



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



*Informe Referativo en opción al título de
Ingeniero Hidráulico*

*Comportamiento de la precipitación
y la salinidad en las zonas costeras
ante el cambio climático*

Autor:

Rosmeri Garcia Asin

Tutores: Dra. C. Mayelin González Trujillo

Dr. C. Rogelio García Tejera

Santiago de Cuba, 2020

“La humanidad del futuro tiene retos muy grandes en todos los terrenos. Una humanidad que se multiplica vertiginosamente (...) que ve con preocupación el agotamiento de



algunos de sus recursos naturales (...) que necesitará dominar la técnica, y no sólo la técnica sino incluso hasta los problemas que la técnica pueda crear, como son los problemas, por ejemplo, de la contaminación del ambiente. Y ese reto del futuro sólo podrán enfrentarlo las sociedades que estén realmente preparadas. ¡Y nosotros debemos aspirar a que nuestro pueblo esté realmente preparado para afrontar ese reto”!

(Fidel Castro Ruz, 1974)

Dedicatoria

- ✚ Dedico este trabajo a Dios por regalarme una nueva oportunidad de vencer, por estar siempre conmigo guiándome, iluminando mi camino y llenándolo de muchas bendiciones.
- ✚ A mis padres Wilder García Suárez y Haidée Asin Roblejo que siempre han estado incondicionalmente apoyándome y aconsejándome; por nunca permitir que me diera por vencida, por todos sus sacrificios que dieron paso a realizar una gran profesional, por ser la mayor bendición que Dios me ha dado.
- ✚ A mi hermano preferido Wilmer García Asin por ser mi ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional y por enseñarme que si se puede que solo tengo que proponérmelo y sacrificarme.
- ✚ A mi compañero Mario Esteban Fernández Chacón por su apoyo, comprensión y paciencia.

Agradecimientos

- ✚ Agradezco a Dios la maravillosa oportunidad de otro día más de vida, por estar siempre conmigo y por no permitir que perdiera la fe.
- ✚ A mis padres que son el regalo más grande que Dios me ha dado, que no les importó nada ni nadie para apoyarnos en todo, darnos la fuerza necesaria superar cualquier obstáculo, por enseñarnos que los mayores logros que podemos alcanzar en la vida solo lo tendremos con sacrificio. No hay palabra en el mundo para agradecerles todo lo que han hecho por nosotros, los amo incondicionalmente.
- ✚ A mi bello hermano el ingeniero Wilmer Garcia Asin por tener paciencia, más bien yo lo llamaría amor, por su apoyo, por enseñarme a luchar por mis sueños, en fin, por ser mi hermano mayor.
- ✚ A mi compañero y amigo Mayito, por todo su apoyo, amor, consejos, por enseñarme a ver la vida de otra manera; le doy gracias a Dios por ponerte en mi camino y a esa bella familia tan atenta y especial (Maribel, Adela, Mario, Maidelis, Mima, Luis Mariano)
- ✚ A mi tutora, profesora y amiga la Dra.C. Mayelin González Trujillo por su atención y dedicación.
- ✚ Al claustro de profesores del departamento de Ingeniería Hidráulica por su dedicación y profesionalidad.
- ✚ A mi familia que siempre estuvo para mí, mis tíos Leonides, María, Luis; a mis primos Tania, Nana, Aramis y a todos en general.
- ✚ A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron en todo momento (Orquidea, Leyanet, Anabel, la chiqui, Yaima, Wilson)
- ✚ A dos personas que siempre estuvieron incondicionalmente en los momentos que más las necesitaba (Celia y Elicita), mi enana y mi niña.
- ✚ A todos mis compañeros de aula que siempre se puede contar con ellos para lo bueno y lo malo.

✚ A todas aquellas personas que, aunque no mencione no dejan de ser importante porque de una forma u otra Dios los puso en mi camino y ocuparon un pedacito de mi corazón.

Muchas gracias a todos...

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN	1
DESARROLLO	
1. Fundamentación teórica de la investigación	4
1.2 Medio ambiente	5
1.3. Cambio climático.....	6
1.4. Salinidad.....	9
1.4.1 La era moderna.....	11
1.4.2 Medición de la salinidad del agua.....	12
1.5. Precipitaciones	14
1.5.1 Formación de la precipitación.....	14
1.6. Impacto del cambio climático en Cuba	15
1.7. Marco legislativo gubernamental.....	16
2. Materiales y métodos.....	20
2.1. Metodología de trabajo	20
2.2 Caracterización de zonas costeras como consecuencias del cambio climático.....	21
2.2.1. Salinidad en ríos	23
2.2.2. Las temperaturas superficiales del mar.....	25
2.2.3. Efectos negativos en Cuba como resultado del cambio climático.....	27
3. Acciones antes los problemas que se generan como consecuencia del Cambio Climático.....	31
3.1. Acciones para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en en zonas costeras.....	31
3.2. En Cuba.....	33
3.2.1. En Santiago de Cuba	34
3.2.2. Plan de estado para el enfrentamiento al cambio climático.....	35
3.2.3. Otras consideraciones de esta investigación	36
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	

RESUMEN

El creciente deterioro del cambio climático, ha incidido en el aumento de la salinidad y en la disminución de las precipitaciones, que unido al mal manejo de los recursos hídricos genera en las zonas costeras serias afectaciones. En esta investigación se analiza el comportamiento de las variables que son objeto de estudio, con el objetivo de caracterizar su incidencia en zonas costeras de varias regiones, utilizando como métodos: histórico-lógico, inducción-deducción, análisis-síntesis, análisis documental y comparativo.

