuertes interrelaciones entre sus elementos. Estos tienen que ser tratados y manejados con integralidad y vinculado a los procesos de desarrollo, la meta principal de la investigación en estos sistemas es profundizar en las bases epistemológicas tradicionales y ampliar sus posibilidades para alcanzar una cosmovisión diferente y con ello soluciones diferentes, alternativas a los problemas ambientales actuales. (Morales Jasso, 2017).

Para alcanzar el objetivo de este artículo, que consiste en exponer el papel que la incertidumbre ha jugado en el desarrollo científico de la humanidad y sus posibilidades futuras en la solución de diversos estudios ambientales, se desarrollan los siguientes epígrafes: el epígrafe 2 se refiere al surgimiento de las Ciencias Ambientales y los epígrafes 3 y 4 al estudio de la incertidumbre y su relación con el conocimiento ambiental. Finalmente, se brindan las conclusiones y las referencias.

décadas del siglo pasado, comienza a proponerse que naturaleza y sociedad sean comprendidas como un único ente, como un sistema complejo: el sistema socioambiental.

Para adentrarse en los problemas de incertidumbre en el sistema socioambiental es necesario precisar algunas definiciones y conceptos, que desarrollamos a continuación, comenzando siempre con la definición que brinda la Real Academia de la Lengua Española (RAE) y seleccionando algunas otras fuentes importantes.

Algunas definiciones

Medio Ambiente

Hasta antes de la década de los sesenta del siglo pasado, el uso del término "medio ambiente" era prácticamente inexistente; ahora, más de medio siglo después, se le usa cotidianamente en todo el mundo y en todos los ámbitos posibles, del académico al político y económico.

No existe una conceptualización unívoca de lo que debe entenderse por medio ambiente. En el siguiente cuadro se dan algunas que, en esencia, de una forma u otra coinciden

Conceptualización de Medio Ambiente	Fuente
Conjunto de circunstancias físicas que rodean a los seres vivos.	RAE (2001)

Surgimiento de las Ciencias Ambientales

Generalmente, en los estudios de naturaleza y sociedad, estas se han asumido como polos opuestos: "lo natural" y "lo social". Sin embargo, en las últimas

Conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.	Legislación mexicana (SEMARNAT)
Conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos y de factores sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, a corto o largo plazo, sobre los seres vivos y las actividades humanas.	Conferencia de Estocolmo (ONU,1972)
Sistema constituido por el hombre, la fauna y la flora; el suelo, el aire, el clima y el paisaje; las interacciones entre los factores citados, los bienes materiales y el patrimonio cultural.	Directiva Comunidad Económica Europea 85/3/377 (1985)

Las definiciones antes expuestas permiten afirmar que “medio ambiente” es un término global, de manera que abarca a todos los factores o componentes ambientales. De hecho, su definición recuerda la definición general de un sistema y como tal suele considerársele.

2.1.2 Sistema y Teoría General de Sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) fue formulada por Ludwig von Bertalanffy, biólogo y filósofo austriaco, a mediados del siglo XX. (Bertalanffy, L. V. ,1950).

De acuerdo con la RAE, el significado de la palabra sistema es: “Conjunto de cosas

que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto” (RAE, 2001). El contexto en el que se desarrolló la TGS también dio origen al pensamiento complejo, fundiéndose diversas corrientes del conocimiento en lo que se ha denominado los sistemas complejos.

Sistemas Complejos

No hay una definición del sustantivo “complejidad”. Lo que es posible definir es el adjetivo “complejo”. La idea de lo “complejo” no parte del mundo científico, sino que es un término empleado en el lenguaje común para señalar algo que es difícil de entender.

Entonces, ¿qué es la complejidad? Según E. Morín complejidad es “un tejido de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados que presentan la paradoja de lo uno y lo múltiple” (Morín, 2011). En un principio la complejidad se relacionó con fenómenos cuantitativos de gran magnitud, pero la complejidad no comprende solamente cantidades que desafían las posibilidades de cálculo, comprende también las incertidumbres, las indeterminaciones, los fenómenos aleatorios, etc. En un sentido más amplio, la complejidad siempre está relacionada con el azar (Morín et al., 2002).

