

Método Científico y su Aplicación en la Investigación Ambiental

Héctor Echavarría Heras

Cecilia Leal Ramírez

Elena Solana Arellano

Elia Montiel Arzate

Carolina Rodríguez Reyes

Correspondencia: hetxavar@cicese.mx

Citar como:

Echavarría Heras, H., Leal Ramírez, C., Solana Arellano E., Montiel Arzate, E. & Rodríguez Reyes, C. (2023). *Método científico y su aplicación en la investigación ambiental. Colección Sobre Epistemología De La Crisis Ambiental Y Economía. Ensayo 2.2.* (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teorético. Serie Divulgación). Departamento de Ecología Marina, CICESE.

Resumen

El método científico constituye una vía de sistematización del proceso de investigación sobre un fenómeno natural o en lo general sobre algún tema de interés. Abordar este método implica realizar procedimientos de observación, indagación y exploración experimental. También involucra acopiar e interpretar datos y obtener conclusiones. Permite asegurar que los resultados de una investigación científica sean precisos, coherentes y que se puedan reproducir. Particularmente su utilización en la investigación ambiental ha coadyuvado al fortalecimiento de nuestra percepción de los efectos antropogénicos sobre el mundo natural. Como resultado de esto se han propuesto estrategias tendientes a corregir el impacto que las acciones humanas provocan en nuestro medioambiente. No obstante, dado el umbral de complejidad en donde la problemática de la crisis ambiental se encuentra inmersa, las medidas paliativas propuestas no han logrado detener el deterioro asociado y por ende se ha cuestionado la idoneidad del método científico como coadyuvante del proceso de integración de soluciones al problema ambiental. Aquí presentamos una descripción de los elementos que caracterizan este método. La idea es proporcionar al científico ambiental una enumeración de las condiciones que deben de cumplirse para asegurar que el método científico proporcione información objetiva y veraz en beneficio de la remediación de la problemática ambiental.

1. Introducción

El método científico es un arreglo de fases sucesivas diseñadas para obtener conocimiento objetivo sobre el mundo natural u otro objeto de estudio. Este protocolo de investigación incluye varias etapas de implementación. Inicia con la observación cuidadosa seguida de la formulación de hipótesis. Continúa con el diseño y realización de experimentos. Prosigue con la evaluación crítica de resultados y la obtención de conclusiones. Culmina con la comunicación de los hallazgos [1]. Este ordenamiento ofrece un protocolo que se enmarca en el empirismo. Este puede concebirse como una perspectiva epistemológica para el estudio del proceso de adquisición del conocimiento científico [2]. El empirismo sostiene que el conocimiento científico es exacto y verificable. Al lado del racionalismo, del constructivismo y del pragmatismo, constituye una de las cuatro perspectivas epistemológicas principales [3].

La utilización del método científico ha permitido cimentar la comprensión del notorio efecto antropogénico sobre el medioambiente [4-5]. Ha aportado, por ejemplo, valiosa información sobre temas específicos relacionados con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Y además sobre los problemas de la degradación del suelo y de la contaminación del aire y el agua. El método científico también ha permitido el desarrollo de herramientas y tecnologías para abordar determinados problemas ambientales. Estos insumos han permitido la adaptación de estrategias tendientes a corregir el impacto que las acciones humanas provocan en nuestro entorno [6-7]. También al emplear el enfoque riguroso y sistemático del método científico se ha generado información objetiva y confiable sobre la problemática ambiental dirigida a los responsables políticos, gestores de tierras y al público en general. De este modo se han fundamentado la toma de decisiones y la evaluación de la efectividad de las soluciones propuestas.

No obstante, debemos estar conscientes de que abordar la crisis ambiental encara asimilar la gran complejidad que le es inherente [8-9]. Más aún, hay reportes que incluyen críticas al uso del método científico como elemento generador de información sustentante de estrategias encaminadas a remediar los problemas que se derivan de la mencionada crisis. Para explicar este punto en este ensayo nos circunscribiremos al análisis del uso del método científico en la investigación ecológica ya que la

generación de información para abordar la crisis ambiental depende notoriamente de ésta [10]. En el contexto especificado, hay que considerar primero que los sistemas ecológicos son complejos y dinámicos [11]. Por ende, la interpretación de su dinámica depende de obtener datos precisos sobre múltiples variables e interacciones difíciles de cuantificar y manipular [12]. Esta complejidad puede dificultar el desarrollo de hipótesis precisas y diseños experimentales. Por añadidura esto puede llevar al establecimiento de conclusiones incompletas o inexactas [13]. Además, la replicación de experimentos en diferentes lugares o ecosistemas puede ser difícil. Sin lugar a duda esto dificulta la verificación de resultados y la obtención de conclusiones generalizables. Más aún, en la investigación ecológica también se deben de tomar en cuenta consideraciones sociopolíticas y éticas, como la conservación de la biodiversidad, las prácticas de uso de la tierra y sobre todo el impacto humano sobre el medioambiente [14-15]. Abordar estas consideraciones que resultan indispensables para conducir la realización de investigaciones rigurosas y socialmente responsables, catapultan la complejidad inherente a la comprensión de los sistemas ecológicos [16].

La utilidad del método científico en la investigación ambiental se encuentra además sujeta a limitaciones empíricas relacionadas con la disponibilidad y calidad de los datos [17]. También es muy conocido que la caracterización de la dinámica de los ecosistemas depende de la realización de estudios a largo plazo. Sin embargo, el desarrollo de dichos estudios depende de asignaciones presupuestales cuantiosas que deben mantenerse por mucho tiempo. Como resultado, muchos estudios ecológicos se realizan sobre períodos cortos. Necesariamente esto limita el tamaño de las bases de datos generando implicaciones para la certidumbre de las predicciones del comportamiento de los procesos ecológicos a largo plazo [18]. Más aún, debemos tener en mente las influencias de factores exógenos como por ejemplo el cambio climático, los desastres naturales y las perturbaciones humanas que pueden complicar los diseños experimentales y la interpretación de los datos obtenidos en una investigación ecológica. Pero independientemente de esta realidad las ventajas del método científico deben de dimensionarse en forma adecuada si pretendemos algún día establecer nuestra coexistencia con el medio natural en forma sostenible. Es en ese tenor que a continuación abundaremos sobre dicho método [4,19].

