

REPORTE DE INVESTIGACIÓN

1. Nombre del Profesor: Fabiola Sagrario Sosa Rodríguez

2. N. de proyecto registrado ante el Consejo Divisional: 1059 “Evaluación de los impactos del cambio climático en la gestión del agua en la Cuenca de México, percepción de los actores clave y sus respuestas de adaptación”

3. Línea de Generación y/o Aplicación de Conocimiento: Economía y Medio Ambiente, Desarrollo Regional y Desarrollo Económico

4. Área, Grupo de investigación: Área de Crecimiento y Medio Ambiente

A) Título: El cambio climático bajo la perspectiva de la teoría de sistemas

B) Resumen:

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), resultado del desarrollo económico y la expansión urbana a lo largo del siglo XX, han provocado que los parámetros climáticos varíen en todos los rincones del mundo. No se sabe con certeza la velocidad ni la intensidad de estos cambios o sus impactos, lo cual incrementa la exposición de los grupos más vulnerables y los sectores económicos con menores capacidades de adaptación. Se proyecta que la temperatura media mundial aumentará entre 1.1 y 6.4 °C para el año 2050 si las emisiones de GEI no se reducen. Sin embargo, aunque éstas se estabilicen, la temperatura global podría aumentar en 0.9 °C para el año 2100, trayendo consigo severas consecuencias negativas en todo el mundo (IPCC, 2007). Debido a que las variaciones en los parámetros climáticos pueden tener impactos negativos sobre la disponibilidad y calidad del agua, es indispensable desarrollar nuevas formas de gestión que tomen en cuenta los efectos que el cambio climático (CC) podrían tener sobre los recursos hídricos, en particular, con relación al suministro de agua que recibe la población y el cumplimiento de los estándares de calidad. Asimismo, es fundamental identificar las capacidades con las que cuenta la población para adaptarse y aquellas que se requieren desarrollar para reducir las consecuencias negativas de este fenómeno ante diferentes escenarios climáticos.

México es susceptible de ser afectado por variaciones en la temperatura y precipitación. Se espera que los impactos de estos cambios afecten la disponibilidad y calidad del agua que reciben los mexicanos, además de aumentar su exposición a eventos hidrometeorológicos extremos como huracanes, sequías e intensas lluvias. Estos impactos se distribuirán de manera desigual tanto territorial como socialmente, dadas las diferencias en ubicación geográfica, presión demográfica, especialización económica, niveles de pobreza y dependencia de los recursos naturales (Sosa-Rodríguez, 2013; Magrin et al., 2007). Cabe destacar, que el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) identificó a la Ciudad de México y su Zona Metropolitana (ZMCM), como la configuración regional que será más afectada por el cambio climático a nivel nacional, debido a su mayor concentración demográfica y urbana, así como por los problemas ambientales y urbanos

preexistentes en esta área (Sosa-Rodríguez, 2013). La ZMCM se localiza en la Cuenca de México (CM); ésta unidad geográfica comprende 85 localidades pertenecientes a cuatro estados: Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo y Tlaxcala. De los 20.5 millones de habitantes que residen en la CM, 92% se concentra en la ZMCM. Actualmente, el suministro de agua en la CM enfrenta grandes retos. El primero de ellos se relaciona con la baja disponibilidad de agua por habitante en esta zona; la menor en todo el país: la disponibilidad media natural de la cuenca se estima en 1,688 hm³/año, pero dada la elevada concentración demográfica en esta región, la disponibilidad media per cápita reduce a sólo 82 m³/habitante (Sosa-Rodríguez et al., 2014). En segundo lugar, con relación al grado de presión de los recursos hídricos (índice que mide la capacidad de la cuenca para satisfacer con sus recursos hídricos las demandas de sus usuarios), ya que la CM es la región hidrológica con el mayor estrés hídrico en todo el país, el cual asciende a 173%: la extracción total de agua se estima en 2,922 hm³/año, mientras que la disponibilidad natural en 1,688 hm³ (Morales y Rodríguez, 2007). Esta cifra pone en evidencia las dificultades que enfrentan las autoridades de la CM para garantizar un suministro de agua suficiente y seguro para la población y sectores económicos en esta área. Esta problemática es aún más compleja si se toman en cuenta aspectos como la calidad del volumen abastecido y la permanencia del servicio.

En este sentido, los objetivos generales de esta investigación son analizar los impactos del CC en los recursos hídricos de la CM, en particular, en materia de disponibilidad y calidad del agua, además de proponer estrategias que creen y fortalezcan las capacidades de adaptación en esta área, identificando las capacidades de adaptación con las que cuenta actualmente esta región. En este primer reporte de investigación se presentan avances de investigación orientados a explicar el fenómeno del cambio climático y su vinculación con el ciclo del agua.

C) Introducción:

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta no sólo la CM sino el país. El CC es un problema restringido a las élites políticas, económicas e intelectuales en el país, y por ende, no se incorpora a la sociedad en general de manera efectiva, limitando los avances en materia de adaptación. Desafortunadamente, los impactos de este fenómeno afectarán principalmente a los grupos más marginados, siendo necesario implementar nuevas formas de gestión que tomen en cuenta las diferencias en las capacidades, los niveles de exposición y la vulnerabilidad de los diversos grupos y sectores para hacerle frente. Aunque el CC puede afectar directamente el ciclo del agua, modificando la cantidad y calidad del agua, al igual que la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos (IPCC, 2007; Charron et al., 2004; Atherholt et al., 1998); este fenómeno también puede tener impactos indirectos que se ven retroalimentados por las fallas en la gestión. Entre los impactos directos del CC están: 1) disminuir (o aumentar) los caudales de los ríos, afectando la disponibilidad y calidad del agua para el consumo humano y ambiental; 2) provocar variaciones en la Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco precipitación, escorrentía y evaporación, alterando los niveles de los lagos, humedales y embalses; 3) modificar el almacenamiento de las aguas subterráneas y la humedad del suelo; 4) aumentar la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos; 5) reducir el nivel de los caudales y aumentar su temperatura, disminuyendo su capacidad de dilución e incrementando su riesgo a contaminarse con parásitos como Giardia, Cryptosporidium y

Escherichia coli; 6) provocar la desertificación de los suelos y la reducción de las tasas de recarga de los acuíferos por mayores tasas de evapotranspiración; e 7) incrementar el riesgo de salinización y remoción de las aguas fósiles por la disminución de los niveles piezométricos (Sosa-Rodríguez, 2012; IPCC 2007; Chen et al., 2002; Charron et al., 2004). Además de los impactos directos, el CC tiene impactos indirectos que se ven retroalimentados por fallas en la gestión y/o su desarticulación en la planeación. Entre los impactos indirectos se identifican: 1) poner en riesgo la infraestructura, los asentamientos humanos y los ecosistemas ante la ocurrencia de inundaciones y eventos hidrometeorológicos extremos; 2) restringir la producción de alimentos e incrementar los riesgos de malnutrición; 3) intensificar los brotes de enfermedades de origen hídrico; y 4) promover la migración masiva de personas y especies animales en búsqueda de agua y alimentos (Sosa-Rodríguez, 2013; WWAP, 2009; IPCC, 2007; Nielson et al., 2005). Desafortunadamente, el CC constituye una presión adicional que podría tener severos impactos en la disponibilidad y calidad del agua, así como en la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos. Existe evidencia que las temperaturas medias, máximas y mínimas en esta zona ha aumentado en las últimas décadas. De acuerdo con resultados de 67 Modelos de Circulación General (MCGs) ajustados a la escala de la Ciudad de México, se proyecta que la temperatura media anual podría aumentar en hasta 2.8°C para las décadas de los 2070s; valor que supera los 2°C de aumento definidos por el IPCC como límite para que los impactos de las variaciones del clima sean irreversibles (Sosa-Rodríguez, 2013). La precipitación anual se proyecta que disminuirá en promedio en hasta 10.4% para las décadas de los 2070s, aunque los modelos IPSLCM4-SR-A1B y A2 estiman una disminución de hasta un 50%. Un evento de esta magnitud pondrá en riesgo el funcionamiento y la seguridad de los habitantes, ecosistemas y sectores económicos en la CM. Dadas las características hidrogeológicas de esta área, originalmente como una cuenca cerrada donde alguna una vez hubo seis lagos interconectados, es más vulnerable a ser afectada por inundaciones. Esta vulnerabilidad se ha agravado por la urbanización no planificada y el crecimiento de los asentamientos irregulares. Por ende, precipitaciones más intensas pueden aumentar su exposición a inundaciones tanto con aguas pluviales como residuales. Estos eventos puede afectar la infraestructura vial (y con ello, el transporte de bienes y personas), al igual que la distribución y calidad del agua que recibe la población, favoreciendo brotes de enfermedades de origen hídrico. Por otro lado, la reducción proyectada en la precipitación total para esta zona aumentará la dependencia a fuentes de agua cada vez más lejanas de esta cuenca, así como la sobreexplotación de los Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco acuíferos. Bajo este contexto, el cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta no sólo la CM sino el país. Sin embargo, también representa una oportunidad para promover un desarrollo más sustentable si se crean y fortalecen las capacidades de adaptación que se requieren. Existen evidencias que la temperatura y precipitación están cambiando en la CM, incrementándose los riesgos a que ésta sea afectada por inundaciones, sequías, olas de calor, falta de agua y brotes por enfermedades de origen hídrico. Ante esta situación, es urgente mejorar la comprensión que se tiene actualmente sobre los impactos del CC en los recursos hídricos de la CM, la percepción social que existe sobre este fenómeno, las respuestas históricas que se han implementado para hacer frente a problemas del agua para determinar las capacidades de adaptación actuales, así como las respuestas que los usuarios del agua estarían dispuestos a implementar y las limitaciones que enfrentan con el fin de crear o fortalecer dichas

capacidades de adaptación. Los resultados de esta investigación tienen como objetivo ser un insumo para una toma de decisiones más asertiva en materia de gestión del agua ante los retos que el CC le impone, la cual sea capaz de garantizar la seguridad hídrica de esta región. Asimismo, la metodología que se desarrollará puede ser emulada en el resto del país; situación que favorecerá el desarrollo de capacidades de adaptación más efectivas para hacer frente a los impactos del CC. Cabe destacar, que una adaptación exitosa, requiere ser eficaz, sustentable e incluyente, por lo que la participación activa e informada de la sociedad es un requisito fundamental. Hasta el momento, el CC es un problema restringido a las élites políticas, económicas e intelectuales en el país, y por ende, no se incorpora a la sociedad en general de manera efectiva, limitando los avances en materia de adaptación. Desafortunadamente, los impactos de este fenómeno afectarán principalmente a los grupos más marginados, siendo necesario implementar nuevas formas de gestión que tomen en cuenta las diferencias en las capacidades, los niveles de exposición y la vulnerabilidad de los diversos grupos y sectores para hacerle frente.

En este primer reporte de investigación, se presentan avances de investigación orientados a entender el fenómeno del cambio climático desde el enfoque de la teoría de sistemas, con el fin de identificar y entender la compleja relación que existe entre el ciclo del agua y el cambio climático, y como éste puede verse afectado ante cambios en los parámetros climáticos resultando en cambios en la cantidad y calidad del agua.

D) Desarrollo:

d.1 El Sistema Tierra

Aproximadamente 4.5 mil millones de años (edad calculada mediante datación radiométrica), se formó la Tierra a partir de una nube de gases y polvo estelar que comenzaba a orbitar alrededor de un sol recién nacido, las constantes colisiones de cuerpos planetarios más pequeños que se empezaron a producir en esta zona; resultado del efecto gravitacional del sol y de otras variables, se fueron combinando hasta crear una esfera terrestre sólida y cada vez mayor (Frías, 2013).

Al interior, se fueron gestando procesos bioquímicos endógenos y exógenos, de forma gradual o catastrófica que se fueron interconectando, dando paso a variables que una vez enfriado el planeta comenzaron a moldear el entorno creando el ambiente idóneo para que surgiera la vida. Estos procesos se siguen llevando a cabo en la actualidad, pero de una manera más compleja, debido a que los vínculos y la dinámica que fluctúa entre ellos los han hecho evolucionar como resultado de eventos de resiliencia, adaptación y selección (entre otros procesos), dando paso a un gran sistema conocido como Geo-sistema o Sistema Tierra (Vernadsky, 1945). Bajo este enfoque, la Tierra (Gaia) funge como un ser vivo con elementos naturales que se interconectan de una manera tal, que cualquier alteración en ellos implicaría resultados ambientales catastróficos, y por ende, repercutiría en el ser humano—pensamiento nada alejado de lo que hoy en día estamos viviendo con los diversos fenómenos naturales incluidos el Cambio Climático. Destacando así, el funcionamiento del sistema Tierra y los patrones de conectividad entre varios elementos ambientales y los resultados que de estos se desprenden; elementos que más tarde se podrían

ubicar en la teoría de sistemas (Bertalanffy, 1968), en donde se menciona que una las características constitutivas de cualquiera de los subsistemas del sistema no pueden explicarse por las características de sus partes aisladas. Este análisis de las relaciones e interacciones de los subsistemas del Sistema Tierra tiene como fin proporcionar herramientas básicas conceptuales para entender el funcionamiento del sistema ambiental y el sistema humano, evitando simplificar las problemáticas que enfrenta en la actualidad la humanidad asociada con el Cambio Climático y sus impactos en el ciclo del agua, y por ende, la cantidad y calidad del agua disponible para consumo humano y la conservación de los ecosistemas.