2.2 Ciencias Ambientales

El medio ambiente está en un proceso de permanente cambio, lo que hace imprescindible la adaptabilidad de los seres vivos. Esta particularidad hace que la especie humana reaccione ante el medio ambiente de diferentes formas y de hecho esté expuesta a diferentes factores ambientales. Estos factores ambientales se caracterizan por diferentes elementos, tales como:

Factores bióticos: Constituido por los elementos vivos como son la flora y fauna.

Factores abióticos: Se refiere a aquella parte del medio constituido por elementos no vivos, tales como el aire, la tierra y el agua.

Factores psicosociales: Es la percepción del medio ambiente por cada individuo en particular, a través de sus condiciones

de vida (nivel, calidad de vida, cultura y desarrollo). Cada persona se forma una imagen que da lugar a conductas ante el medio ambiente.

Factores ligados a los sistemas educativos y sanitarios: Es aquel sistema constituido por las estructuras y condiciones sociales, histórico-culturales y económicas en general, de las comunidades humanas o de la población de un área determinada.

Ahora bien, aunque el concepto de medio ambiente es relativamente nuevo, el análisis y la preocupación acerca de la relación hombre-naturaleza tienen profundas raíces históricas. El desarrollo de las Ciencias Ambientales y su impacto social son el resultado del trabajo de pensadores, científicos y recientemente de activistas anónimos. Gracias a su visión y tenacidad, hoy entendemos más al medio ambiente y tenemos mayores capacidades para protegerlo.

Vázquez et al, 2014, realizaron un esbozo histórico de los estudios ambientales en el período donde se construyó una parte sustancial del cuerpo teórico de lo que actualmente se conoce como "Ciencias Ambientales". La Tabla No. 1 resume algunos aspectos de ese ensayo.

Tabla No. 1. Principales aportaciones que han erigido el campo de estudio de las Ciencias Ambientales.

Época histórica	Año	Científico	Aportación
Era antigua	377 A.C	Hipócrates	Estudio de los efectos de los alimentos, la ocupación y el clima en la salud humana.
	322 A.C.	Aristóteles	Descripción y clasificación del mundo natural.
Siglo XVIII	1758	Carl von Linné	Taxonomía que incluye a los humanos como parte del reino animal, introduciendo una idea fundamental en el pensamiento ambiental moderno.

	1769	Alexander von Humboldt	Consideración de factores ambientales (como el suelo y el clima) al estudiar el crecimiento de plantas.
	1789	Antoine Lavoisier	Propuesta de su revolucionaria Ley de Conservación de la Materia.
	1798	T. R. Malthus	Establecimiento de la presión que puede ejercer la población mundial.
Siglo XIX	1859	Charles Darwin	Publicación del libro "On the origin of species" , donde se considera que el hombre es una especie más, sujeta a los cambios inducidos por los procesos de variación heredable y la selección que imprime el entorno biótico y abiótico, como lo está cualquier otro ser vivo.
	1860	Ernst Haeckel	Introducción del término "ecología" para referirse a la ciencia de las relaciones entre organismos y medio ambiente.
	1872	Robert Angus Smith	Introducción del término "lluvia ácida" y documentación de los efectos de la lluvia ácida en diversos materiales y en la vegetación.
	1864	George Perkins Marsh	Realización del primer estudio acerca de la influencia del hombre en el medio ambiente.
	1896	Svante Arrhenius	Publicación de la primera discusión acerca del papel del dióxido de carbono en el clima terrestre.