Es menester enfatizar que la motivación fundamental para la creación de este trabajo es la aportación de bibliografía e integración de material complementario para el desarrollo del módulo 2.2 del curso sobre Epistemología de la Crisis Ambiental y La relevancia de la Economía como Factor Causal de esta impartido en el CICESE. Para la integración del primer borrador de este trabajo se utilizaron procedimientos tradicionales de investigación documental y también textos generados mediante recursos de inteligencia artificial [20]. La evaluación epistemológica de los contenidos así generados por parte de los estudiantes se integró a los deberes requeridos para la acreditación del curso [3].

2. Generalidades sobre el Método Científico

Expresamos en la introducción que el método científico se puede interpretar como un arreglo sistematizado y coherente concebido para guiar el proceso de apropiación del conocimiento requerido para comprender el mundo que nos rodea. Hemos también mencionado que éste se puede considerar como un protocolo mediante el cual los investigadores interpretan fenómenos, a través de la formulación de hipótesis, realización de experimentos, análisis de datos y obtención de conclusiones. Es un proceso repetitivo que se retroalimenta. Como resultado se adquiere información y se generan nuevos descubrimientos lo cual sustenta el desarrollo continuo del conocimiento generado. Procede agregar a lo

anterior que el método científico hace énfasis en la objetividad y el razonamiento lógico, elementos esenciales para la obtención de resultados de investigación científica confiables y válidos [20-21].

3. Descripción de las Fases del Método Científico

La primera etapa del método científico tiene como propósito el definir el problema de investigación y formular una hipótesis. Esta debe ser comprobable, respaldada por estudios, observaciones y teorías previas. Debe ser lo suficientemente precisa como para ser respaldada por datos experimentales. El paso siguiente consiste en tratar de probarla. Para ello se diseña un experimento controlable y reproducible. Una vez que los datos experimentales, se han obtenido se procede a utilizar métodos estadísticos. Estos tienen como propósito determinar si los resultados son significativos. Con base en este análisis se derivan las conclusiones que especifican la aceptación o el rechazo de la hipótesis original. El último paso del método científico es la comunicación de los resultados de la investigación [20,22-23].

3.1 Observación

La observación marca el inicio del método científico. En su realización se utilizan tanto la percepción sensorial como diversas herramientas. La observación permite recopilar datos e información sobre el objeto de estudio [20,24].

3.2 Indagación

La anotación de los patrones observados genera curiosidad y fomenta la indagación o búsqueda de explicaciones sobre aspectos específicos del fenómeno o problema bajo estudio. La indagación o cuestionamiento permiten identificar tendencias, intuir relaciones que ayudan a conocer las asociaciones de causa y efecto. En otras palabras, la indagación es la base para el establecimiento de las preguntas importantes que sirven para formular hipótesis [20,25].

3.3 Investigación Documental

Una vez que se han realizado tanto el proceso de observación, como la indagación resultante, se lleva a cabo una investigación documental exhaustiva para recopilar el conocimiento existente sobre el tema. Esto consiste en hacer una revisión de la literatura científica relevante, se examinan también los protocolos de estudios previos y se exploran además las teorías existentes para obtener una comprensión integral del tema [20,26].

3.4 La Formulación de Hipótesis

Una hipótesis es una tentativa de explicación o de predicción en el contexto de la pregunta de investigación. También puede interpretarse como una proposición sobre la forma que toma la relación que se da entre las variables que pretenden explicar lo observado. Una hipótesis se formula con base en el razonamiento lógico. Se toman en cuenta las observaciones y la indagación sobre estas y el conocimiento existente sobre el objeto de estudio. Una hipótesis adecuada puede comprobarse o refutarse. Esto implica que se puede someter a un proceso de contrastación mediante la experimentación o análisis de datos. También de este modo puede potencialmente demostrarse que la hipótesis es incorrecta. Luego entonces, las hipótesis están sujetas a revisión o rechazo con base en la evidencia. Ciertamente, puede ocurrir que los resultados experimentales diverjan respecto de los resultados previstos. En dado caso, los

investigadores podrían modificar o descartar sus hipótesis iniciales y desarrollar otras nuevas. Mediante este proceso iterativo se impulsa el progreso científico. Resulta ser de gran ayuda para refinar nuestra comprensión del mundo natural [20,27].

En general, comprender el papel que juegan las hipótesis en la investigación científica es fundamental. Ciertamente su génesis resulta ser esencial para que se puedan establecer preguntas significativas, se diseñen experimentos rigurosos que contribuyan a la expansión del conocimiento científico. Una buena hipótesis debe tener claridad y especificidad. Esto significa que debe estar descrita en forma clara, bien definida y específica. Debe establecer la relación entre las variables y proporcionar suficientes detalles para guiar el proceso de investigación de manera efectiva. Otra propiedad a ser exhibida por una hipótesis es la de consistencia lógica. Esto significa que esta debe ubicarse en la vertiente del conocimiento científico. Es decir, debe ser consistente con las teorías y las observaciones existentes. Para que las hipótesis satisfagan estos requerimientos, deben exhibir varias propiedades que son indispensables. Una de las propiedades fundamentales que debe tener una hipótesis es la de poderse comprobar. Por ende, la hipótesis debe generar predicciones específicas que puedan evaluarse a través de la experimentación. De este modo se podrá potencialmente demostrar que es falsa. Cuando esto es posible, decimos que la hipótesis admite una propiedad de falsedad. Esto significa que puede ser refutada o rechazada. Este último postulado fue introducido por Karl Popper. Se considera como la base de la doctrina filosófica conocida como falsacionismo que asegura que las teorías científicas puedan ser sometidas a rigurosas pruebas y escrutinio [20,28-29].

Podemos agregar que el papel de las hipótesis en lo relativo a la ordenación del proceso de investigación científica es multifacético. Primeramente, estructuran el proceso de investigación. Contribuyen a esto definiendo las variables bajo investigación y estableciendo la relación entre ellas. Se gana de este modo un marco para la recopilación, también para el análisis y por último para la interpretación de los datos. En virtud de esto las hipótesis son fundamentales para guiar el diseño de la investigación. Más aún, las hipótesis pueden considerarse como hojas de ruta para diseñar experimentos, observaciones o encuestas. En este sentido podemos decir que éstas proporcionan una guía de acción clara para los investigadores, describiendo lo que debe investigarse y cómo abordarlo [20].