Bajo este entendido, buscaremos adecuar los elementos básicos que se presentan en la teoría de sistemas y que mencionamos en el párrafo anterior, tomando como ejemplo, *al ciclo hídrico*, con la finalidad de resaltar la evolución que se ha hecho en el análisis de eventos naturales y sociales bajo este enfoque y como a partir de aquí ha adquirido una mayor relevancia. Observemos la figura que abajo se muestra y que busca representar el ciclo del agua de una manera por demás somera, pero entendiéndolo como un sistema (resultado de un proceso emergente), debido a los elementos y procesos que emergen de él, en este caso los círculos verdes serían los subsistemas ya que cada uno de ellos funciona con los mismos componentes que el propio sistema e interactúan con un ambiente externo que permite que los procesos dentro de él, se gestionen mediante impulsos, fases, series y reacciones que permiten que el ciclo sea cíclico.

Ahora bien, existen factores o motores necesarios para que este ciclo tenga un punto de partida, en este caso en particular, podemos ubicar a factores como la temperatura, humedad y radiación solar (como componentes de entrada) que se transforman al interactuar con los cuerpos acuosos, generando procesos como la evaporación, condensación, fusión o precipitación que hacen que sea un ciclo dinámico y cerrado (en teoría) debido a que la retroalimentación se lleva a cabo entre cada uno de los subsistemas creando un circulo en donde las salidas, se podrían ver representadas de cierta manera, como los servicios ambientales que se desprenden de todo el sistema y que han sido la piedra angular para la subsistencia de la vida misma.

Figura 1: Elementos básico del ciclo del agua.

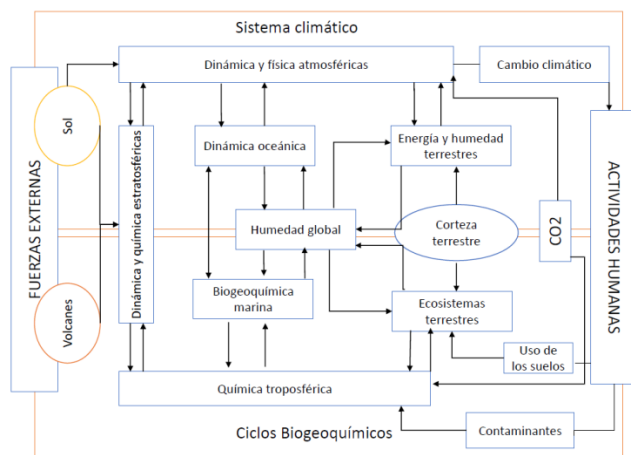


Bajo este enfoque del ciclo hidrológico aplicado a la teoría de sistemas de una manera muy general, podemos destacar elementos fundamentales como:

1. **Sistemas:** Son conjuntos de elementos que interrelacionan e interactúan entre sí para lograr un objetivo en común; dependiendo de sus características pueden clasificarse como artificiales, naturales, sociales, temporales, adaptativos, estables, no estables, probabilísticos y determinativos, en este caso el sistema o supra sistema sería el ciclo hidrológico.
2. **Subsistemas:** Corresponden al conjunto de elementos interrelacionados entre sí, pero que a la vez forman parte de un sistema u supra sistema mayor. Por ejemplo; en el caso del ciclo del agua uno de sus subsistemas, podría ser la evapotranspiración la cual responde al proceso de transformación de estado líquido a gaseoso del agua, para lograrlo conlleva la participación de elementos como la biota, radiación solar, humedad y presión. Siendo así parte de un sistema más completo, o subproducto de un fenómeno vinculante como la fotosíntesis.
3. **El ambiente:** Es el medio que rodea externamente al sistema; es decir, todos aquellos sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento del propio sistema, en este caso el mejor ejemplo sería la radiación solar.
4. **Insumos/procesos de entrada:** Se refiere a los impulsos, procesos y reacciones que permiten que el ciclo dentro de un sistema se inicie, como ya se habían comentado, en este caso podría ser la radiación solar, humedad y presión.
5. **Insumos/procesos de salida:** Son todos aquellos procesos, objetos e insumos que después de haber cumplido con su objetivo al interior de cualquier sistema, salen al ambiente o forman parte de un concepto de entrada en otro subsistema.
6. **Retroalimentación:** Responde al mecanismo de transformación de los elementos de entradas y salidas (Arnold, 1998).

Sin embargo, esta percepción de entender y analizar los eventos naturales y sociales bajo el marco de sistemas, ha sido todo un proceso en el que se han involucrado varias corrientes teóricas y trabajos de investigación y análisis, como el que realizó la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés), denominado “*Earth System Science: A Closer View*” (Earth System Sciences Committee, 1988). En este documento se pone de evidencia en el estudio de las Ciencias de la Tierra que los elementos básicos naturales del planeta están conformados por sistemas interconectados, de los que se desprenden diversos procesos. Esto último, lo podemos observar en el siguiente diagrama.

Figura 2: Diagrama de Bretherton



Este diagrama que se desprende del estudio de la NASA, proporciona visualmente una conceptualización integral del cómo se conectan varios elementos ambientales importantes. Como podemos observar, dentro de las principales interacciones del sistema ambiental y el sistema humano destacan los impactos que se desprenden de ello como lo es el calentamiento global y cambio climático, que desde esta década se veía como una de las principales problemáticas que enfrentaría la humanidad.

Sin embargo, esta propuesta no había incorporado algunas variables como el ciclo del agua, la composición de la atmósfera, el sistema climático y el ciclo geológico, así como la manera en que estos se vinculan y los resultados de dichos procesos de interacción como fenómenos hidrometeorológicos, el adelgazamiento de la capa de ozono y la ocurrencia de deslizamientos, entre otros; la mayoría de ellos, resultado de acciones antropogénicas que están alterando la composición de estos subsistemas de manera más acelerada. A pesar de ello, fue un parteaguas en los estudios de las Ciencias de la Tierra y la comprensión del Planeta bajo el enfoque de sistemas. Sobre todo al concluir con recomendaciones orientadas al fortalecimiento y colaboración institucional dentro y entre las Naciones.

De esta manera, diversas visiones sistémicas se fueron agregando a una perspectiva holística de los elementos ambientales y humanos, sobre todo a partir de la década de los noventa, por ejemplo; una de ellas es la integración del concepto de adaptabilidad y evolución (Gell-Mann, 1992; Le Moigne, 1994), con un marcado énfasis en la relación entre los sistemas ambientales y humanos y su correlación de eventos como el Cambio Climático y los problemas hidrológicos relacionados entre sí, o el artículo titulado “Renacimiento de las ciencias de la Tierra” (Le Pichon, 2000), en donde subraya la necesidad intrínseca de la multidisciplinariedad entre tecnologías, ciencias naturales y sociales para poder abordar de manera más exacta los distintos problemas medio ambientales que se localizan en el mundo.

El conjunto de estas perspectivas (entre otras), ha confirmado el impacto negativo que las actividades humanas han tenido sobre el Planeta, con lo que se fortalece la conceptualización de un nuevo subsistema dentro de la concepción del Sistema Tierra, que es el “socio-ecosistema” (Cumming, 2011). En él, se plantea la idea de una importante dualidad entre los sistemas sociales y naturales interactuando y vinculándose de una manera dinámica, interdependiente y por ende compleja.

Esta interrelación se lleva a cabo mediante procesos y flujos tangibles y no tangibles. Por ejemplo, en el caso de la parte natural podemos identificar, entre otros, a los servicios ambientales y ecosistémicos, los productos naturales bióticos y abióticos y el suelo; por parte del sistema social, ubicamos elementos como la gobernabilidad, la política, la economía, las estructuras sociales, instituciones etc. La complejidad y dinámica resultante de estas variables entre sí crean un universo paralelo en donde se presenta como el ser humano merma al sistema natural, y como ello repercute en el bienestar humano, (subsistema que más adelante se explicará a detalle).

Con base en esta idea de Geo-sistema, de la teoría de los sistemas, los subsistemas, los sistemas naturales, los sistemas humanos y la interacción entre todos ellos, dan paso a una concepción más compleja y de cierta forma, evolutiva a lo que planteaba Bertalanffy en su teoría de sistemas, y que se le ha denominado como Sistema Complejos que presentan las propiedades de dinamismo, no linealidad, propiedades emergentes y auto-organización (Gershenson & Niazi, 2013), y que entendemos como *“Aquella entidad cuyo comportamiento global es más que la suma de las operaciones de sus partes usualmente se le define como un conjunto de relaciones que determinan las clases de interacciones y transformaciones dentro de un sistema y en los arreglos que contribuyen al desarrollo y persistencia de ciertas características dentro de su propia organización”* (Ortíz, 2013).

Bajo este nuevo contexto, al sistema tierra se le suman nuevos elementos como lo son:

1. La composición: que en este caso sería el número de los componentes hidrósfera, litósfera, atmósfera, biósfera, socio-ecosistema, (cuya descripción y funcionamiento se mencionará en los siguientes subtemas).
2. La estructura: que se refiere a la forma en que estos componentes se articulan y vinculan entre sí, en este caso la complejidad que se da entre cada uno de ellos al momento de interactuar con sus entorno o dentro de sí mismo dando resultado a diversos procesos emergentes como lo es el ciclo de agua y el cambio climático (temas principales de estudio en el presente trabajo).
3. La dinámica: que son las transformaciones energéticas y los tipos de trabajo que se realiza cuando el sistema está en funcionamiento, un ejemplo de ello sería la interacción que se da entre el subsistema de la atmósfera con la energía de la radicación solar y los procesos emergentes como el ciclo hidrológico o la formación de las nubes.
4. Mecanismos de retroalimentación: Son aquellos procesos que le permiten al sistema complejo llegar a diferentes estados, desde partidas aparentemente idénticas a resultados diferentes.

5. Procesos emergentes: Son aquellas propiedades que muestran el sistema cuando está en funcionamiento y que pueden reconocerse porque originan procesos ordenados, como el ciclo hidrológico (sin tomar en cuenta la alteración que sufre por las actividades antropogénicas actuales).
6. Atractores: Son los estados que atraen al sistema a una forma concreta de funcionamiento, Ciclos limites (Hevia, 1998)

Además de estos elementos, se toman en cuenta parámetros como los siguientes:

- ✓ El comportamiento estará basado en la conexión de todas sus partes desde una relación no lineal.
- ✓ La visión del fenómeno se da de una manera global ya que se podrán observar los patrones de interacción de los elementos y las estructuras que pudieran emerger.
- ✓ No se puede abordar el sistema complejo desde una visión analítica-reduccionista.
- ✓ Cada parte puede influir en el comportamiento del conjunto.
- ✓ Los sistemas más complejos, representan mayores vínculos
- ✓ La estabilidad del sistema depende de muchos factores, entre ellos, el tamaño, cantidad y diversidad de los subsistemas así como el grado de conectividad entre ellos.
- ✓ Algunas partes del sistema ejercen un mayor grado de control, es decir, suelen ser más importantes, ya que cuanto más alto es el nivel de control de la parte en que se efectuará el cambio, más se extienden y ramifican sus efectos. Cualquier modificación afectará a otras partes del sistema que a su vez afectarán a otras más alejadas del cambio original¹.

Cuyas características deberán ubicar aspectos básicos como:

- ✓ Límites: Por lo regular, en estos esquemas los limites no son precisos ni en su extensión física ni en su problemática.
- ✓ Elementos: Los elementos dentro de los sistemas complejos suelen ser subsistemas complejos que interactúan entre sí de una manera tal que cada una de sus conexiones puede dar como resultado distintas variables y ramificaciones que se conectan con otras siendo indefinible.
- ✓ Existen varias escalas en los sistemas complejos, las más comunes son las de tiempo, de fenómenos, de adaptabilidad, y de resiliencia.