Dentro de los resultados fundamentales se destacan la caracterización de las zonas costeras de varias regiones del mundo a partir de las variables de estudio, así como el comportamiento de estas en las zonas costeras, además del método para medir la salinidad incluyendo la vía satelital. La modelación y caracterización de estas variables en las distintas zonas costeras permitió conocer las acciones de adaptación y mitigación para los efectos negativos del cambio climático.

SUMMARY

The increasing deterioration of climate change has influenced the increase in salinity and the decrease in rainfall, which together with the mismanagement of water resources generates serious damages in coastal areas. This research analyzes the behavior of the variables that are the object of study, with the aim of characterizing their incidence in coastal areas of various regions, using as methods: historical-logical, induction-deduction, analysis-synthesis, documentary and comparative analysis.

Among the fundamental results, the characterization of the coastal zones of various regions of the world based on the study variables, as well as the behavior of these in the coastal zones, in addition to the method of measuring salinity including the satellite route, stand out. The modeling and characterization of these variables in the different coastal areas allowed knowing the adaptation and mitigation actions for the negative effects of climate change.

INTRODUCCIÓN

Durante millones de años, los ríos han ido incrementando en los océanos diferentes sales minerales procedentes de la erosión de las rocas y de otras fuentes, como actividades humanas, que hacen cada vez más incontrolable el vertimiento de sales. Estudios realizados por diversos investigadores (UDIVULGA, 2016) han demostrado el incremento de la salinidad de los ríos que se ha convertido en un problema global que genera un gran coste medioambiental y económico, además de suponer un riesgo elevado para la salud.

Este incremento de sales, pone en riesgo los distintos usos a los cuales suele destinarse dicha agua, como el riego y la potabilización, pero también condiciona los ecosistemas fluviales. Las crecientes irregularidades del cambio climático que influye en la disminución de las precipitaciones y el consumo creciente de agua, agravarán más el panorama futuro.

Las Naciones Unidas, a través de la Organización Mundial del Medio Ambiente y los principales organismos internacionales, entre ellos el Fondo para el Medio Ambiente, la Organización Mundial de la Salud, trabajan de forma conjunta para combatir las causas que deterioran el ambiente y así contribuir a la mejora del mismo.

El 93% de los niños y niñas del mundo menores de 15 años respiran aire tan contaminado que pone en peligro su salud y su crecimiento. Desgraciadamente, muchos de ellos acaban falleciendo (OMS, 2018), además el Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático y otros científicos, analizan sistemáticamente investigaciones científicas que les permitan determinar las afectaciones que la sociedad va generando al cambio climático. El sistema de las Naciones Unidas está a la vanguardia en los esfuerzos para salvar nuestro planeta, su objetivo final es prevenir una interferencia humana “peligrosa” al cambio climático (Covención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992).

Las ciudades son uno de los factores que más contribuyen al cambio climático debido a los patrones de desarrollo, principalmente industriales, el hombre puede cambiar el clima terrestre, produciendo un reforzamiento del efecto invernadero (Paz, 2008). De acuerdo con ONUHabitat, las ciudades consumen el 78 % de la energía mundial y producen más del 60 % de las emisiones de gases de efecto invernadero

provocando el calentamiento global de la tierra con incidencia directa en el cambio climático, sin embargo, abarcan menos del 2 % de la superficie de la Tierra, lo que ha traído que en las últimas décadas el planeta ha experimentado un incremento exponencial del llamado efecto invernadero y se evidencia en el incremento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos como: incremento en la ocurrencia de huracanes, frentes fríos, inundaciones, sequías y otros fenómenos meteorológicos (Franco, 2012), repercutiendo en las pérdidas de vidas humanas por desastres naturales (Neil *et al.*, 2003).

Nuevos hallazgos muestran que el aumento de la salinidad del suelo ya está influyendo en la producción agrícola y la migración interna en algunos lugares, y podría afectar a muchas otras áreas costeras donde se realizan actividades agrícolas, desde Asia hasta las costas del Pacífico y el Golfo de EE.UU (Puñales, 2016).

El cambio climático también causa estrés por calor, que agotará los recursos de agua subterránea y aumentará la contaminación salina de los suelos en el interior. Este proceso ya está afectando partes de Australia, África subsahariana y California. Se estima que la contaminación por sal, que lleva a un crecimiento atrofiado y desigual de las plantas, ya afecta a más del 20% de las tierras cultivadas en todo el mundo (Martínez, 2018).