Las hipótesis juegan también un papel muy importante en la generación de predicciones. Éstas permiten a los investigadores hacer proyecciones sobre los resultados de sus experimentos u observaciones. Contrastando estas predicciones con los resultados reales se puede evaluar la validez de la hipótesis. En un aspecto cualitativo las hipótesis contribuyen al avance del conocimiento científico. Probar hipótesis conduce a evidencia empírica, lo que contribuye a la acumulación de conocimiento científico. La investigación con base en las hipótesis fomenta el descubrimiento, permite la formulación de nuevas teorías y apoya el refinamiento de las existentes [20,30].

En investigación ambiental podríamos formular hipótesis como:

- (1) En las ciudades, el aumento de la contaminación del aire incrementa la incidencia de enfermedades respiratorias;
- (2) Algunos pesticidas utilizados en la agricultura afectan severamente a los polinizadores;
- (3) El aumento de la temperatura del océano induce una mayor frecuencia y gravedad de eventos de blanqueamiento de corales;

- (4) Los espacios verdes ciudadanos tienen un positivo impacto en la salud mental y el bienestar;
- (5) La resiliencia ecosistémica es afectada negativamente por la pérdida de biodiversidad.

3.5 Fase Experimental

Como hemos afirmado, una vez que una hipótesis se ha establecido, se diseñan experimentos para reunir evidencia empírica y así poder comprobar su validez. Para realizar esta fase en forma eficiente se recurre al uso de la técnica estadística conocida como diseño experimental. Involucra la identificación y manipulación de variables. Depende además del establecimiento de grupos de control. Esto con el propósito de facilitar la comparación y garantizar una aleatorización y una replicación adecuadas. El objetivo que se persigue al utilizar estas técnicas del diseño de experimentos es recopilar datos confiables e insesgados. Solo este tipo de datos puede proporcionar evidencia para respaldar o refutar la hipótesis formulada [31-33]. En lo que sigue vamos a examinar las generalidades de algunos de los principios básicos del diseño experimental.

3.5.1 Clarificación de la Pregunta de Investigación

En primer lugar, es fundamental contar con una pregunta clara y bien definida o un objetivo de investigación. Esto ayuda a establecer el propósito del experimento y sirve de guía para tomar decisiones posteriores. La pregunta debe ser precisa, cuantificable y pertinente para el área científica que se está investigando [34-35].

3.5.2 Identificación de Variables

El siguiente principio se centra en la identificación y control de variables. Las variables son elementos que pueden tener un efecto potencial en el resultado del experimento. En un experimento bien diseñado, podemos distinguir dos tipos de variables esenciales. Estas son las llamadas variables independientes y las dependientes [36].

En un arreglo experimental los factores específicos cuyos valores o condiciones se modifican para observar los efectos resultantes se denominan variables independientes [37]. Como ejemplos de ellas en la investigación ambiental podríamos mencionar a la temperatura, los niveles de contaminación, o bien a las concentraciones de nutrientes. Se relacionan una a una con estudios sobre los efectos del estrés térmico en el crecimiento de las plantas o el comportamiento animal. Con la determinación del impacto de diferentes niveles de contaminación en la calidad del agua o del aire. O bien, analizar la influencia de diferentes niveles de nutrientes en la proliferación de algas, o en la integridad de un determinado ecosistema acuático [20].

En contraparte, un factor cuyos valores permiten cuantificar el resultado o respuesta inducida por cambios en la variable independiente se identifica como una variable dependiente [38]. Prototipos de estas en la investigación ambiental son: la diversidad de especies, parámetros de calidad del agua, carbono secuestrado, o bien tasas de erosión. Estas a su vez se relacionan con el desarrollo de investigaciones sobre: el número y la variedad de especies en un hábitat, los efectos de la contaminación u otras variables en los ecosistemas acuáticos, evaluar la cantidad de carbono almacenado en diferentes ecosistemas forestales, examinar la influencia de las prácticas de gestión de la tierra o de procesos naturales sobre la calidad del suelo [20].

Además, en investigación ambiental se pueden identificar variables de confusión [39]. Éstas pueden influir tanto en las variables independientes como en las dependientes. Deben identificarse y controlarse para evitar que afecten los resultados. Para ello se suele utilizar la aleatorización. También se pueden incluir variables de control. Éstas son aquellas que se mantienen constantes para aislar los efectos de la variable independiente. Estas variables adicionales ayudan a los investigadores a establecer relaciones más precisas y significativas entre las variables independientes y dependientes en sus estudios [20].

3.5.3 Aleatorización

La aleatorización es un principio fundamental en el diseño experimental. Ayuda a minimizar el sesgo y garantiza que los grupos que se contrastan sean comparables [40-41]. Al asignar participantes o sujetos al azar a diferentes grupos de tratamiento, se aumenta la precisión de los resultados. La aleatorización ciertamente reduce el potencial de diferencias sistemáticas entre los grupos. Esto a su vez aumenta la probabilidad de que cualquier diferencia observada se deba a la manipulación de la variable independiente [20].

3.5.4 Replicación

Otro principio fundamental en el diseño experimental es la replicación. Consiste en realizar el experimento varias veces con diferentes participantes o sujetos [42]. Este procedimiento aumenta la confiabilidad de los resultados. Permite evaluar la consistencia y generalización de estos. En conjunción con la replicación, es importante determinar cuidadosamente el tamaño de la muestra para garantizar que exista suficiente poder estadístico para detectar los efectos que sean significativos [20].

3.5.5 Enmascaramiento o Cegamiento

Controlar las variables residuales y las fuentes de sesgo se puede lograr mediante técnicas como el cegamiento. Cuando se utiliza el participante o desarrollador de la investigación desconoce las condiciones del tratamiento [43]. Se utiliza además en este procedimiento un control con placebo. Asimismo, con el propósito de minimizar los errores de medición se debe optimizar el diseño e implementación de procedimientos de recopilación de datos [20].