Como podemos observar, estos lineamientos son complementarios a los que se mencionaban en la teoría de sistemas (sistemas, entradas, salidas, subsistemas, ambiente, etc.), Sin embargo, en este caso, se le da un mayor peso a los procesos emergentes los cuales se presentan en el momento en que las variables de los subsistemas se relacionan y dan paso a eventos o fenómenos que alteran al todo en su conjunto por lo que es importante no descomponer su conjunto ya que al intentar hacer un análisis reduccionista para atacar un sistema en específico, podremos perder

¹ Ortíz, Walter Ritter, "Síntesis Metodológica Transdisciplinaria en Sistemas Complejos", 2013

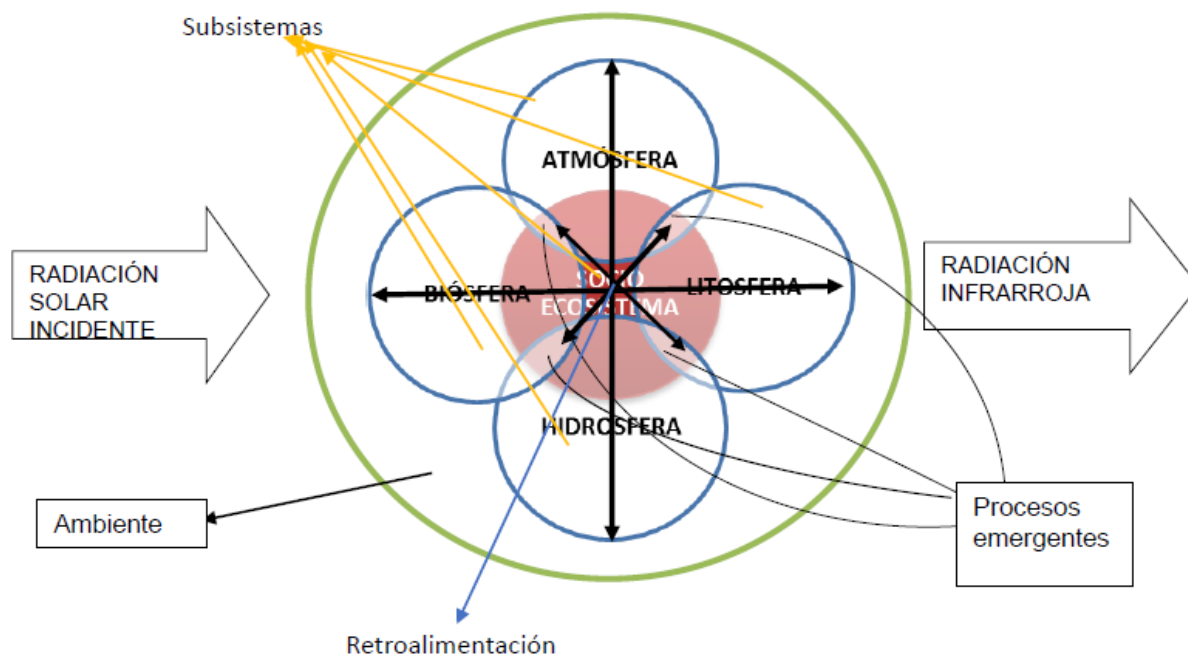
estas propiedades (Ballesteros, 2013).

Ahora bien, si logramos comprender la dinámica del planeta y de cada una de sus partes, bajo este esquema y además, buscamos generar acciones que nos permitan coexistir de forma armonizada entre estas cinco grandes esferas y su vínculo con el humano, podremos enfrentar y prever de mejor manera las problemáticas ambientales que vivimos, ya que entenderemos la correlación del todo, y nuestras acciones en vez de empeorarlas a largo plazo, lograran mitigarlas.

Por supuesto, que esto no es una tarea fácil, existen distintas variables que se tendrían que trastocar así como voluntades a generar, sin embargo; uno de los objetivos del presente trabajo es entender esta relación entre el funcionamiento desde adentro hacia afuera de un sistema y viceversa desde afuera hacia adentro, ubicar como las acciones que se generan (sobre todo en cuestiones ambientales y que están relacionadas intrínsecamente con el ser humano), pueden llevarse a cabo de una manera que no afecte nuestro entorno y además que nos permitan subsistir y asegurar el futuro a las generaciones próximas.

Partiendo de esta idea, pero sobre todo del marco de los sistemas complejos y los elementos explicados anteriormente; observamos al Sistema Tierra como un todo, en donde sus principales elementos son cinco: 1) Atmósfera, 2) Biósfera, 3) Litósfera, 4) Hidrósfera y 5) Socio-ecosistema:

Figura 3: El sistema Tierra.



Como observa, el sistema Tierra es un sistema abierto que carece de límites bien definidos, por ejemplo, al exterior las relaciones emergentes del planeta se dan con base en la radiación solar incidente como flujo de energía de entrada y con la radiación infrarroja como flujo de energía de salida, en el caso de algún tipo de intercambio de materia no hay actividad de entrada o salida, como la hubo al inicio de la formación del planeta (salvo acontecimientos específicos como la salida paulatina de gases ligeros como el hidrogeno o el impacto esporádico de pequeños asteroides o polvo estelar).

Sin embargo, lo más interesante sucede al interior, ya que la dinámica que se da entre cada uno de los subsistemas (biosfera, hidrosfera, litosfera, atmósfera y socio-ecosistema) es demasiado compleja porque toda aquella alteración que se llega a presentar en un elemento, ciclo, sector, etc. trasciende de múltiples formas a través de un conjunto de relaciones que van definiendo la estructura del sistema, en este punto se depende de variables como la resiliencia y adaptabilidad debido a que la falta de una de ellas conlleva a la reorganización total del sistema, generando nuevas relaciones, nuevas estructuras emergentes y nuevo funcionamiento; un ejemplo de ello es el actual cambio climático él que si bien es cierto, representa un proceso natural que ha ocurrido en distintas eras, ahora que se manifiesta de una forma tan acelerada se prevé que gestione una nueva ordenación espontanea de algunos sub-sistemas dentro de la tierra, debido a las acciones antrópicas que han generado dicha aceleración.

Por lo que debemos tener muy en cuenta que esta misma complejidad constituye una de las principales problemáticas al momento de estudiar los sistemas bajo este enfoque. Ya que las propiedades emergentes son propiedades del todo, no de las partes, son muy difíciles de predecir, no pueden ser deducidas de propiedades de las partes, y no pueden ser manipuladas por herramientas analíticas. Siendo así, el sistema Tierra por demás complejo, dinámico y evolutivo, ya que además, intervienen flujos de energía, de momento, humedad y el movimiento de las masas (como procesos emergentes), así mismo cada uno de éstos subsistemas cuenta con factores que al interactuar con otros se generan escenarios tan complejos que sería imposible el abordarlos desde una perspectiva reduccionista, debido a que las propiedades emergentes no cuentan con un comportamiento individual predecible (Wilensky & Resnick, 1999). Tal y como se muestra a continuación.

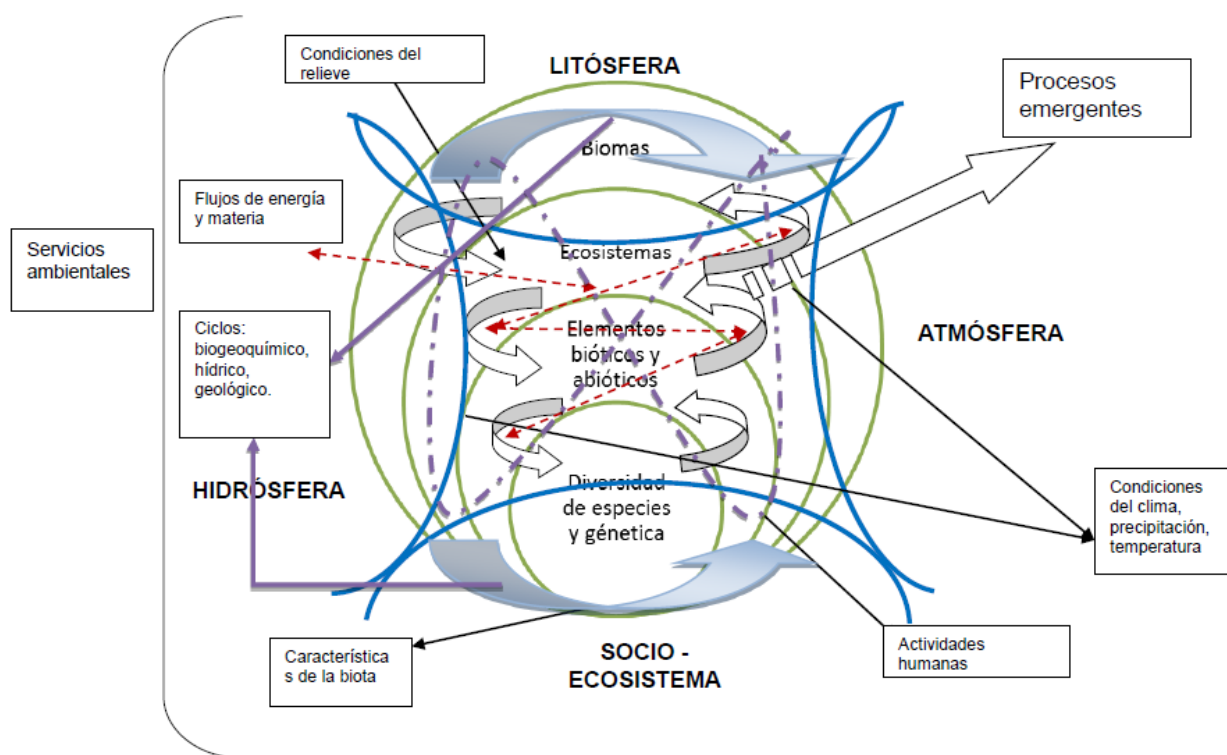
d.2 Biósfera

La biósfera representa al subsistema en donde se alberga y desarrolla toda la vida que existe en el planeta dentro de su área de influencia que va desde el subsuelo, la profundidad de los océanos y la atmósfera. Sin embargo, lo que vemos ahora es el resultado de todo un proceso que se ha llevado a cabo a lo largo de la formación del planeta y que ha tenido muchos causales.

Muchos autores concuerdan en que la formación de la atmósfera y la transformación de una tierra primitiva a la que hoy en día conocemos, comenzó en los océanos, en donde con ayuda del sol y de bacterias (inicialmente y ya después con algas, plantas marinas, etc.), se capturaba la luz solar y mediante el proceso de la fotosíntesis se comenzó a transformar el dióxido de carbono en oxígeno y compuestos orgánicos (como azúcares).

Esto dio paso a la evolución y a procesos de asociación simbiótica que se llevaron a cabo con algunos de los primeros organismos unicelulares que vivieron en la tierra, surgiendo de esta manera un sinnúmero de especies que permitió la selección natural, así como diversos entornos gracias a distintas variables como la temperatura, precipitación, altitud, latitud, profundidad etc.. Bajo este entendido, y con el afán de poder ejemplificar la relación de la biósfera desde un concepto básico de sistemas complejos, podríamos tener algo similar a lo siguiente:

Figura 5: Subsistemas de la biósfera.



Como podemos observar, existe una relación inseparable entre la biosfera, el agua, aire, suelo y los diversos ciclos que impactan directa o indirectamente en cada uno de ellos, y que han sido fundamentales para que los elementos que se mencionan dentro de la esfera verde se hayan podido gestar. Dentro de estos principales elementos, encontramos a los biomas, que son esas extensas zonas del planeta con ciertas características similares (vegetación predominante, clima, suelo, topografía, especies, etc.), los cuales se pueden dividir en: 1) Terrestres, 2) Acuáticos y 3) de interfase. En el caso del primero de ellos, podemos encontrar algunos biomas como el desierto polar, la tundra, los bosques (diversos tipos de bosques), desiertos, sabana, entre otros; en el caso de los acuáticos, podemos mencionar a los neríticos y pelágicos o de alta mar y; por último, en el caso de los biomas de interfase; son aquellos en los que confluyen distintos ambientes del terrestre y marino.

Cada uno de ellos está conformado por diversos grupos de ecosistemas (como los desérticos, de bosque, de litoral, de río, etc.) en donde se da un interesante intercambio de flujo y materia entre las especies que ahí se encuentran y sus entornos (abiota).

Estas especies que se mencionan juegan un rol muy importante ya que ellas representan el soporte, mantenimiento y subsistencia de la biosfera, además de los diversos servicios ambientales que proporcionan como los de provisión (alimentos, medicamentos, agua dulce, maderas, combustibles, vestido, etc.), los de regulación (balance gaseoso CO₂, estabilidad y formación de suelos, reciclado de nutrientes, productividad primaria, etc.), los de soporte, [en donde algunas especies son productoras de alimento (como el fitoplancton o las plantas), otras son consumidoras (herbívoros, carnívoros, etc.), y existen aquellas conocidas como especies encargadas de la descomposición, como los hongos y bacterias que transforman el suelo, la materia orgánica de los tejidos muertos de plantas y animales en nutrimentos], hasta los servicios culturales; completando de esta manera, un ciclo tan básico pero complejo que ha ido evolucionando en una inmensa variedad de especies.