Siglo XX	1904	Ernst Friedrich	Realización de trabajos teóricos con una visión integradora del mundo y del uso de los recursos naturales.
	1928	Vladimir Vernadsky	Propuesta de la Teoría de la Biosfera.
	1935	Arthur Tansley	Introducción del término "ecosistema" para definir "el sistema completo, no sólo el formado por los organismos, sino el complejo que también incluye los factores físicos".
	1957	Roger Revelle y Hans Suess	Inicio de la investigación acerca del llamado "efecto invernadero".
	1962	Rachel Carson	Publicación del libro Primavera silenciosa (Silent Spring) dando a conocer resultados de las investigaciones relacionadas con el DDT y los reclamos de la gente preocupada por las fumigaciones aéreas y sus efectos en aves.

Cabe destacar en este desarrollo histórico el pensamiento darwinista, que al resaltar el papel del azar, rompe con la perspectiva mecanicista, según la cual los procesos biológicos podían explicarse y predecirse como los del ámbito de la Física. Su obra fundamental, *El origen de las especies*, publicada en 1859, estableció que la explicación de la diversidad que se observa en la naturaleza se debe a las modificaciones acumuladas por la evolución a lo largo de las sucesivas generaciones.

A continuación se muestra una imagen de la portada del libro de Charles Darwin de la Editorial Espasa Calpe, en 2009, de 659 páginas, conmemorando el 150 aniversario de su primera publicación. Durante su vida, el autor revisó y actualizó la información en diversas ocasiones, hasta una sexta edición que se considera definitiva y que es la que ahora puede releerse en un libro de pequeño formato.

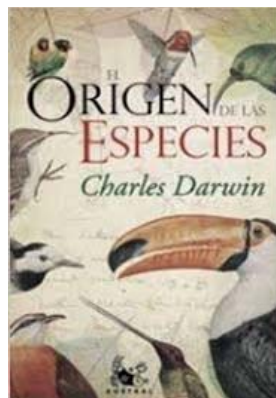


Imagen de dominio público tomada de: <https://www.elmundo.es/especiales/2009>

Una mujer altamente destacable en este desarrollo histórico es Rachel Louise Carson. Ella fue una bióloga marina y conservacionista estadounidense que, a través de la publicación de su libro *Primavera Silenciosa* en 1962 y de otros escritos, contribuyó a la puesta en marcha de la moderna conciencia ambiental. En la siguiente imagen se destaca el reconocimiento a esta científica.



Imagen de dominio público tomada de:
<https://www.coomeva.com>

La Incertidumbre

Para introducirnos en aspectos de la incertidumbre (González-Torre, 2001, Loya, 2015 y Perlo 2018) que han permitido un mayor acercamiento al conocimiento ambiental, presentamos algunas conceptualizaciones sobre la misma.

Algunas definiciones

En el siguiente cuadro se dan dos conceptualizaciones muy difundidas:

Concepto de Incertidumbre	Fuente
La incertidumbre es definida como la falta de conocimiento seguro y claro de algo. Desde el punto de vista metroológico, la incertidumbre considera todas las posibles fuentes de error que intervienen en un resultado.	(RAE, 2001),

Por otra parte, se ha planteado la existencia de relación entre los conceptos de azar y de incertidumbre. Wagensberg (1998) relaciona el azar con la incertidumbre al afirmar: “invocamos el azar cuando la información o parte de ella nos es negada”. En su trabajo el autor establece las diferencias entre dos tipos de azar:

El azar epistemológico, producido por la ignorancia del observador, la aplicación de leyes insuficientes, la debilidad en la potencia de los cálculos, las observaciones erróneas, etc.

El azar ontológico, siendo este último una entidad metafísica que representa la contingencia pura que actúa ciegamente en el universo, en otras palabras, un azar propio del objeto de estudio.

De acuerdo con esto, el azar ontológico es ineludible, pero el azar epistemológico puede ser reducido sobre la base del refinamiento de los métodos establecidos para el estudio del objeto mediante la concreción de la complejidad frente a la incertidumbre. .

Fuentes de incertidumbre

En general, las incertidumbres pueden clasificarse como aleatorias o epistémicas.