3.5.6 Grupos de Control y Grupos Experimentales

Los grupos de control y los grupos experimentales son de fundamental importancia en la investigación científica. Permiten obtener conclusiones válidas y confiables sobre los efectos de las intervenciones o tratamientos [44-45]. Estos grupos ayudan a minimizar los sesgos. Permiten identificar los factores de confusión. Proporcionan también, un enfoque sistemático para comprender el impacto de las variables en el objeto de investigación [20].

Un grupo de control se utiliza como referencia. En él no se aplica ninguna intervención o tratamiento. Su propósito es establecer un estándar con el cual se puedan comparar los efectos del tratamiento aplicado al grupo experimental. El grupo de control representa la condición natural o normal del sistema investigado. Para ello, el grupo de control debe ser similar al grupo experimental en todos los aspectos, excepto en la variable específica cuyo efecto se está estudiando. Esto garantiza que la diferencia observada entre los dos grupos sea inducida por el tratamiento que se está probando. Tomemos, por ejemplo, un ensayo clínico que intenta demostrar la eficacia de un nuevo fármaco. El grupo de control recibirá un placebo o bien el tratamiento estándar que actualmente se utiliza. En cambio, el grupo

experimental recibirá el nuevo medicamento. Al comparar los resultados entre los dos grupos, se podrá determinar la eficacia del nuevo fármaco [20].

Reafirmando, el grupo experimental es aquel que recibe la intervención o tratamiento que se está estudiando. Es el que se expone a la variable independiente que los investigadores manipulan. Su propósito es ayudar a identificar los efectos o cambios resultantes de dicho tratamiento. Como un segundo ejemplo, refirámonos a un estudio diseñado para conocer los efectos de un suplemento dietético en la presión arterial. El grupo experimental sería el que recibiría el suplemento, en tanto que el grupo de control no lo recibiría. Luego se comparan las mediciones de presión arterial que se toman a los participantes en ambos grupos. De este modo se puede determinar si el suplemento tiene algún impacto significativo. El grupo experimental también ayuda a establecer la causalidad y determinar la relación entre la variable independiente y dependiente. Al comparar los resultados entre el grupo de control y el grupo experimental, se pueden evaluar tanto la importancia como la efectividad del tratamiento. Para esto es menester utilizar análisis estadísticos para determinar la significancia de las diferencias observadas [20].

En investigación ambiental, podríamos considerar un estudio destinado a evaluar los efectos de un nuevo pesticida en el crecimiento de ciertas plantas. El grupo de control consistiría en un determinado conjunto de plantas que no están expuestas al pesticida. Al comparar el crecimiento de las plantas en el grupo de control con las del grupo experimental (expuestas al pesticida), se puede determinar si el pesticida tiene algún efecto significativo [20].

Correspondientemente los grupos experimentales en la investigación ambiental pueden recibir diversas intervenciones o tratamientos. Por ejemplo, la aplicación de una sustancia química. O bien, la alteración de las condiciones físicas. Podríamos asimismo considerar la introducción de una especie o la implementación de una nueva práctica de manejo. Los efectos de estas intervenciones en el medio ambiente se comparan con el grupo de control para determinar su importancia [20].

Más aún, consideremos un estudio cuyo propósito podría ser determinar el impacto de un derrame de petróleo en los ecosistemas marinos. El grupo experimental podría implicar exponer un área determinada a una cantidad controlada de petróleo, simulando un derrame real. Luego, se podrían monitorear y medir las consecuencias ecológicas de la exposición al petróleo en el grupo experimental en comparación con el grupo de control no afectado [20].

En resumen, los grupos de control y experimentales son esenciales en la investigación ambiental. Ayudan a establecer relaciones causales entre variables. Permiten obtener conclusiones significativas sobre los efectos de ciertas intervenciones o tratamientos en el medio ambiente.

En lo general los principios del diseño experimental resultan esenciales para la realización de estudios científicos rigurosos [46]. Al formularse preguntas de investigación claras, controlar las variables, seleccionar participantes al azar, ampliar el estudio, reducir el sesgo y abordar consideraciones éticas, es posible garantizar la validez y confiabilidad de los hallazgos de investigación [47-49]. La observancia de estos principios contribuye al desarrollo de la ciencia.

3.6 Obtención de Conclusiones

La obtención de conclusiones representa un paso muy importante en el método científico [50]. Para sustentar la idoneidad de los hallazgos de una investigación se evalúan los resultados experimentales y del análisis de los datos. Esto para determinar si la evidencia apoya o contradice la hipótesis inicial. Si los

resultados de dicha contrastación apoyan la hipótesis, se puede considerar esto como evidencia a favor de la explicación propuesta. Por ende, su validez se reafirmará en las conclusiones del estudio. No obstante, puede ocurrir que los datos contradigan lo establecido por la hipótesis. En ese caso, se deben de reevaluar los supuestos. Se continúa de este modo el proceso iterativo de investigación científica en busca de poder establecer las conclusiones pertinentes [20].

3.7 Comunicación

El reporte de los resultados de investigación demanda de una comunicación precisa para fomentar el avance del conocimiento científico [51]. El proceso de revisión por pares asegura la autenticidad y validez de la investigación realizada.

4. Otros Procedimientos y Consideraciones Relevantes

4.1 Acopio de Datos

El acopio de datos debe garantizar que la obtención de información necesaria para el desarrollo de la investigación sea sistemática. Inciden varios métodos en la realización de esto. Por ejemplo, mediciones, encuestas, observaciones o bien la realización de experimentos. Los datos recopilados deben tener precisión y deben además ser representativos [52]. De este modo se podrá garantizar la confiabilidad y validez de los resultados de la investigación. Para ello, los datos obtenidos deben ser examinados. Esto se lleva a cabo utilizando técnicas estadísticas y analíticas apropiadas. El propósito de estos últimos procedimientos es el de explorar la existencia de patrones, tendencias, correlaciones o diferencias significativas. Más aún, la exploración de estas particularidades permite dar sentido a la información y así poder obtener conclusiones confiables.

4.2 Iteración y Refinamiento

Siendo el método científico un proceso iterativo, el apego a sus protocolos a menudo conduce a nuevas preguntas estimulando de este modo la progresión de la investigación [53]. Mediante este proceso iterativo se refinan continuamente las hipótesis. También los métodos experimentales. Por ende, la realización de nuevas pruebas permite la actualización de las teorías o conocimientos obtenidos de investigaciones anteriores. Por ende, la naturaleza iterativa del método científico contribuye a la reafirmación de la esencia progresiva del conocimiento científico [20].