Dentro de los ciclos que se mencionan en la figura 2, (y en relación a las especies bióticas y abióticas que se mencionan arriba así como a sus servicios), uno de los que más destaca es el biogeoquímico el cual al combinarse con variables como las de intercambio de energía y materia han sido la base fundamental para la formación de la vida, ya que en ellos se engloban combinaciones con recursos como como el agua, oxígeno, carbono, nitrógeno, fósforo, así como con proteínas, carbohidratos, lípidos, etc. que han representado la base fundamental para la existencia de la vida.

De esta manera se han formado todas las especies que conocemos y que representan más de 10,000,000 de especies, según el UICN en el 3013 de este número tan grande, apenas y vislumbramos la punta del iceberg en relación a los roles y características que tiene cada uno de ellos. No obstante, las especies no están distribuidas homogéneamente en el planeta, sino en patrones que están determinados por diversos factores. Mientras algunas áreas poseen una diversidad de especies excepcional como las selvas tropicales y los arrecifes coralinos, en otras el número de especies es considerablemente menor (como en algunas regiones polares o desérticas y en las ventilas hidrotermales de los fondos oceánicos). El estudio de la distribución de las especies también se puede abordar desde una perspectiva global, regional, local, por ecosistema o incluso a nivel de hábitad, de acuerdo a los elementos que ahí convergen, a los comportamientos que representan y por supuesto a sus funciones dentro de los subsistemas en que se encuentran.

d.3 Litósfera

La litosfera es la parte sólida de la corteza terrestre del mundo y sus características geológicas son el resultado de la conformación del planeta mismo debido a procesos endógenos y exógenos de composición y estructura que han dado forma al relieve y a toda la superficie de la Tierra, sin embargo; para llegar a este punto sublime de unión tuvieron que llevarse a cabo una serie de eventos que iniciarían desde que se formó el sol y las fuerzas gravitacionales que se dieron a partir de ello y que fungieron como catalizadores para que las masas de polvo y materia estelar se

fueran uniendo en esferas que gravitaran alrededor de esta estrella recién nacida, una de ellas la Tierra.

Cuando se formó el planeta, era una roca homogénea y fría compuesta por polvo cósmico y gases unidos por la atracción gravitacional. Sin embargo la comprensión de estas variables aunado a los elementos más pesados y su radioactividad hicieron que se calentara fundiéndose mediante procesos de temperatura y gravedad. De esta manera, los elementos más pesados (hierro y níquel) se hundieron y formaron el núcleo mientras las rocas y elementos más ligeros ascendieron y formaron la corteza y el manto, a partir de la presión que se estaba generando al interior de la Tierra se formaron los volcanes que emanaban las primeras erupciones dando paso a la temperatura terrestre y a la formación de la atmosfera (como más adelante se mencionará).

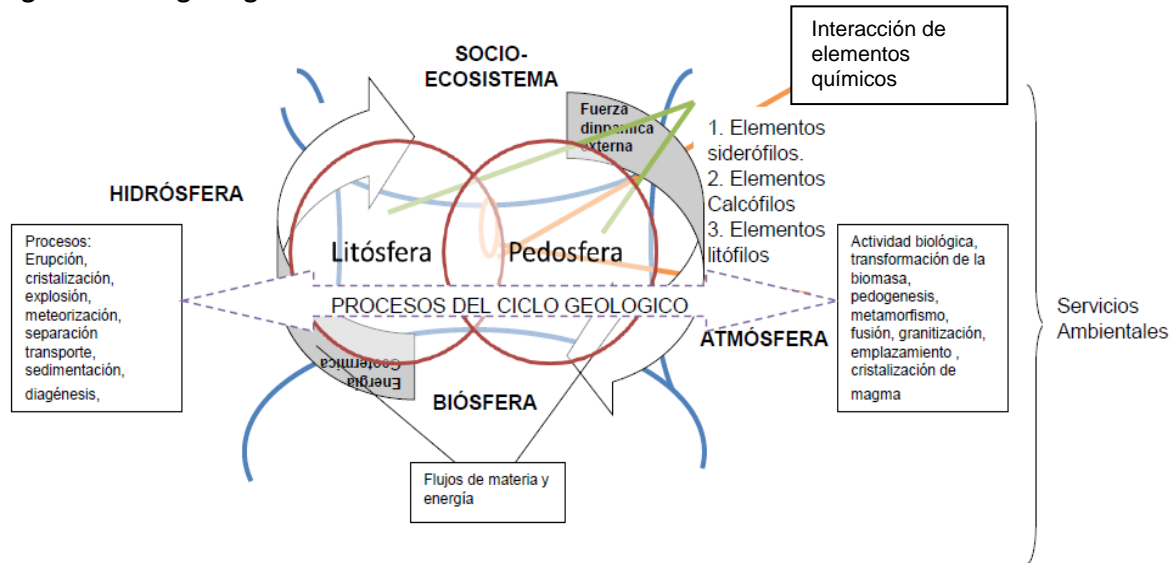
Una vez que dicha masa se fue enfriando se conformó una gran capa terrestre, la Pangea (Wegener, 1966), sin embargo, este subsistema, es dinámico y paulatinamente evolutivo parte de esta evolución se lleva a cabo mediante las placas tectónicas, con las cuales se explica la destrucción y formación de la corteza terrestre a partir de dorsales oceánicas y grandes cordilleras entrelazadas que recorren a todo el planeta, como lo es la cadena montañosa de los andes que atraviesa el atlántico, emerge en Islandia, rodea África, pasa por el Indico entre Australia y la Antártida y vuelve al norte del Pacífico, (Dilek & Furnes, 2011). Formando así los continentes que hoy en día conocemos.

Sin embargo, existen varias teorías al respecto, como la de la Tierra (Hutton, 1960), que describe la evolución de la tierra, como un ciclo ininterrumpido que basa su origen y evolución en el núcleo de la tierra, en donde dicha energía levanta el relieve que es destruido por elementos externos y el resto se hundiría en mar, en donde se almacenaría y de nuevo el calor del núcleo los arrojaría repitiéndose una y otra vez el ciclo. Otros autores como Abraham Gottlob Werner (Ospovat, 1980), concluían que la formación de la Tierra se llevaba bajo un proceso lineal, en donde la superficie terrestre se encontraba debajo de los océanos, una vez que se llevaron procesos endógenos, ésta tendió a subir, y después modificarse, y al final degradarse lineal y paulatinamente.

Con los actuales conocimientos podemos determinar que los procesos evolutivos y dinámicos de la Tierra se llevan a cabo de forma paulatina los cuales se repiten pero no bajo una secuencia o patrón predeterminado ni tampoco las condiciones en las que lo hacen.

Por supuesto que para que se logre lo antes expuesto, la litosfera al ser parte de un sistema complejo, sus elementos interactúan con los diversos subsistemas dando forma y soporte a procesos abióticos y bióticos por mencionar algunos, de esta manera, si queremos graficar de una forma acercada cuales son estos principales elementos, podríamos encontrar algo similar a lo siguiente:

Figura 8: Ciclo geológico



Como podemos observar, además de graficar a la litosfera como un subsistema único, también hemos considerado a la pedosfera la cual corresponde a la formación del suelo, que es esa pequeña capa delgada que se ubica por encima de la corteza y la cual muchos investigadores entienden como “El resultado de los procesos que se llevan a cabo dentro y fuera de las capas de la corteza terrestre y del intercambio de material orgánico y energía que se desprenden de ellas” Los dos subsistemas son complejos, interdependientes pero a la vez complementarios, ya que mientras en el caso de la litosfera genera la formación del relieve y la corteza terrestre debido a los dorsales oceánicos y placas tectónicas que se desplazan lentamente sobre la astenósfera y en donde al momento de interactuar con la biosfera se forman ocho regiones biogeográficas en el mundo: La Paleártica (que incluye a Europa, Asia y el norte de África), la Neártica (Norteamérica, incluyendo la parte norte de México), la Neotropical (sur de México, centro y Sudamérica), la Afrotropical (África sub-sahariana y el extremo sur de Arabia), Indomalaya (sureste de Asia, Filipinas e Indonesia), Austral-Asiática (Australia, Nueva Guinea y Nueva Zelanda), Oceánica (Polinesia, Fiji, Micronesia) y Antártica (Wegener & Cruz, 2012).

En el caso de la pedósfera, se encuentran todas las partículas minerales, materia orgánica y espacio poroso que pueda estar lleno de agua o aire variando por el tiempo y conformando el suelo, en donde su funcionamiento se lleva a cabo mediante ciertas interacciones entre procesos físicos, químicos y biológicos, además de los distintos agentes microbiológicos que en su interior genera una dinámica por demás compleja que involucra, además; la interacción de distintos microorganismos, hongos, raíces, bacterias, la materia orgánica y las diversas especies que viven en la Tierra.

El resultado de esta interacción (proceso emergente) se ve reflejado en la buena calidad y naturaleza de los medios de subsistencia y los ecosistemas asentados que nacen y se encuentran por encima de él, generando así todo un ecosistema natural de formación de tan solo dos

centímetros de capa superficial lo cual puede tardar más de 500 años.² Sin embargo, existen más elementos que se mueven en este ciclo, como es el caso de la energía geotérmica que es y fue la encargada de transformar la corteza terrestre mediante elevaciones o hundimientos, y la fuerza de la dinámica externa debida principalmente a la acción del sol y a los efectos gravitacionales que se mencionaban en un principio. De esta manera, estos dos grandes subsistemas se encuentran conformados por elementos como el azufre, hierro, oxígeno, aluminio, calcio, potasio, magnesio y sodio, y se divide en corteza, manto superior, manto, núcleo externo, núcleo interno.

d.4 Hidrósfera

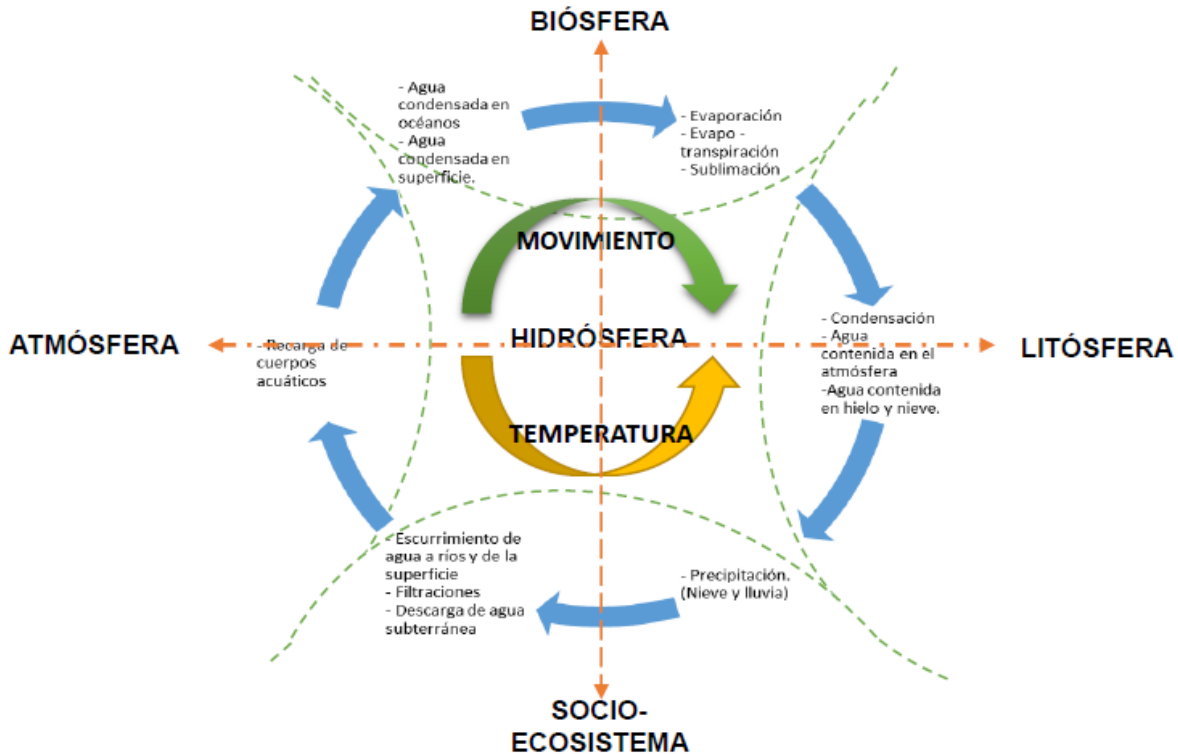
La hidrósfera es el subsistema base de la Tierra, existe en la mayor parte del mundo y como ya se ha mencionado en el tema anterior, ésta tiene una relación estrecha con los demás subsistemas además de ser la piedra angular de cualquier forma y subsistencia de vida en el mundo. Ella está conformada por la capa de agua que podemos encontrar en el planeta, en sus distintos estados; sólido (criósfera, hielo), gaseoso (vapor de agua) y líquido; en los distintos cuerpos de agua distribuidos alrededor y dentro del sistema Tierra, como lo son mares, ríos (terrestres y subterráneos), océanos, lagos, lagunas y glaciares ya sean superficiales, submarinas o incluso artificiales.