La incertidumbre aleatoria está asociada con la variabilidad interna en el sistema, y, por lo tanto, no puede ser reducida realizando más experimentos o recopilando más datos. Se recomienda emplear un marco probabilístico para modelar este tipo de incertidumbre.

El segundo tipo, la incertidumbre epistémica, surge de la deficiencia en el modelo planteado, causada por el conocimiento limitado sobre los fenómenos. Contrariamente a la incertidumbre aleatoria, existe la posibilidad de reducir este tipo de incertidumbre para mejorar nuestro conocimiento sobre el sistema.

En la mayoría de las situaciones reales la incertidumbre suele ser del segundo tipo y no se puede eliminar del todo. En estos casos, la incertidumbre se puede reducir a través de estudios estadísticos, es decir, modelos probabilísticos que relacionan los resultados inciertos con otros obser-

vables.

Este tratamiento de la incertidumbre constituye una buena parte de la Ciencia Estadística.

3.2 Aspectos históricos del análisis de la incertidumbre a través de la Estadística.

Stigler, 2007 y 2017 ha resaltado las cinco ideas consecuentes de la historia de la Estadística, todas ellas utilizadas en la actualidad, para acercarnos al conocimiento ambiental. Ellas son:

idea No.1: La agregación

Idea No. 2: La información

Idea No. 3: Pruebas estadísticas y Verosimilitud

Idea No. 4: Estadísticas por intercomparación

Idea No.5: Regresión, correlación, análisis multivariado, inferencia bayesiana e inferencia causal

La Tabla 2 resume el análisis realizado por este historiador de la Ciencia Estadística, donde se destacan a renombrados científicos que han esclarecido aspectos de la incertidumbre.

Tabla No. 2. Autores que han esclarecido aspectos de la incertidumbre a través de conceptos claves

No.	Nombre	Año	Idea #	Concepto esclarecido
1	Henry Gellibrand	1635	1	Media
2	Thomas Simpson	1755	1	Media
3	Pierre S. Laplace	1780	1	Modelo Lineal
4	Karl F. Gauss	1809	1	Modelo lineal
5	Jaques I. Bernoulli	1713	2	Precisión
6	Nicholas Bernoulli	1710	2	Precisión
7	Abraham De Moivre	1730	2	Distribución binomial
8	Pierre S. Laplace	1810	2	Teorema del Limite Central
9	Daniel B. Bernoulli	1735	3	Probabilidad
10	R. A. Fisher	1922	3	Verosimilitud
11	J. Neyman	1933	3	Pruebas de Hipótesis
12	E. S. Pearson	1933	3	Pruebas de Hipótesis
13	Francis Galton	1875	4	Percentiles
14	Francis Edgeworth	1885	4	Varianza
15	W. S. Gosset	1980	4	Prueba de hipótesis t
16	R. A. Fisher	1925	4	ANOVA y diseño experimentos

17	Karl Pearson	1895	5	Correlación
18	Thomas Bayes	1764	5	Enfoque bayesiano
19	Pierre S. Laplace	1774	5	Enfoque bayesiano
20	Francis Galton	1889	5	Enfoque bayesiano
21	Francis Edgeworth	1889	5	Enfoque bayesiano
22	Karl Pearson	1890	5	Enfoque bayesiano
23	Harold Jeffreys	1930	5	Enfoque bayesiano
24	Jimmie Savage,	1950	5	Enfoque bayesiano
25	Dennis Lindley,	1950	5	Enfoque bayesiano

A continuación se resalta el teorema de Bayes como precursor de los enfoques más modernos de la Inferencia Estadística en el presente Siglo XXI, que se dirigen hacia la Inferencia Causal.