4.3 Objetividad y Reproducibilidad

La objetividad y la reproducibilidad son fundamentales en la integridad y confiabilidad del método científico [54]. La objetividad implica imparcialidad y ausencia de sesgo en la investigación científica. La vigencia de esta propiedad de una investigación se establece cuando los desarrolladores de esta la han abordado con una mente abierta, ajena a nociones preconcebidas o creencias personales. La adopción de este criterio de objetividad redundaría en la eliminación de interpretaciones y juicios subjetivos que podrían influir en sus observaciones o análisis de datos. La objetividad de los resultados de una investigación científica es una propiedad que fomenta la credibilidad de sus contribuciones. Cuando los investigadores se apegan a un principio de objetividad, su trabajo proyecta transparencia y confiabilidad. Otros pares pueden revisar minuciosamente sus procedimientos a fin de poder replicar fielmente los experimentos o análisis reportados. Esto permite asegurar que sesgos personales no produjeron distorsión en los resultados. En síntesis, la objetividad como propiedad de una investigación científica asegura que el

conocimiento que esta aporta se ha obtenido con base en la evidencia. Luego entonces es conocimiento producido al margen de las influencias asociadas a las perspectivas individuales. Es decir, es conocimiento inductor del avance de nuestra comprensión del mundo natural [20].

Cuando los resultados que se asocian a una investigación son susceptibles de ser reproducidos por científicos independientes utilizando métodos y procedimientos similares, se robustece la validez y la confianza de esos resultados [55]. Decimos en ese caso que la investigación que los produjo tiene el atributo de la reproducibilidad. Este término se refiere a la posibilidad de replicar experimentos o estudios científicos con el fin de constatar que los resultados previamente reportados y asociados a una investigación son coherentes y fiables. Por ende, la reproducibilidad puede ser considerada como uno de los principales fundamentos del método científico. La reproducibilidad sirve como una defensa contra errores, fraudes y sesgos accidentales [56]. También nos permite llevar a cabo una evaluación crítica de la metodología y las conclusiones. Esto a su vez permite asegurar que los efectos observados no sean simplemente coincidencias fortuitas o artefactos del diseño experimental. Aunado a esto, la reproducibilidad permite la identificación de posibles limitaciones o refinamientos de las teorías existentes. De este modo, conduce al perfeccionamiento y la evolución del conocimiento científico.

Más aún, la reproducibilidad no solo sirve para validar los resultados de la investigación. También permite que los científicos puedan establecer consenso sobre la valía de la aportación en cuestión. Al confirmar o refutar de manera independiente los resultados de una investigación, los científicos contribuyen a generar un entendimiento común dentro de su comunidad [57]. El establecimiento de un consenso en materia científica es fundamental. Este promueve la creación de teorías, principios y prácticas que puedan aportar un marco de referencia para futuras investigaciones. Cimenta también la toma de decisiones políticas fundamentadas. Promueve asimismo avances tecnológicos [20].

En resumen, la objetividad y la reproducibilidad son principios esenciales en la confiabilidad del método científico. La objetividad fundamenta la equidad, la transparencia. También la eliminación de sesgos, asegurando la confiabilidad de los resultados de investigación. Por su parte, la reproducibilidad hace posible que se realice la verificación independiente de los resultados de la investigación [57-58]. Por ende, resulta esencial para evitar errores y también en la promoción de la búsqueda de consenso en la comunidad científica. La aplicación de estos principios sustenta la pertinencia de los esfuerzos científicos. Esto a su vez, conduce a la generación de conocimientos sólidos y confiables. Solo éstos pueden impulsar el progreso y la innovación en una variedad de campos [20].

4.4 La importancia de evitar Sesgos y Variables Confusoras

La investigación científica resulta ser vital para el avance de nuestro entendimiento del mundo y del progreso en diversos campos. Sin embargo, es muy importante estar enterados de que sesgos y variables confusoras pueden afectar la precisión de los resultados [59-60]. Los sesgos son tipificados como errores sistemáticos que usualmente emanan de la recopilación, del análisis o bien de la interpretación de datos [61]. Por otro lado, las variables de confusión son factores relacionados con las variables bajo investigación que pueden distorsionar la relación entre ellas [62-64]. Por ende, los sesgos y las variables de confusión pueden comprometer la validez de la investigación. Esto en virtud de que pueden llevar al establecimiento de conclusiones erróneas. Para minimizar el impacto de estos factores, se deben planificar cuidadosamente los estudios [65]. Esto implica la utilización de técnicas de control como la aleatorización y el cegamiento. También resulta importante para lograr esto el divulgar de manera transparente la

metodología y las medidas tomadas. La revisión por pares y la replicación de estudios también son importantes para identificar y abordar estos sesgos y variables de confusión [20].

Particularmente, la investigación ambiental puede verse afectada por sesgos que influyen en el proceso y los resultados del estudio [48]. Dichos sesgos pueden derivarse de opiniones, valores o afiliaciones de los investigadores. Pueden llevar al establecimiento una comprensión oblicua de los fenómenos ambientales. Hay que considerar que también puede presentarse un sesgo de muestreo. Este puede ocurrir al seleccionar participantes o sitios de estudio que no representen adecuadamente la población o el ecosistema en general. El sesgo de muestreo podría limitar la generalización de los hallazgos. Los intereses económicos y la financiación también pueden influir en la investigación, comprometiendo la imparcialidad y objetividad del trabajo. Esto puede llevar a una representación inadecuada de los problemas ambientales. Como consecuencia, los efectos de los sesgos pueden conducir a estrategias de gestión ineficaz de los ecosistemas. A raíz de esto pueden adoptarse políticas contraproducentes. En otras palabras, una investigación sesgada puede erosionar la confianza pública. Es decir, se puede dificultar la toma de decisiones informadas. Es importante destacar que la colaboración multidisciplinaria resulta fundamental para minimizar los efectos que se asocian a los sesgos. Aunado a esto, en todos los análisis involucrados deben emplearse metodologías rigurosas y transparentes. Por último resulta también esencial asegurarse de involucrar a las partes interesadas en el proceso de investigación [16].