Este subsistema es el resultado de todo un proceso que se gestó desde el inicio de la formación de la Tierra; de lo cual, existen muchas teorías no obstante, la más aceptada es la teoría de volcanes, que menciona que el agua surgió a partir de distintos procesos exógenos y endógenos que se generaron durante la fase de creación del planeta tal y como lo conocemos (Fontúrbel & Molina, 2004), principalmente por la erupción de volcanes en donde las exhalaciones que se registraban debido a la presión que tenían, expulsaban agua en forma de vapor además de gases como el dióxido de carbono y nitrógeno, con lo que se fue moldeando el entorno primitivo del planeta.

Este proceso evolucionó por varios miles de millones de años; una vez que la corteza terrestre se enfrió por completo y había delimitado su relieve, la interacción del sol con el vapor de agua que estaba condensada en la atmósfera y que se había acumulado por todo ese tiempo, paso a estado líquido formando océanos y mares, en los que se fueron creando pequeños microorganismos que comenzaron a gestar el proceso de la fotosíntesis que además de formar la base de oxígeno de la atmósfera, también fue un elemento muy importante en el ciclo hidrológico que se estaba generando y que ha evolucionado de una manera tal, que el flujo de materia y energía que en él encontramos es más complejo, ya que incluye nuevos elementos y procesos que han hecho que este ciclo sea como a continuación se muestra:

² United Nations Convention to Combat Desertification, "Documento informativo: segunda conferencia informativa de la CLD" 2013

FIGURA 4: CICLO DEL AGUA



Como podemos ver, son muchas las variables que convergen en él, sin embargo; encontramos componentes básicos como los de almacenamiento (océanos, hielo y nieve, agua subterránea, agua dulce), los que son parte propia de la atmósfera (condensación, precipitación, evaporación y transpiración), los de la superficie de la tierra (deshielo, escorrentía, caudal o flujo fluvial y manantiales) y los que se encuentran por debajo de ella (infiltración, humedad del suelo, recarga de aguas subterráneas). Todos ellos, interactuando de una manera compleja pero ordenada a la vez, mostrando un equilibrio cuidadosamente planeado resultado de una evolución natural en donde cada uno de ellos incide con el otro y consigo mismo.

Por ejemplo en el caso de los componentes de la atmósfera, en particular el proceso de la evaporación, cuyo resultado se da gracias a la interacción de la radiación solar sobre los diversos cuerpos de agua en la tierra que se calientan y en el que se suma la transpiración elemento igual de importante, ya que éste representa toda la humedad que las plantas extraen del suelo y debido al sistema radical de las mismas eventualmente se evapora (esta suma se conoce como evapotranspiración).

Según datos de la SEMARNAT la evapotranspiración representa el elemento de pérdida de agua del suelo más significativo en el ciclo, en donde los árboles suelen tener las tasas más altas. Una vez que éste vapor es acumulado y debido a su estructura molecular, sube hasta la tropósfera (la mayor parte de él), estando ahí y con la ayuda de los vientos se mueve por todo el planeta combinándose con la temperatura del entorno haciendo que el vapor se condense y formen las nubes, éste proceso requiere de gran energía en forma de calor latente para que las partículas que se encuentran dispersas, colisionen y caigan en forma de precipitación en distintas formas, como la nieve que se llega a acumular en capas de hielo de superficies montañosas y/o glaciares; ésta nieve acumulada es un elemento de sustento básico para algunas zonas de sequía o aridez ya que las abastece de agua debido al deshielo que se presenta gracias a una serie de combinaciones entre variables como la temperatura de la capa de nieve, albedo, densidad, volumen de la capa de nieve y factores atmosféricos como (viento, humedad relativa, temperatura del aire, insolación).

Otra forma de precipitación se presenta como lluvia, granizo, rocío o escarcha que cae sobre los océanos o la superficie de la tierra. Además de estas formas, existen diversos tipos de precipitación como la ciclónica o frontal, la precipitación por convergencia, la precipitación conectiva y la orográfica, que en cualquiera de los casos que se refiere, parte de ella fluye sobre el terreno permaneciendo en él, y otra parte se infiltra por el suelo por las diversas características físicas del espacio en donde se encuentra así como al tipo de precipitación, la intensidad de la lluvia, la cobertura, el contenido de humedad y la temperatura, recargando de esta manera los distintos cuerpos de agua y abasteciendo a la cobertura vegetal que se encuentre en la región.

Así mismo, Existen varios tipos de recarga, se encuentra la natural, que debido a la gravedad, inclinación y otras variables, llega hasta los depósitos de agua subterránea, o la artificial o inducida que es aquella que intenta aumentar la cantidad de agua subterránea. Sin embargo, si la tasa de precipitación excede la capacidad que el terreno tiene de infiltración, se genera la escorrentía superficial que sumado a factores antrópicos crea inundaciones y una serie de fenómenos como deslaves, desbordamientos, entre otros. De esta manera observamos que el ciclo del agua aunque se encuentra en constante movimiento, es cíclico y su interacción con los demás subsistemas es vital para que cada uno de ellos funcione, por ejemplo en el caso de la biósfera se lleva a cabo un proceso de interacción muy importante ya que gracias al abastecimiento de este vital elemento se ha podido gestar la variabilidad climática, la diversidad de especies y ecosistemas que conocemos, además de los diversos servicios ambientales que genera y que son fundamentales para la supervivencia del ser humano. En el caso de la litosfera, su dinámica llega a ser más lenta, debido a que este elemento interacciona básicamente por la precipitación (ya sea en lluvia o nieve) la cual una vez que cae al suelo y se generan los procesos de infiltración, escorrentía y los demás ya mencionados logra encontrar su cauce y termina almacenándose o regresando a cuerpos acuáticos en donde todo el ciclo comienza de nuevo.

Con la atmósfera, su relación se ve más estrecha debido a las variables con las que interactúan como la radiación solar, viento, presión, rotación y humedad del aire. Esta unión resulta en eventos como el de las corrientes (desplazamientos constantes de masas de agua a gran velocidad cuya variable es en la mayoría de los casos una misma dirección de una manera constante

resultado de la densidad del agua, su composición, salinidad, temperatura, fuerza del viento y rotación), las cuales se forman en dos tipos; las frías (que se originan en los polos y van al ecuador) y las cálidas (que van del ecuador a los polos) y de forma superficial y submarina, éstas, al verse afectadas por la rotación de la tierra, forman circuitos marinos y/o corrientes marinas. Estas son de suma importancia ya que en ellas se gestionan procesos importantes como su influencia en la acumulación de oxígeno, ayudan a regular el clima, son fuente primaria para la supervivencia de los ecosistemas directos e indirectos pues en ellas se genera y distribuye en plancton (fuente primordial de alimentación para las especies marinas), y facilitan o dificultan la navegación.

Sin embargo, una vez que dicho equilibrio natural se ve influenciado por el socio-ecosistema y aspectos ambientales como la altura del territorio, el viento, la radiación solar controlando la temperatura y la presión que influye en la humedad del aire, pero sobre todo por aquellos de origen antrópico como lo son: 1) Desechos orgánicos, 2) Sustancias químicas inorgánicas (como ácidos, sales y metales tóxicos), 3) Nutrientes vegetales inorgánicos (en exceso), 4) Compuestos orgánicos (moléculas como el petróleo, plaguicidas, detergentes, etc.), 5) Sustancias radioactivas (isótopos radiactivos), 6) Contaminación térmica (que responde más a procesos industriales y 7) GEI.

El ciclo hidrológico se ve alterado de una manera tal que la disponibilidad regional se ha visto afectada y por ende los procesos emergentes, subsistemas, ecosistemas, biota, suelos, etc., mermando así la calidad de vida del ser humano e impactando en los demás subsistemas.

d.5 Atmósfera

La atmósfera es aquella capa gaseosa que rodea al mundo la cual, además de protegernos de la radiación solar y partículas estelares, es parte fundamental del ciclo del Sistema Tierra y por supuesto, un subsistema transcendental en la generación de vida que existe en el planeta, sin embargo; no siempre ha sido así, la atmósfera que nos rodea hoy en día es el resultado de un proceso evolutivo que ha llevado poco más de 4,500 millones de años. Al inicio, y como se ha mencionado en los subtemas anteriores, la Tierra estaba conformada por un núcleo incandescente fundido, rodeado de nubes espesas de polvo y gases todo ello debido a la erupción de volcanes, al bombardeo de materia estelar que impactaba en la Tierra (como los meteoritos), y que incrementaban su temperatura y por supuesto a los distintos procesos endógenos que se gestaron como parte de la evolución y formación de la misma.

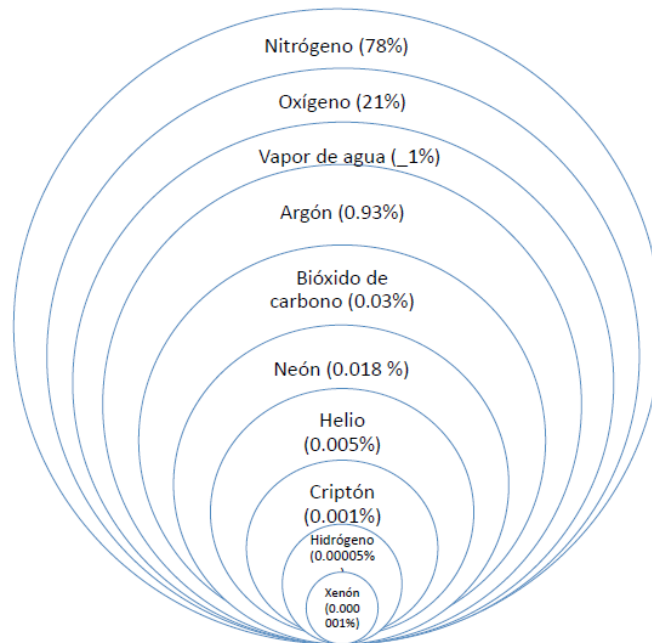
De esta manera y como resultado de la evolución mencionada, el planeta se fue enfriando, formando una superficie terrestre sólida y una atmósfera primitiva formada principalmente por metano, dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua (vapor de agua que más tarde se convertiría en océanos), además de hidrógeno y monóxido de carbono –estas dos últimas en muy pequeñas proporciones. Debido a la combinación de variables naturales y a procesos emergentes del sistema complejo de una Tierra primitiva, surgieron microorganismos de catálisis totalmente inorgánica basada en los elementos y factores que en ese momento determinaban el entorno de la Tierra como el hierro y azufre, y que sobrevivían al ácido sulfúrico, como fue el caso del *Ferroplasma acidiphilum* (NATURE, 2006), aunque también no se descarta la teoría que menciona

que estos microorganismos llegaron a la Tierra por el material extraterrestre que se había impactado durante todo este proceso.

En cualquiera de los dos casos, estos microorganismos fueron evolucionando y se adaptaron a un entorno hostil que cambiaba paulatinamente, parte importante dentro de este proceso fue el de la fotosíntesis que se fue generando en el transcurso de los años y mediante la cual, la vida microscópica recién nacida en los océanos, evolucionó y llevo a cabo fases bioquímicas que fueron alterando el entorno atmosférico del planeta generando oxígeno y cambiando por completo el hábitat planetario.

De esta manera y una vez que el Sistema Tierra fue modificado debido a los procesos e interacción de las variables ya mencionadas; la atmósfera se conformó de los siguientes elementos:

Figura 6: Composición de la atmósfera actual.



Fuente: El cambio climático, causas efectos y soluciones, SRE, 2010

Los elementos que se han mencionado y que actualmente conforman la atmósfera, interactúan entre sí y con el sistema Tierra de distinta manera para generar las diversas fases y procesos que se gestan sobre el planeta; por ejemplo, de acuerdo a sus funciones podemos encontrarlos en tres grandes grupos:

Aquel que se divide de acuerdo a su composición química; el cual se puede clasificar en dos subgrupos: la homosfera, que comprende aproximadamente los 80 km inferiores de la atmósfera y se conforma por la mayoría de los gases mencionados en la gráfica de arriba de una manera

constante y uniforme pero que varía en su densidad conforme la altura incrementa; en ella, se concentra cerca del 90% del total del gas atmosférico el cual lo podemos ubicar en los primeros 30 km a partir de la superficie terrestre. Esta es la capa más importante, ya que ella nos provee del aire que respiramos y nos brinda protección de la radiación solar y el material espacial que se acerca a la tierra, además almacena la energía térmica que permite que el planeta sea habitable, el cual abarca a la troposfera, estratosfera y mesosfera.