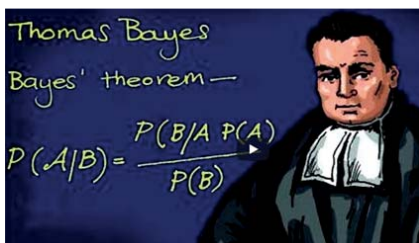


Imagen de dominio público tomado de: Servicio Educación Televisión (SET) (@Espectro789)

Si bien las rupturas entre las diferentes áreas del conocimiento han sido en ocasiones abismales y tal es el caso entre las Ciencias Naturales y Sociales, el intercambio de ideas y metáforas metodológicas se ha mantenido en ambos sentidos a lo largo del tiempo. Mansilla-Corona, 2013, ilustra ese idilio intelectual entre los cultivadores de estas áreas del conocimiento humano, desde los albores del Renacimiento hasta nuestros días.

3.2.1 Cuantificación de la incertidumbre en la actualidad

La cuantificación de la incertidumbre

(Volodina y Challenor, 2021) en los modelos informáticos es importante por varias razones. En primer lugar, el análisis de procesos físicos basado en modelos informáticos está plagado de incertidumbre, que debe abordarse para realizar una inferencia basada en un modelo "confiable", como la previsión (predicciones). En segundo lugar, informar y comunicar las incertidumbres encontradas en los modelos es crucial para mantener la credibilidad en el modelo y el grupo de modelado.

Por otra parte, la incertidumbre en la evaluación de riesgos puede originarse por distintas causas como son la falta de información, las diferencias en la evidencia, las simplificaciones o suposiciones hechas para hacer factible el análisis. Es importante distinguir entre incertidumbre y variabilidad, debido a que ambas pueden resultar en incertidumbre en los resultados de la evaluación de riesgo.

Incertidumbre y conocimiento ambiental

La importancia de la incertidumbre ante una problemática ambiental compleja con factores antagónicos fuera de nuestra comprensión y alcance, es resaltada por Leff, 2006, al plantear “el saber ambiental es afín con la incertidumbre y el desorden, con lo inédito, lo virtual y los futuros posibles; incorpora la pluralidad axiológica y la diversidad cultural en la formación del conocimiento y la transformación de la realidad”.

Si se considera el ambiente o medio ambiente como el todo resultante de las íntimas y recíprocas relaciones entre la sociedad y la naturaleza para un tiempo y espacio dado, ese devenir (sociedades/naturaleza) desde una visión totalizadora (holística) está fuertemente influenciado por los aspectos antrópicos: aspectos sociales, económicos, institucionales, legales, políticos y culturales, todo esto mediado por los conocimientos científicos y las tecnologías aplicadas (Martínez, 2014)

La probabilidad es la mejor forma de cuantificar la incertidumbre. Existen dos visiones básicas de la probabilidad: la visión frecuentista y la visión subjetivista o bayesiana. La primera define la probabilidad de ocurrencia de un evento cuya frecuencia se presenta durante una gran cantidad de pruebas similares. Esta visión ve la probabilidad como una propiedad intrínseca de un sistema, frecuentemente ilustrada con el análisis de los resultados posibles al lanzar una moneda o un dado. Cuando no hay información histórica disponible, o cuando no es posible repetir un evento muchas veces para estimar la probabilidad, se debe confiar en la opinión de los expertos (segunda visión).

Conclusiones

Las Ciencias Ambientales pueden definirse como el campo de estudio que tiene como objeto las distintas partes de la naturaleza, de las sociedades humanas y las relaciones que existen entre ellas. Surgieron en la década de 1960 como respuesta a la necesidad de comprender y solucionar los problemas ambientales evidentes ya en ese momento. La Figura 1 muestra en forma muy resumida las características de esta nueva Ciencia.

En tiempos más recientes (Galati, 2017) se ha tenido en cuenta la colaboración interdisciplinaria y transdisciplinaria entre las diferentes esferas del conocimiento humano y estos enfoques incorporan la incertidumbre en los estudios de realidades complejas que se presentan en la frontera entre las Ciencias Naturales y Sociales, donde las Ciencias Ambientales suele desarrollarse.