4.5 Salvaguarda de Principios Éticos

Por último, es muy importante reiterar la importancia de tener en cuenta los principios éticos al realizar una investigación [66]. Los investigadores deben priorizar el bienestar y los derechos de los participantes, seguir las directrices éticas y obtener su consentimiento informado [67-68]. Es sumamente relevante el equilibrar los objetivos científicos del experimento y las obligaciones éticas para garantizar una investigación responsable [69-70].

Particularmente, una investigación ambiental basada en principios éticos debe llevarse a cabo asegurando varios puntos. Se debe de obtener el consentimiento informado y voluntario de todas las partes involucradas. Esto incluye a las comunidades locales y en general a todos los actores relacionados con el medioambiente [71]. Tomar medidas tendientes a reducir a un mínimo cualquier tipo de impacto negativo en el medioambiente, en la biodiversidad, o en las comunidades. Es menester también dar la espalda a prejuicios y asegurar que la investigación y los resultados sean imparciales y objetivos. Considerar el bienestar y la preservación de las especies y la integridad de los ecosistemas involucrados. Abogar por un reparto equitativo de los beneficios de la investigación, tomando en cuenta a las comunidades afectadas. Comunicar de manera clara los métodos, resultados y limitaciones de la investigación. Respetar todas las leyes y regulaciones ambientales y de investigación aplicables. Proteger la privacidad de las personas y comunidades involucradas. Evitar la manipulación de datos o resultados y la falsificación de información. Someter la investigación a la revisión de comités de ética para asegurar el cumplimiento de los estándares éticos aceptados [3,20].

5. Conclusión

El método científico constituye una vía de sistematización de los procesos de investigación sobre un fenómeno natural o en lo general sobre algún tema de interés. Este protocolo no se circunscribe a una sola disciplina. Se aplica en diversos ámbitos de estudio, tales como las ciencias naturales, sociales y ambientales. Su esencia metódica y racional garantiza que el conocimiento que de él emane se

fundamente en la evidencia empírica y el pensamiento crítico. El método científico fomenta la transparencia. Permite la replicación y verificación de resultados. Contribuye con la minimización de sesgos y errores en la búsqueda del conocimiento. Abordar este método implica realizar un procedimiento ordenado que incluye realizar procedimientos de observación, indagación, exploración experimental, acopio e interpretación de datos y obtención de conclusiones sobre lo investigado. Su uso en la investigación ayuda a asegurar que los resultados obtenidos sean precisos, coherentes y se puedan reproducir.

En particular la utilización del método científico en la investigación ambiental ha sustanciado avances significativos en nuestra percepción del efecto antropogénico sobre el mundo natural. Como resultado se han propuesto estrategias tendientes a corregir el impacto que las acciones humanas provocan en nuestro medioambiente. No obstante, es de suma importancia el no perder de vista el umbral de complejidad en donde la problemática donde la crisis ambiental se encuentra inmersa. Más aún, debemos estar conscientes de que este factor explica en gran medida porque las medidas paliativas propuestas no han logrado detener el deterioro asociado. En lo particular esto explica porque se ha cuestionado la idoneidad del método científico como coadyuvante del proceso de integración de soluciones al problema ambiental.

La razón por la cual han surgido estos cuestionamientos reside fundamentalmente en el hecho de que hay umbrales en los cuales la investigación ambiental involucra estudios a nivel de ecosistemas completos. Los sistemas ecológicos son complejos y dinámicos. Incluyen numerosas variables e interacciones que pueden ser difíciles de cuantificar y manipular. En virtud de esto, puede resultar que sea difícil para los científicos desarrollar hipótesis precisas e instrumentar diseños experimentales adecuados. Esto puede llevar a conclusiones incompletas o inexactas. En esta perspectiva es procedente resaltar también el hecho de que en la investigación ecológica puede ser difícil replicar experimentos en diferentes lugares o ecosistemas. Se pueden entonces dificultar la verificación de resultados y la obtención de conclusiones generalizables.

La investigación ecológica con frecuencia implica tomar en cuenta consideraciones sociopolíticas y éticas como la conservación de la biodiversidad y las prácticas de uso de la tierra. También el impacto antropogénico sobre el medioambiente. Esto dificulta realizar investigaciones científicas rigurosas y socialmente responsable. Pero también hay limitaciones de índole empírica. Estas se relacionan con la extensión y calidad de los datos. Los sistemas ecológicos a menudo requieren estudios longitudinales para comprender cómo cambian con el tiempo. No obstante, estos a menudo requieren mucho tiempo y son costosos. Como resultado, muchos estudios ecológicos se llevan a cabo en plazos cortos. Se generan por ende bases de datos sobre escalas limitadas. Esto puede limitar la validez de las implicaciones de dichos estudios sobre los procesos ecológicos a largo plazo. Por último, puede ocurrir Interferencia de factores externos. Es decir, la investigación ecológica puede ser susceptible a la interferencia de factores externos como el cambio climático, los desastres naturales y las perturbaciones humanas. La consideración de estos factores puede complicar los diseños experimentales. O bien, dificultar la obtención de conclusiones a partir de los datos observados. Pero independientemente de esta realidad las ventajas del método científico deben dimensionarse en forma adecuada si pretendemos algún día establecer nuestra coexistencia con el medio natural en forma sostenible.

Agradecimientos

Se agradece en forma muy especial el apoyo incondicional recibido por parte del CICESE, nuestra generosa institución que este año celebra su quincuagésimo aniversario.

Angélica M. Moreno contribuyó a las tareas de edición.