El segundo subgrupo es la heterosfera la cual se extiende hasta cerca de los 3500 km de altura, en ésta, la composición del aire varía y hay una mayor concentración de gases ligeros como el helio, hidrogeno, nitrógeno y oxígeno, la latitud de esta etapa comienza en donde termina la de la homosfera. El segundo grupo también se divide en dos, aquellos que se caracterizan por su función en la ionosfera; es decir, a la parte ionizada de la atmósfera (cargada de electricidad), debido a la absorción de radiaciones solares, es ésta la que permite que las ondas de radio emitidas por la superficie terrestre puedan viajar a gran distancia, además también es la capa en donde la mayoría de meteoroides se desintegran. El segundo subgrupo se caracteriza por su comportamiento en la ozonosfera que es la capa en donde se concentra el ozono atmosférico de espesor variable ubicado entre 10 y 50 km de altura, la cual absorbe gran parte de la radiación ultravioleta.

El último grupo se encuentra determinado por la temperatura, la cual es resultado de la relación íntima entre el sol, la composición de la atmósfera y la hidrósfera, su forma de interacción comienza cuando la incidencia solar (radiación de onda corta) atraviesa la atmósfera calentando la superficie terrestre, la cual absorbe parte de ella y el resto es reflejado al espacio por los océanos, nieve y otros agentes que cuentan con características considerables de albedo –capacidad de reflexión de energía solar–, por ejemplo, existen materiales irregulares con color oscuro y textura áspera que tienen un nivel de albedo bajo por lo que absorben una buena cantidad de radiación solar como los bosques. En cambio los materiales uniformes y de color claro como pastizales o la nieve tienen un albedo más alto lo cual quiere decir, que tienen una capacidad de reflexión mayor a la par que retienen menor energía solar.

Además esta radiación se ve atrapada, afectando la temperatura regional y la de la atmósfera inferior, esto debido a la dinámica de movimiento que se gesta dentro del Sistema Tierra y a la curvatura del planeta –por ello, cada región representa un grado de temperatura, por ejemplo, la existente entre los polos y el ecuador–. En casos contrarios, la temperatura disminuye debido al nivel de humedad que existe en el aire, el cual se da por la capa nubosa que se genera sobre el suelo, por la conductividad, las propiedades del suelo o superficie, la vegetación, color, textura entre otros.

Estos cambios de temperatura entre frío y caliente se lleva a cabo en gran medida por un agente muy importante en la atmósfera y que se ha mencionado varias veces “el vapor de agua” en el momento en que se gestan algunas de las fases de cambio del ciclo hidrológico, como la condensación mediante la cual se introduce calor al ambiente incrementando el calentamiento en la atmosfera que es lo que se conoce como calor latente, el cual es un proceso emergente muy

importante del Sistema Tierra en la formación y desarrollo de tormentas, tempestades e incluso huracanes. Caso contrario a lo que sucede cuando se presenta la fase de la precipitación, en donde la temperatura disminuye y se puede presentar escarcha, rocío o neblina.

Como podemos observar existe una marcada y compleja relación entre la atmósfera y el ciclo hidrológico, sin embargo, el más mínimo desequilibrio en él alterara factores como la temperatura, como la conformación química de la atmósfera y por ende el incremento y disminución de fenómenos hidrometeorológicos que se presentan en las regiones, generando problemas como sequías, aludes, inundaciones, erosión, pérdida de biodiversidad, entre otros, temas y problemáticas que se han incrementado al interactuar con el subsistema del socio-ecosistema, el cual es el próximo subsistema a discutir.

d.5 Socio-ecosistema

Como se mencionó al principio del capítulo, este subsistema (Ballesteros, 2013) se refiere a la relación tan cercana que existe entre el sistema social que abarca al ser humano y el entorno y dinámica que emergen de él, y al sistema natural con todos los servicios, ventajas y funciones que engloba y que son parte fundamental para que la supervivencia del primero se logre.

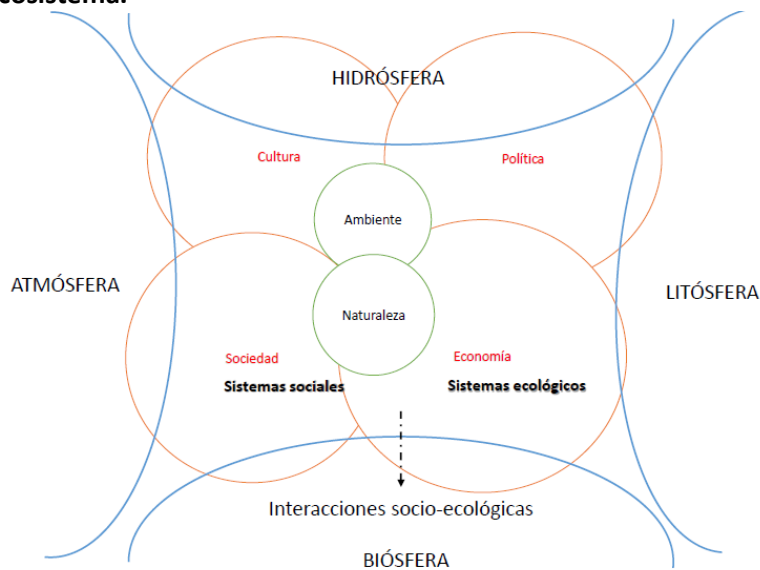
Dicha interacción se lleva a cabo con base en procesos y flujos tangibles y no tangibles. Por ejemplo, en el caso de la parte natural podemos identificar, entre otros, a los servicios ambientales y ecosistémicos, los productos naturales bióticos y abióticos, la atmósfera, el suelo y todo aquel vínculo resultante de la relación entre los subsistemas que se han mencionado a lo largo del presente trabajo; y por parte del sistema social, ubicamos elementos como la gobernabilidad, la política, la economía, las estructuras sociales, instituciones y todos aquellos conceptos y actores en donde intrínsecamente su aplicación, función y formulación tienen que ver con la modificación y alteración directa e indirectamente del entorno ambiental en el que convergen; ya sea con fines económicos, políticos, sociales, culturales, entre otros. La complejidad y dinámica resultante de estas variables entre sí crean un universo paralelo en donde el ser humano merma al sistema natural, y la repercusión de ello se ve reflejado directamente con el mismo ser humano.

Bajo este marco ubicamos a los principales elementos que interactúan en los flujos y procesos mencionados arriba; por parte de la sistemática compleja del sistema social, se encuentran cuatro grandes rubros: 1) los efectos de ocupación, alteración y degradación del espacio ambiental por el humano, 2) los flujos de entrada y salida de energía y materia que ha generado en todo el sistema Tierra con la finalidad de satisfacer sus principales necesidades y más allá y, 3) La generación de residuos resultado de los dos puntos anterior, y 4) la gobernabilidad.

En el caso del sistema natural y más en específico de sus funciones se encuentran aquellas encargadas de la regulación de los procesos ecológicos esenciales que tienen los ecosistemas, la función de hábitat respecto a las condiciones espaciales necesarias para el mantenimiento de la biodiversidad en una región, las funciones de abastecimiento de producción, pero sobre todo, las funciones de información que es la capacidad y conocimiento (De Groot, Wilson, & Boumans, 2002).

Una forma acercada a la realidad en la esquematización dual de este subsistema la podemos encontrar en la siguiente figura:

Figura 9: Socio-ecosistema.



Como se puede observar, el acaparamiento de los elementos del sistema social (cultura, política, sociedad y economía), incide de forma directa con cuestiones naturales así como con los demás subsistemas, por ejemplo en el caso de la litosfera, y más en particular, de algunos componentes de la geología como son: el tipo de suelos y la topografía local, –las cuales modifican significativamente las condiciones de una zona en específico–, en el momento en que interactúan con elementos atmosféricos como la temperatura y agentes biogeoquímicos e hídricos como la evapotranspiración y la precipitación, se determinan los entes bióticos y abióticos que se gestarán en dicha zona, creando además microclimas y biomas que han sido la base fundamental de la vida; sin embargo; todo este balance se ve mermado una vez que las actividades del sistema social intervienen, debido a actividades como la minería, el cambio en el uso del suelo, entre otros, con lo que la modificación del suelo –pero sobre todo sus funciones y nutrientes desaparecen– genera problemas relacionados con la aridez y sequías así como una serie de variables que se presentan por este desequilibrio y que al final merman la calidad de desarrollo del ser humano.

Otro caso; lo observamos en la biosfera, más en específico en las plantas, en donde al incrementarse o disminuir la temperatura –resultado de una variabilidad climática cuyo origen antrópico es cada vez menos cuestionable–, su fenología se ve afectada en el proceso de floración ya que tiende a retrasarse o adelantarse como es el caso de algunas de ellas en zonas templadas en donde su floración se puede adelantar entre 7 y 10 días con un incremento en la temperatura de 2.5 °C de igual manera, la caída de hojas de otoño se atrasa considerablemente por el

alargamiento de las temporadas de temperaturas más altas, retrasando así las heladas; o el caso de aquellas especies que se encuentran en zonas intertropicales con variabilidad térmica en donde hay menos respuesta a cambios térmicos pero sobre todo a los cambios en la disponibilidad de agua en el suelo por la estacionalidad de la precipitación³, de esta manera se afectan directamente procesos de polinización y por supuesto, repercuten en el ciclo de vida de los seres vivos que de ello dependen para subsistir, además de que se ven mermados otros procesos como la gestación y reproducción de insectos o el ciclo de vida de especies endógenas, escalando así, la problemática hasta ubicarse en la pérdida de biodiversidad que está sufriendo el Sistema Tierra.

En el caso del subsistema de la hidrósfera la cual se constituye en gran parte por el ciclo hídrico y que se caracteriza por ser un sistema cerrado; las constantes alteraciones que ha sufrido, debido a la interacción que se ha dado con el socio-ecosistema por la generación de contaminantes, sobreexplotación de acuíferos, baja calidad del recurso hídrico, entre otras, ha llevado a que dicho ciclo se vea alterado e impacte de forma alarmante en temas como la reducción de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios de algunos fenómenos climáticos extremos⁴, por ejemplo, existe evidencia de que los cambios en el vapor de agua puede atribuirse a la influencia humana (IPCC, 2013). Además que las influencias antrópicas observadas desde 1960 han contribuido al aumento observado en el contenido de humedad en la atmósfera y en cierta medida a los cambios a escala global en los patrones de precipitación en la superficie del planeta Tierra⁵.

De esta manera las acciones antrópicas han modificado el equilibrio de dos fases muy importantes en el subsistema de la hidrosfera, sobre todo en la condensación y precipitación, las cuales se caracterizan por generar y despedir cierta cantidad de calor en el ambiente, impactando directamente en el incremento o disminución de temperatura en algunas regiones del planeta. Además de esta alteración si se le suman temas meramente sociales como lo son los asentamientos irregulares, baja o nula infraestructura, incremento poblacional, crecimiento industrial, entre otros (Carabias Lillo, 2005); la vulnerabilidad del sistema social ante fenómenos hidrometeorológicos extremos se incrementa, como ha sido el caso durante las últimas décadas, sobre todo en México debido a sus características fisiológicas, orográficas, entre otras que más adelante se mencionaran con mayor detalle.

Por último, el impacto que ha tenido el sistema social sobre la atmósfera es uno de los más agresivos por las consecuencias que conlleva, pero sobre todo por la velocidad en que se ha dado, ya que si bien es cierto la formación de la atmósfera ha sido una constante en el proceso de evolución del Sistema Tierra, también es cierto que las actividades antrópicas como las de la industria, deforestación, quema de combustibles, entre otras han hecho que la temperatura del planeta se vea incrementada, (IPCC, 2013).

³ Carabias, Julia; Molina, Mario; Sarukhán, José "El cambio climático: Causas, efectos y soluciones" SRE. 2010, pág. 75-76

⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) "Cambio climático 2013: Bases físicas", Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

⁵ Ibidem

Esto debido al aumento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que se ha dado en la Tierra en las últimas décadas, estos gases que tienen la característica de absorber la radiación solar e irradiarla en todas direcciones sobre la el planeta, son importantes para que el mundo sea un lugar habitable. Sin embargo, el gran problema que se presenta es cuando se rebasa el nivel de energía entrante contra el nivel de energía saliente, debido a la retención de radiación solar de los GEI, en donde dicha energía se mantiene en la tierra e incrementa la temperatura dando paso al tema de cambio climático que se abordará con más detalla en las siguientes páginas.