A partir del auge de las computadoras digitales, otras líneas de investigación se han desarrollado y entender esta relación es un requisito indispensable para la generación de un conocimiento científico más humanista a la altura de los retos que enfrenta nuestra civilización en la actualidad. Lo que permitirá un tratamiento más refinado de la incertidumbre que nos acercará más al conocimiento ambiental.



Figura 1. Características de Las Ciencias Ambientales. (Elaborado por La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Ecuador).

Conflicto de intereses

Se declara no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como otros detalles técnicos, se pueden compartir a solicitud directa con el autor.

Los datos personales facilitados por el autor a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Referencias

- Bertalanffy, L. V. (1950). An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), 134–165.
- Directiva Comunidad Económica Europea 85/3/377 (1985).
Disponible en: https://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/dir1985-337-cee.html
- Galati, E. (2017). El pensamiento complejo y transdisciplinario como marcos de investigación científica. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, RelmeCS, vol. 7, no. 1, e021.
- González-Torre FJG. (2001). Determinismo, caos, azar e incertidumbre. *Horizontes culturales: las fronteras de la ciencia*. ISBN 84-239-6450-7, págs. 73-83.
- Leff, E. (2006). Complejidad, racionalidad ambiental y dialogo de saberes. *Polis* 7, Septiembre. Recuperado de <http://polis.revues.org/6232>
- Loya C. (2015). La incertidumbre como herramienta de acercamiento al conocimiento ambiental. Recuperado de: <https://www.academia.edu/30779584>
- Mansilla-Corona, R. (2013) «De Galileo a Walras: el largo idilio entre las ciencias sociales y naturales.» *Interdisciplina I*, núm. 1 p: 87-110.
- Martínez, E. (2014). Análisis crítico reflexivo sobre complejidad ambiental. *ARJÉ Revista de Postgrado FACE-UC*. Vol. 8, Nº 14/ 225-232.
- Morales Jasso, G. (2017). Las Ciencias Ambientales. Una caracterización desde la epistemología sistémica. *Nova Scientia*. ISSN 2007-0705, Nº 18 Vol. 9 (1), 646 - 697
- Morín, E., Ciurana, E., & Motta, R. (2002). *Educación en la era planetaria: el pensamiento complejo como método de aprendizaje en el error y la incertidumbre humana*. (Unesco, Ed.) (IV Serie F., p. 100). Valladolid: Universidad de Valladolid. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.
- Morín, E. (2011). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa. (10th ed., 167 p).
- ONU (1972). Disponible en: <https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>
- Perlo CL. (2018). Investigar la complejidad, asumir la incertidumbre. *De Prácticas y Discursos*. Universidad Nacional del Nordeste, Centro de Estudios Sociales | Año 7, Número 9. Argentina. ISSN 2250-6942, págs. 253-279.

RAE (2001). Real Academia de la Lengua Española Disponible en: <https://dle.rae.es/>

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales:
Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat>

Stigler SM (2007). The Five Most Consequential Ideas in the History of Statistics. Disponible en: <http://www.statoo.ch/sst07/>

Stigler SM (2017). Los siete pilares de la sabiduría estadística. Editorial Granos de Sal, SA de CV, México. 181 p.

Vázquez-Rodríguez, GA., Lucho-Constantino, C., Coronel-Olivares, Beltrán-Hernández RI. (2014). ESBOZO HISTÓRICO DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES I: DE HIPÓCRATES A LA PRIMAVERA SILENCIOSA. PADI BOLETÍN CIENTÍFICO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA DEL ICBI, Vol 2, No 3. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ISSN 2007-6363.

Volodina V, Challenor P. (2021). The importance of uncertainty quantification in model reproducibility. Phil. Trans. R. Soc. A 379: 20200071. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0071>

Wagensberg, J. (1998). Ideas sobre la complejidad del mundo. Volumen 9 de Metatemas: Libros para Pensar la Ciencia. Editor: Tusquets. 168 p ISBN: 8472234533.