Referencias

1. J. Wudka, "The scientific method," University of California, Riverside, Sep. 1998.
2. L. García Jiménez, "Aproximación epistemológica al concepto de ciencia: una propuesta básica a partir de Kuhn, Popper, Lakatos y Feyerabend," *Andamios*, vol. 4, no. 8, pp. 185-202, 2008.
3. H. Echavarría Heras, C. Leal Ramírez, O. Valencia Méndez, E. Montiel Arzate, and C. Rodríguez Reyes, "Visión General de la Epistemología: Naturaleza, Alcance y Métodos," in *Colección Sobre Epistemología De La Crisis Ambiental Y Economía. Ensayo 1.1. (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teorético. Serie Divulgación)*, Departamento de Ecología Marina, CICESE, 2023.
4. B. Steel, P. List, D. Lach, and B. Shindler, "The role of scientists in the environmental policy process: a case study from the American west," *Environmental Science & Policy*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 2004.
5. M. J. Clark, "The scientific method in environmental impact assessment," *Science of The Total Environment*, 1994.
6. K. Fox, "The Scientific Method and the Study of Environmental Issues," *The Science Teacher*, 1989.
7. D. C. Michener and D. M. Knutson, "The Scientific Method and Environmental Research," *Environmental Science & Technology*, 1972.
8. W. P. Cunningham, M. A. Cunningham, and B. W. Saigo, *Environmental science: A global concern*, vol. 412, New York: McGraw-Hill, 2001.
9. H. Echavarría Heras, C. Leal Ramírez, E. Millán Núñez, E. Montiel Arzate, and C. Rodríguez-Reyes, "Introducción a la Crisis Ambiental: Temas Clave y Desafíos," in *Colección Sobre Epistemología De La Crisis Ambiental Y Economía. Ensayo 1.2. (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teorético. Serie Divulgación)*, Departamento de Ecología Marina, CICESE, 2023.
10. E. D. Ford, *Scientific method for ecological research*, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
11. S. L. Pimm, "The complexity and stability of ecosystems," *Nature*, vol. 307, no. 5949, pp. 321-326, 1984.
12. S. A. Levin, "The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture," *Ecology*, vol. 73, no. 6, pp. 1943-1967, 1992.
13. P. A. Camus and M. Lima, "El uso de la experimentación en ecología: supuestos, limitaciones, fuentes de error, y su status como herramienta explicativa," *Revista Chilena de historia natural*, vol. 68, no. 1, pp. 19-42, 1995.
14. J. M. Naredo, "Bases Sociopolíticas para una Ética Ecológica y Solidaria," *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, vol. 5, no. 13, 2006.

15. A. de Castro Cuéllar, J. L. Cruz Burguete, and L. Ruiz-Montoya, "Educar con ética y valores ambientales para conservar la naturaleza," *Convergencia*, vol. 16, no. 50, pp. 353-382, 2009.
16. H. Echavarría Heras, C. Leal Ramírez, R. A. Cabral Tena, E. Montiel Arzate, and C. Rodríguez-Reyes, "Sobre la Necesidad de un Enfoque Interdisciplinario para Abordar la Crisis Ambiental," in *Colección Sobre Epistemología De La Crisis Ambiental Y Economía. Ensayo 1.3. (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teorético. Serie Divulgación)*, Departamento de Ecología Marina, CICESE, 2023.
17. K. L. James, N. P. Randall, and N. R. Haddaway, "A methodology for systematic mapping in environmental sciences," *Environ Evid*, vol. 5, no. 7, 2016.
18. L. Caughlan and K. L. Oakley, "Cost considerations for long-term ecological monitoring," *Ecological Indicators*, vol. 1, no. 2, pp. 123-134, 2001.
19. W. H. Glaze, "What is environmental research?" 2001.
20. Open AI, "Interdisciplinarios Abordan Crisis Ambiental," 2023. [Online]. Available: <https://chat.openai.com>
21. B. Hepburn and H. Andersen, "Scientific Method," in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta, Ed., Summer 2021.
22. J. C. Duicela, J. R. Pozo, and J. F. L. Aguirre, "El Método Científico: Análisis de la literatura," *Revista Imaginario Social*, vol. 3, no. 2, 2020.
23. A. Deiana, D. Granados, and M. Sardella, "El método científico," in *Introducción a la ingeniería*, 2018.
24. Y. Castán, "Introducción al método científico y sus etapas," *Metodología en Salud Pública España*, vol. 6, no. 3, pp. 014, 2014.
25. N. Sbarbati Nudelman, "Educación en ciencias basada en la indagación," *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, vol. 10, no. 28, pp. 11-21, 2015.
26. L. T. C. Cavalcante and A. A. S. D. Oliveira, "Métodos de revisión bibliográfica en los estudios científicos," *Psicologia em Revista*, vol. 26, no. 1, pp. 83-102, 2020.
27. V. Asensi-Artiga and A. Parra-Pujante, "El método científico y la nueva filosofía de la ciencia," in *Anales de documentación*, vol. 5, pp. 9-19, Facultad de Comunicación y Documentación y Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 2002.
28. D. Pájaro, "La formulación de hipótesis," *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, no. 15, 2002.
29. S. L. Hanna, "Sobre las incidencias del método en el carácter crítico de las Ciencias Sociales. Un análisis de la posición de Karl Popper," *Revista Colombiana de Filosofía de la ciencia*, vol. 13, no. 26, 2013.
30. E. E. Espinosa Freire, "La hipótesis en la investigación," pp. 122-139, 2018.

31. M. D. L. A. C. Velasco, "Reflexiones en torno al método científico y sus etapas/Reflections on the scientific method and its stages," *RICSH Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, vol. 8, no. 15, pp. 60-77, 2019.
32. L. E. R. Cárdenas and L. R. Cortés, "Exploración al diseño experimental," *Ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. 9, pp. 51-59, 2000.
33. R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, McGraw Hill México, 2018.
34. N. E. Mayo, M. Asano, and S. P. Barbic, "When is a research question not a research question?," *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 45, no. 6, pp. 513-518, 2013.
35. R. Ibrahim, "Setting up a research question for determining the research methodology," *ALAM CIPTA International Journal on Sustainable Tropical Design Research & Practice*, vol. 3, no. 1, pp. 99-102, 2008.
36. J. A. Arroyo Valenciano, "Las variables como elemento sustancial en el método científico," *Revista Educación*, vol. 46, no. 1, pp. 1-10, 2022.
37. M. I. N. Flores, "Las variables: estructura y función en la hipótesis," *Investigación educativa*, vol. 11, no. 20, pp. 163-182, 2007.
38. M. Á. Villasis-Keever and M. G. Miranda-Novales, "El protocolo de investigación IV: las variables de estudio," *Revista Alergia México*, vol. 63, no. 3, pp. 303-310, 2016.
39. A. Reingod, "Investigaciones de brotes: una perspectiva," *OPS. Boletín Epidemiológico*, vol. 21, no. 2, 2000.
40. K. P. Suresh, "An overview of randomization techniques: an unbiased assessment of outcome in clinical research," *Journal of human reproductive sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 8, 2011.
41. A. K. Akobeng, "Understanding randomised controlled trials," *Archives of disease in childhood*, vol. 90, no. 8, pp. 840-844, 2005.
42. S. Schmidt, "Shall we really do it again? The powerful concept of replication is neglected in the social sciences," *Review of general psychology*, vol. 13, no. 2, pp. 90-100, 2009.
43. S. J. Day and D. G. Altman, "Statistics notes: blinding in clinical trials and other studies," *BMJ*, vol. 321, no. 7259, pp. 504, 2000.
44. M. M. Pithon, "Importance of the control group in scientific research," *Dental Press Journal of Orthodontics*, vol. 18, pp. 13-14, 2013.
45. J. L. Rogers, K. I. Howard, and J. T. Vessey, "Using significance tests to evaluate equivalence between two experimental groups," *Psychological bulletin*, vol. 113, no. 3, pp. 553, 1993.