El impacto que genera esta interacción ha alterado el equilibrio natural que se ha mencionado, de tal forma que los resultados han sido una carrera de adaptación y supervivencia en la cual el ser vivo que no responda rápidamente a estos cambios tan bruscos, tenderá a desaparecer. Es por ello que autores como (McCarthy, 2006); (Walker, 2006); (Schoon, 2012), entre otros; hacen hincapié en la importancia de conceptos como la resiliencia y adaptabilidad del sistema natural, subrayando la importancia de ello ante la rápida interacción que se da con el sistema social. Destacando así, que cualquier proceso o fenómeno natural que se presenta en la Tierra conlleva un nivel de complejidad al interactuar con su entorno, por supuesto que esta característica tiende a crecer al aumentar el vínculo que existe entre unos y otros influyendo en el conjunto global, a la vez que dicho conjunto influye en cada una de las partes.

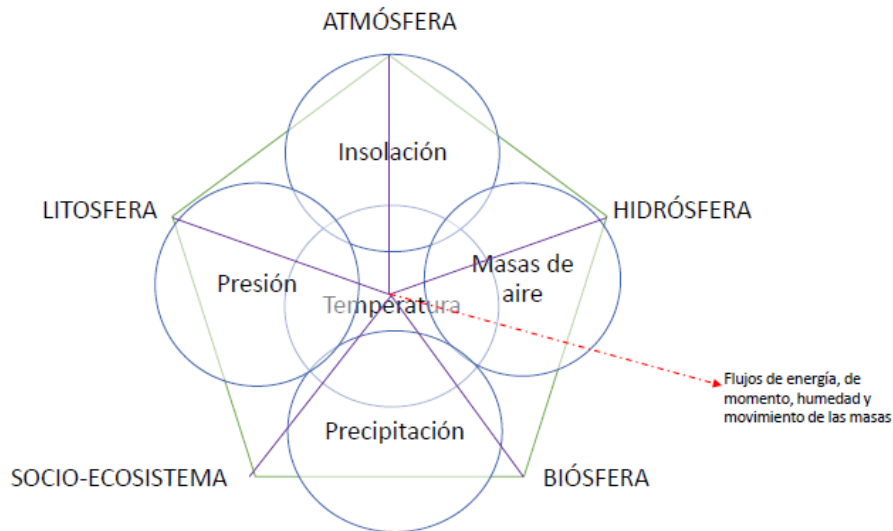
E) Cambio climático

Como se observó en el capítulo anterior, la importancia de las interacciones entre cada uno y todos los subsistemas mencionados ha sido un complejo pero fundamental proceso que ha desencadenado la evolución y conformación del entorno y adaptación de las especies. Un ejemplo de ello ha sido el clima en la Tierra, el cual se genera mediante la interacción de dos grupos; por una parte, encontramos cinco elementos básicos como la atmósfera, (con todas las etapas que la conforman: troposfera, tropopausa, estratosfera, estratopausa, termosfera), los océanos, la criosfera, la geósfera y el sol; por la otra; identificamos a cuatro variables primordiales que se mueven e interactúan con los primeros, como lo son los flujos de energía, de momento, humedad, y el movimiento de las masas.

El resultado de esta interacción es un delicado balance de energía en la Tierra que, debido a subprocesos como los termodinámicos y a las transferencias de energía solar y terrestre, {las cuales ocurren involucrando procesos de convección debido al calentamiento y dispersión del aire de la superficie (calor sensible), y los procesos de evaporación de agua que se desprenden del vapor de plantas, océanos, etc. (calor latente)}, determinan el clima en cada región del planeta.

Una aproximación grafica de lo antes expuesto podría ser como sigue:

Figura 10: Sistema Socio-ambiental



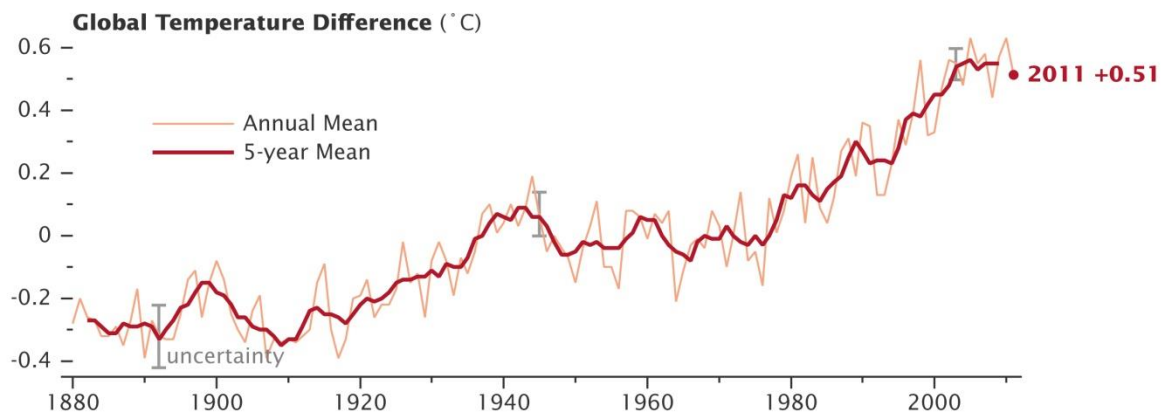
Los procesos emergentes resultantes de las diversas variables que surgen al interior de este esquema, son fenómenos de mucha variabilidad, por ejemplo la precipitación y la temperatura del aire que convergen con otros como la radiación solar, la nubosidad, el viento y la latitud por mencionar algunos. Debido a esta variabilidad, una vez que este sistema interactúa con el social, sobre todo con las acciones antrópicas que modifican la composición de la atmósfera, surgen problemáticas ambientales como el cambio climático. El cuál se entiende como *“el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempos comparables (CMNUCC, 2014)”*, bajo este concepto debemos subrayar la diferencia que existe entre las causantes de origen natural y aquellas antrópicas derivadas del sistema social.

Originándose la primera debido a la evolución constante bajo la cual se rige al planeta y que ha permitido la variabilidad climática que se ha dado en las distintas eras y tiempos que se han presentado en el Sistema Tierra, permitiendo una gran diversidad en distintos aspectos ambientales y de servicios.

La segunda se caracteriza por llevarse a cabo bajo tres importantes variables de origen antropogénico que son: 1) El cambio en el uso de la superficie terrestre (capas polares, suelo, océanos), 2) La emisividad atmosférica a través del aumento de GEI, (desatando importantes efectos negativos, en varias áreas, como la económica, la social, ambiental, política, de género, geográfica, entre otras), y 3) La sobre explotación de los recursos naturales así como la generación de residuos como resultado de ello. Las variables antrópicas mencionadas y el constante

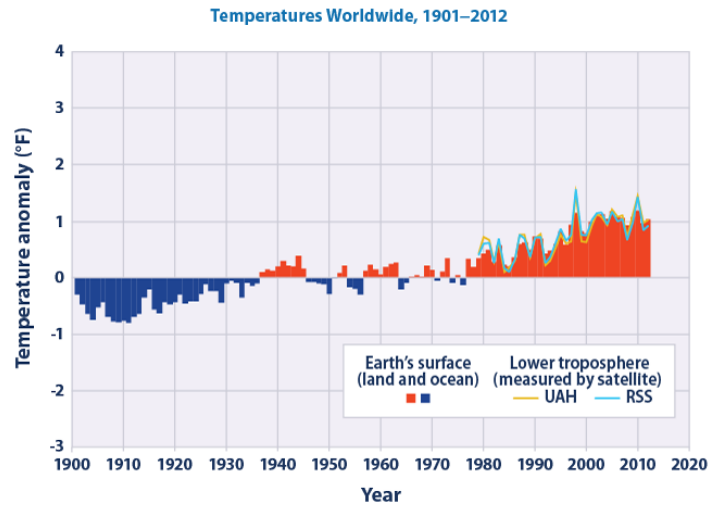
incremento de población y actividades como el uso de combustibles, calefacción, aire acondicionado, la deforestación (dióxido de carbono, CO₂), la agricultura, ganadería, descomposición de residuos (metano CH₄), uso de fertilizantes, quema de combustibles fósiles (óxido nitroso N₂O), procesos industriales (halocarbonos), quema de biomasa, explotación minera a cielo abierto, algunos procesos industriales (aerosoles) (IPCC, 2014).

Han alterado el balance atmosférico del planeta, prueba de ello son las diversas mediciones que han determinado la relación entre el incremento acelerado de temperatura resultado del aumento de este tipo de gases (GEI) en la atmósfera, como se muestra a continuación:



Según los datos, presentados en esta gráfica de la NASA, la temperatura media de la superficie de la Tierra ha aumentado casi 0.8°C durante el siglo XX a un ritmo aproximado de 0.2°C por década⁶. Aunado a ello, varias de las proyecciones presentadas por distintos modelos computacionales como metodologías de series de tiempo, modelos ARIMA, medición de precipitación, entre otros; indican que este patrón en el aumento de la temperatura seguirá, ya que ni aunque se detuvieran las emisiones XX que se emiten al año, por completo, el cambio climático sufriría un cambio drástico, por lo que la mayoría de ellas coinciden en que los futuros años, este incremento se verá como sigue:

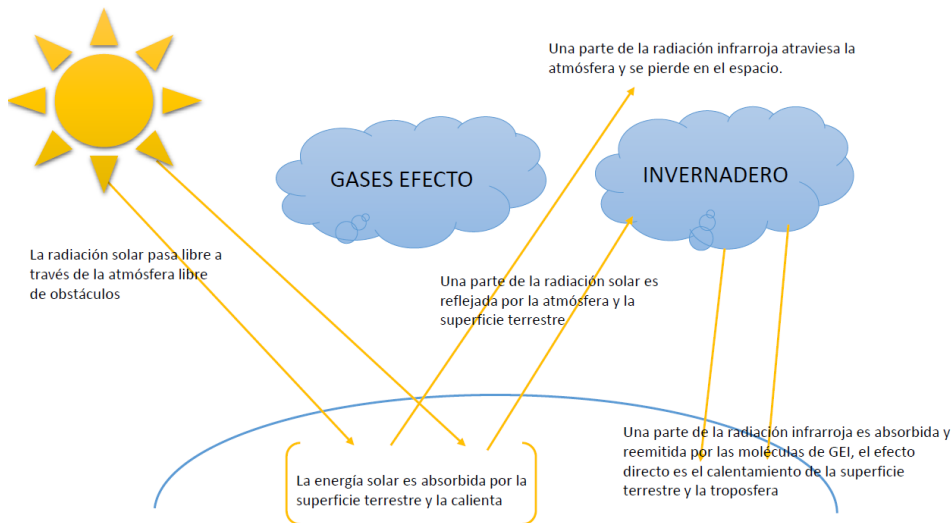
⁶ Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), “Visión general de la ciencia del cambio climático”



Data source: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2013. National Climatic Data Center. Accessed April 2013. www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html.

For more information, visit U.S. EPA's "Climate Change Indicators in the United States" at www.epa.gov/climatechange/indicators.

Es importante señalar que esta relación entre las acciones antrópicas que incrementan los GEI con base en las actividades ya mencionadas y el incremento de temperatura que se muestra en las gráficas anteriores se deriva del tan llamado “efecto invernadero”



De manera natural, se estima que aproximadamente un 70% de la energía solar que recibe la Tierra en forma de radiación es absorbida en su totalidad por las moléculas de los GEI y las nubes, lo cual favorece el calentamiento de la tierra, el mar y la atmósfera; y sólo el 30% restante es

reflejada al espacio⁷, el efecto invernadero es un proceso natural sin embargo, se le ha atribuido modificaciones, debido a las acciones que han acelerado este proceso con base en el incremento excesivo de GEI que atrapan el calor y calientan la superficie de la Tierra, como se observa en la gráfica anterior. Y es que en el pasado, estos incrementos que se llegaban a registrar (generalmente por diversas erupciones de volcanes y vapores que de ellas se desprendían, incendios, etc.) eran regulados por los “sumideros de carbono”, actualmente estos mecanismos funcionan como el principal salvador de la tierra al absorber dichos gases, pero por desgracia y debido a la sobrecaptación, ya se están saturando, aumentando cada vez más los índices de acidificación registrados en mares y océanos, así como también se han incrementado las zonas boscosas que se llegan a secar o enfermar por esta sobre absorción poniendo en peligro los ecosistemas y aumentando el efecto invernadero.

De esta manera se ha incrementado y disminuido (dependiendo de la zona geográfica) la temperatura en el planeta, sin embargo; debemos hacer la división de que dicha alteración en el clima es un resultado de las actividades antropogénicas y las naturales. Además, en los últimos 100 años, ha sido evidente el cambio/variación que se ha presentado en la temperatura global. En los años 1880s la mayoría de las regiones registró una temperatura promedio anual de -0.3 °C Considerada como una tierra fría; ya para los años 2000, esta situación había cambiado radicalmente, registrándose una temperatura promedio anual de 0.3°C representando ya un incremento notable en la temperatura.

Bajo este escenario irrefutable que nos presentan los distintos modelos de proyección de la temperatura, así como los modelos de medición de la misma, que se emplean a nivel internacional, es necesario promover una adecuada comprensión sobre en qué consiste este fenómeno, cuáles son las principales actividades antropogénicas que han favorecido un aumento el concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, qué impactos potenciales podría tener este fenómeno, en particular en los sistemas hídricos, y qué estrategias y acciones se requieren para desarrollar las capacidades de mitigación y adaptación; lo anterior, con el fin de prevenir y reducir los impactos negativos que se han presentado en las últimas décadas atribuidos a este fenómeno.

El impacto que tiene el cambio climático en cada uno de los subsistemas que se mencionaron al inicio de este trabajo es muy importante, sin embargo el que más se reciente es el que se presente ante el ciclo hidrológico en donde encontramos los riesgos claves y de potencial adaptación y resiliencia en los que podríamos impactar de manera positiva, sobre todo con la finalidad de evitar llegar a los escenarios en donde mencionan que los impactos del cambio climático sobre este recurso podrían ser, entre otros; escasez del agua debido a los cambios en la precipitación; incremento en la vulnerabilidad de los sistemas hídricos mal administrados; impacto en el abastecimiento del recursos hídrico para el ser humano; el ciclo hídrico se vuelve cada vez más dinámico; incremento e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos; incremento del nivel

⁷ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, “Biodiversidad Mexicana”, Cambio climático, consultada el día 13/04/2015. (material publicado, cita)

del mar; acidificación de océanos; derretimiento de hielo, entre otros.

Por ello, el tema del cambio climático es una de las principales prioridades que ocupan a gobiernos, comunidad científica, academia y sociedad civil, ya que sus impactos repercuten directa o indirectamente en cualquier ámbito social, ambiental, económico, cultural, alimenticio y de seguridad. Dada la complejidad de este fenómeno, no todas las acciones que se implementan para combatirlo, en particular a nivel local, son efectivas para promover una adaptación y mitigación exitosa, ya que suelen orientarse a evitar o reducir los impactos negativos de este fenómeno, sin embargo, se deberán lograr acuerdos a largo plazo como los ejemplos que se presentaran en las siguientes páginas. Pero antes de ello, y con la finalidad de seguir hablando de la relación entre el cambio climático y la hidrosfera, aterrizaremos en las cuencas del valle de México para entender las medidas que podríamos emprender para generar acciones que adapten y generen resiliencia en este sentido.

E) Reflexiones Finales:

Dentro de los principales efectos que se prevén como consecuencia del cambio climático se encuentran aquellos que tienen relación directa o indirecta con las cuestiones relacionadas al tema del agua, sobre todo en el valle de México el cual se ha visto siempre involucrado en temas de esta índole con eventos como inundaciones, sequías, tornados, granizadas e incluso nevadas como la ocurrida. Pero todos estos episodios tiene un porque, si nos remontamos a la historia y entendemos cómo fue que se formó la ciudad podremos ver porque la incidencia de todos estos eventos.

Ahora bien, para hacer frente a este fenómeno se requiere de una sinergia entre mitigación y adaptación, entendiéndose por mitigación, Intervención antropogénica para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero y por adaptación al ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada, (según el IPCC 2014), conceptos que se desarrollarán en la siguiente sección.

Es del interés de esta investigación enfocarse en la conceptualización, características, lecciones aprendidas en materia de adaptación, por ende, aunque se reconoce que la mitigación es fundamental para reducir los impactos del cambio climático, quedan fuera de los objetivos de este trabajo. Como ya se ha mencionado, entendemos a la adaptación como el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos; sin embargo, existen varios enfoques de este término, lo que nos permitirá percibirlo de acuerdo al enfoque y entorno con que se mira cualquier fenómeno, en este sentido encontramos a la adaptación fuerte que son aquellas medidas que se llevan a cabo bajo el marco de la tecnología y acciones que involucran bienes de capital específico, o la adaptación con altos niveles de regresión, la cual implica incidir a gran escala sobre la planificación e inversión de algún proyecto con un alto grado de irreversibilidad, en este caso se

debe tener cuidado al momento de planificar, ya que las proyecciones climáticas no siempre son exactas. Y por supuesto existen sus contrapartes, como la mala adaptación que son aquellas acciones que incrementan la vulnerabilidad ante el cambio climático o la adaptación con bajo nivel de regresión en donde se da este vínculo entre los niveles moderados de inversión aumentan la capacidad de hacer frente a los cambios climáticos.

Así mismo, podemos encontrar otros tipos de adaptación como la suave (que representan esas medidas de adaptación que se centran en la información, creación de capacidades, políticas y estrategias y arreglos institucionales), la privada (Adaptación que es iniciada y ejecutada por individuos, hogares o empresas privadas), la planeada (Adaptación que se produce debido a la intervención consciente o de preparación), la pública (Adaptación que se inicia e implementa por los gobiernos en todos los niveles), la reactiva (Adaptación que se produce después de que los efectos del cambio climático son evidentes), y la adaptación siempre deseada ganar-ganar (Medidas que contribuyan tanto a la mitigación del cambio climático y la adaptación y los objetivos de desarrollo más amplios).

Sin embargo, y de acuerdo a los entornos actuales y a las necesidades que se llegan a identificar en algunos sistemas, sobre todo en el hídrico, destacan los niveles de adaptación fuerte, privada, planeada, ganar-ganar y para la generación de capacidades la adaptación suave. Sobre todo en un tema tan desafiante como el hídrico, en donde las percepciones de las personas ces tan cambiante y los procesos de negociación se hacen algo difíciles.

F) Referencias:

- Arnold, M. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*(3).
- Atherholt, T. B., Le Chevallier, M.W., Norton, W. D., Rosen, J. (1998). Effects of rainfall on giardia and cryptosporidium. *Journal of the American Waterworks Association*, 90(1998): 66-80.
- Ballesteros, E. R. (2013). *Socioecosistemas y resiliencia socio-ecológica: Una aproximación compleja al medio ambiente*. Paper presented at the Complejidad y Ciencias Sociales.
- Bertalanffy, L. v. (1968). *Teoría general de sistemas*: Madrid: Alianza.
- Carabias Lillo, J. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad. hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*.
- Charron, D.F., Thomas, M. K., Waltner-Toews, D, Aramini, J.J., Edge, T., Kent, R. A., Maarouf, A. R., Wilson, J. (2004). *Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canadá: a review. Toxicology and Environmental Health*, 67(2004):1667-1697.
- Chen, Z., Grasby, S.E., Osadetz, K.G. (2002). Predicting average annual groundwater levels from climatic variables: an empirical model. *Journal of Hydrology*, 260 (2002):102 -117.
- Conagua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. Conagua, México.
- Coleman, J., Sosa-Rodriguez, F., Mortsch, L., Deadman, P. (2014). *Assessing Stakeholder Impacts and Adaptation to Low-water Levels: The Trent-Severn Waterway*. Climatic Change (in press) de Loé RC (1995). Exploring complex policy questions using the policy Delphi: A multi-round, interactive survey method. *Applied Geography* 15 (1995): 53-68.

- Cumming, G. S. (2011). Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape ecology*, 26(7), 899-909.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Dilek, Y., & Furnes, H. (2011). Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 123(3-4), 387-411.
- Earth System Sciences Committee, N. (1988). Earth system science: A closer view. *Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration*.
- Fontúrbel, R., & Molina, A. (2004). Origen del agua y el oxígeno.
- Frías, J. M. (2013). Fundamentos conceptuales y didácticos: El origen de la Tierra. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 21(2), 139-145.
- Füssel, H., Klein, R. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking; *Climatic Change*, 75 (3): 301 -329.
- INEGI (2010). XIII Censo General de Población y Vivienda. México: INEGI.
- IPCC (2007). Summary for Policymakers. En S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press. Pp. 1-7.
- Gell-Mann, M. (1992). *Complexity and complex adaptive systems*. Paper presented at the SANTA FE INSTITUTE STUDIES IN THE SCIENCES OF COMPLEXITY-PROCEEDINGS VOLUME-
- Gershenson, C., & Niazi, M. A. (2013). Multidisciplinary applications of complex networks modeling, simulation, visualization, and analysis. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 1(1), 17.
- Hevia, I. M. (1998). Teoría de Sistemas en las Ciencias de la Tierra, La. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 6(1), 64-73.
- Hutton, J. (1960). *Theory of the earth: With proofs and illustrations* (Vol. 1): Library of Alexandria.
- Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général: théorie de la modélisation*: jeanlouis le moigne-ae mcx.
- Le Pichon, X. (2000). El renacimiento de las Ciencias de la Tierra. *Mundo científico*(214), 83-84.
- Nature 445, 91-94 (4 January 2007) | doi:10.1038/nature05362; Received 26 June 2006; Accepted 20 October 2006
- Linstone HA; Turoff M (eds.) (2002). *The Delphi method: techniques and applications*. New Jersey Institute of Technology, Newark.
- Magrin, G; Gay García, C; Cruz Choque, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; Villamizar, A (2007). Latin America. En M.L. Parry; OF Canziani; JP Palutikof; PJ van der Linden; CE Hanson (Ed.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp. 581-615.
- McCarthy, Daniel D. P. *A Critical Systems Approach to Socio-Ecological Systems: Implications for social learning and governance* 2006

- Morales, N J; Rodríguez, TL (2007). Retos y perspectivas de una gestión no sustentable del agua en el Área Metropolitana del Valle de México. En: N. J. Morales, T. L. Rodríguez. Economía del Agua. Escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas. PorrúaUAM, México. Pp. 15-68.
- Neilson, RP; Pitelka, LF; Solomon, AM; Nathan, R; Midgley, GF; Fragoso, HJ; Lischke, MV; Thompson, K (2005). Forecasting regional to global plant migration in response to climate change. *BioScience*, 55 (2005): 749-759. Semarnat (2009). Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012 (PECC). México: CICC. SMA (2012). Informe de Avances 2011. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. México: SMA-GDF.
- Ortíz, W. R. (2013). SÍNTESIS METODOLÓGICA TRANSDISCIPLINARIA EN SISTEMAS COMPLEJOS. *SÍNTESIS*.
- Ospovat, A. M. (1980). The importance of regional geology in the geological theories of Abraham Gottlob Werner: a contrary opinion. *Annals of Science*, 37(4), 433-440.
- Smit, B; Burton, I; Klein, RJT; Street, R (1999). The science of adaptation: a framework for assessment, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4 (1999): 199-213.
- Sosa-Rodríguez, F.S.; Rodríguez-Tapia, L.; Altamirano-Cabrero, J.C.; Morales-Novelo, J.A. (2014). Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco Integrated Water Resources Management Assesment in the Basin of México. *Water Policy* [in review].
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2013). From Federal to City Mitigation and Adaptation: Climate Change Policy in México City. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Journal*, 19 (2013). DOI: 10.1007/S11027-013-9455-1
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2014). La política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública* (2013) [en prensa].
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2012). Assessing water quality in the developing world: an Index for México City. En K. Voudouris & D. Voutsas (Comp.). *Water Quality Monitoring and Assessment* (pp. 495-508). Croacia: InTech.
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2010a). Impacts of Water-management Decisions on the Survival of a City: From Ancient Tenochtitlan to Modern México City. *Water Resources Development*, 26 (2010): 675-687.
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2010b). Exploring the risks of ineffective water supply and sewage disposal: A case study of México City. *Environmental Hazards*, 9 (2010): 135-146.
- Turoff M (1975). The Policy Delphi. In: Linstone HA, Turoff M (eds). *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison-Wesley, Massachusetts, 84-100.
- Vernadsky, W. (1945). The biosphere and the noösphere. *American Scientist*, xxii-12.
- Weatherston L, Downey T, Mitchell B (1997). Integrated Resource Management: Opportunities for the Ontario Mining Industry. Special Collection. *Resources Policy*. WWAP (2009). *Water and Climate Change. World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. París: UNESCO.

- Schoon, Michael L., Understanding Disturbances and Responses in Social-Ecological Systems (2012)
- Walker, Brian H. Exploring Resilience in Social-Ecological Systems Through Comparative Studies and Theory Development: Introduction to the Special Issue, 2006
- Wegener, A. (1966). *The origin of continents and oceans*: Courier Corporation.
- Wegener, A., & Cruz, C. M. G. (2012). El origen de los continentes. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(1), 27-63.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and technology*, 8(1), 3-19.