46. K. Hinkelmann and O. Kempthorne, *Design and analysis of experiments, volume 1: Introduction to experimental design*, vol. 1, John Wiley & Sons, 2007.
47. A. Sil, P. Kumar, R. Kumar, and N. K. Das, "Selection of Control, Randomization, Blinding, and Allocation Concealment," *Indian Dermatol Online J*, vol. 10, no. 5, pp. 601-605, 2019.
48. G. Frampton, P. Whaley, M. Bennett, et al., "Principles and framework for assessing the risk of bias for studies included in comparative quantitative environmental systematic reviews," *Environ Evid*, vol. 11, no. 12, 2022.
49. Z. T. Mora and D. S. Campos, "Investigación científica: protocolos de investigación," *Fármacos*, vol. 12, no. 1, pp. 78-101, 1999.
50. A. S. Lee, "A scientific methodology for MIS case studies," *MIS quarterly*, pp. 33-50, 1989.
51. F. F. Beltrán, D. G. Marzá, R. S. Sanahuja, A. A. Martínez, and S. B. Forcadell, "La gestión de la comunicación para el impulso de la Investigación e Innovación Responsables: propuesta de protocolo desde la ética dialógica," *Revista latina de comunicación social*, no. 72, pp. 1040-1062, 2017.
52. G. Mousalli-Kayat, "Métodos y diseños de investigación cuantitativa," Mérida, 2015.
53. N. Burgos Frías et al., "Aristóteles: creador de la filosofía de la ciencia y del método científico (Parte II)," *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, vol. 5, no. 3, pp. 435-454, 2020.
54. A. Hirsch Adler, "Valores de la ética de la investigación en opinión de académicos de posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México," *Revista de la educación superior*, vol. 48, no. 192, pp. 49-66, 2019.
55. A. Monterrey, "Reproducibilidad de sus resultados: Un reto ineludible para la investigación científica," *Innovación y Ciencia*, vol. XXV, no. 4, 2018.
56. F. Rodríguez-Sánchez, A. J. Pérez-Luque, I. Bartomeus, and S. Varela, "Ciencia reproducible: qué, por qué, cómo," *Ecosistemas*, vol. 25, no. 2, pp. 83-92, 2016.
57. L. Nassi-Calò, "Reproducibilidad en resultados de investigación: los desafíos de asignar fiabilidad," *Cielo en perspectiva*, 2016.
58. A. Cupani, "Acerca de la vigencia del ideal de objetividad científica," *Scientiae Studia*, vol. 9, pp. 501-525, 2011.
59. J. de Irala, M. Á. Martínez-González, and F. G. Grima, "¿ Qué es una variable de confusión?," *Medicina clínica*, vol. 117, no. 10, pp. 377-385, 2001.
60. A. M. Quispe, M. G. Álvarez-Valdivia, and S. Loli-Guevara, "Metodologías Cuantitativas 2: Sesgo de confusión y cómo controlar un confusor," *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, vol. 13, no. 2, pp. 205-212, 2020.

61. C. J. Pannucci and E. G. Wilkins, "Identifying and avoiding bias in research," *Plast Reconstr Surg*, vol. 126, no. 2, pp. 619-625, 2010.
62. T. R. Vetter and E. J. Mascha, "Bias, confounding, and interaction: lions and tigers, and bears, oh my!," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 125, no. 3, pp. 1042-1048, 2017.
63. L. K. Alexander, B. Lopes, K. Ricchetti-Masterson, and K. B. Yeatts, "Confounding Bias, Part I," *ERIC Notebook*, no. 11, 2015.
64. L. K. Alexander, B. Lopes, K. Ricchetti-Masterson, and K. B. Yeatts, "Confounding bias, part II and effect measure modification," *ERIC Notebook*, no. 12, 2015.
65. S. Haneuse, "Distinguishing Selection Bias and Confounding Bias in Comparative Effectiveness Research," *Med Care*, vol. 54, no. 4, pp. e23-9, 2016.
66. B. Macfarlane, *Researching with integrity: The ethics of academic enquiry*, Routledge, 2010.
67. E. Kang and H.-J. Hwang, "The Importance of Anonymity and Confidentiality for Conducting Survey Research," *Journal of Research and Publication Ethics*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2023.
68. M. Koutsombogera and C. Vogel, "Ethical responsibilities of researchers and participants in the development of multimodal interaction corpora," in *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pp. 000277-000282, Sep. 2017.
69. N. H. Steneck, *ORI introduction to the responsible conduct of research*, Department of Health and Human Services, Office of the Secretary, Office of Public Health and Science, Office of Research Integrity, 2003.
70. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Responsible Science: Ensuring the Integrity of the Research Process: Volume I*, Washington, DC: The National Academies Press, 1992.
71. Echavarría Heras, H., Leal Ramírez, C., Calderón Aguilera L., Montiel Arzate, E. & Rodríguez Reyes, C. (2023). *Sobre el Empirismo, Racionalismo y Otras Perspectivas Epistemológicas*. Colección *Sobre Epistemología De La Crisis Ambiental Y Economía*. Ensayo 2.1. (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teórico. Serie Divulgación). Departamento de Ecología Marina, CICESE.