Los hielos de los polos se están derritiendo y deslizándose sus aguas hacia los océanos; esto provoca el aumento del nivel del mar y podría elevar el nivel global hasta en medio metro para 2100, según algunas predicciones (Agencia espacial de EEUU – NASA, (2019). Esto hace que las aguas costeras se metan cada vez más tierra adentro llevando sal hasta terrenos otrora cultivables.

Constituye una tarea de primer orden si se pretende disminuir los ya evidentes cambios que a diario amenazan la supervivencia humana, implementar acciones para aleccionar a los seres humanos en cualquier lugar de los peligros que acechan y tomar las medidas adecuadas.

En junio del 1992 en Río de Janeiro, Brasil, se dieron cita los líderes de casi todas las naciones en la Cumbre de la Tierra, donde el líder histórico de la Revolución Cubana Fidel Castro Ruz expresó: "...Una importante especie biológica está en

riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre...”. La cual marcó un hito histórico por transmitir a la comunidad mundial la verdadera dimensión de la crisis medioambiental.

Esto evidencia la necesidad de la comprensión de cómo y por qué el progreso económico y social futuro debe estar indisolublemente ligado a las políticas diseñadas para proteger el medio ambiente y administrar con sensatez nuestros recursos naturales de ahí que en correspondencia con las ideas de Fidel se aprueba por el Consejo de Ministros el 25 de abril de 2017 la Tarea Vida, que constituye el Plan del Estado cubano para la reducción de los efectos del cambio climático y el cuidado medioambiental y se sustenta sobre una base científica multidisciplinaria, que contempla acciones estratégicas dirigidas a contrarrestar las afectaciones en las zonas vulnerables (INFO, 2018).

Específicamente Cuba, por su posición y características geográficas (un país insular y tropical) resulta vulnerable a las consecuencias de esas transformaciones medioambientales. Estudios realizados por científicos cubanos han confirmado impactos perceptibles en la Isla, entre los que destacan: el ascenso lento y constante del nivel del mar, la disminución del volumen de agua disponible y del régimen de lluvias, y la extensión en la aridez de los suelos hacia la zona oriental (Legrá, 2011).

En la revisión documental y bibliográfica realizada, se constató la existencia de varios trabajos científicos de autores que abordan la problemática de la relación entre la salinización y los suelos, por la importancia que esto tiene para la agricultura y la alimentación de los seres humanos, sin embargo, pocos autores han incursionado en el desarrollado de investigaciones que traten la relación entre las precipitaciones y la salinidad, con efectos negativos para las zonas costeras.

Por lo antes expuesto se asume como **problema de investigación:**

Los efectos negativos que se producen en las zonas costeras ocasionados por desequilibrios en las precipitaciones y la salinidad producto del cambio climático.

Objeto de investigación: El cambio climático y su influencia en las zonas costeras.

Campo de acción: El comportamiento de las precipitaciones y la salinidad en las zonas costeras ante el cambio climático.

Objetivo general: Caracterizar el comportamiento de las precipitaciones y la salinidad en las zonas costeras ante el cambio climático.

Objetivos específicos:

- Realizar una búsqueda bibliográfica y documental profundizando en los elementos teórico-conceptuales y tendencias que conforman el estado de los principales conceptos que soportan la investigación.
- Identificar cómo se comportan las variables (precipitación y salinidad), en distintas zonas costeras como consecuencia del cambio climático.
- Elaborar acciones para mitigar los efectos de la salinidad en zonas costeras producto al cambio climático.

Hipótesis: Si se caracteriza el comportamiento de las precipitaciones y la salinidad ante el cambio climático en las zonas costeras, permitirá tomar acciones que minimicen sus efectos negativos.

La estructura del documento es la siguiente: resumen, introducción, desarrollo, conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos.

En el desarrollo se abordarán los temas relacionados con la fundamentación teórica de la investigación, el comportamiento de la salinidad y las precipitaciones en zonas costeras ante el cambio climático, y acciones que mitigan los efectos negativos, producto al cambio climático, de la salinidad y las precipitaciones en las zonas costeras.

DESARROLLO

1. Fundamentación teórica de la investigación

En el presente acápite se definen los conceptos fundamentales relacionados con el objeto de estudio, con el fin de establecer la base teórica necesaria para el desarrollo de la investigación. Además, se realiza un análisis de su estado utilizando los métodos científicos de investigación, para determinar características particulares de las variables hidrográficas como la precipitación y la temperatura, que inciden en la densidad de las aguas y su relación con la salinidad ante el cambio climático. Se caracterizan también las herramientas que se utilizan en el proceso de la investigación para arribar a los resultados esperados.

1.2 Medio ambiente

En los primeros años de la década del 70 del siglo XX, en todo el mundo se comenzaron a percibir los peligros ambientales que corría el planeta. Las comunidades científicas a través de las Naciones Unidas convocaron en 1972 una Conferencia sobre el Medio ambiente e instaron a los Estados Miembros a prestar más atención a la gestión y conservación de los recursos naturales en sus actividades de desarrollo.

Según Albert, (2004) hasta la fecha, poco han hecho los estados fundamentalmente los de los países industrializados para la protección del planeta, la historia ha demostrado que superponen el desarrollo de sus economías ante el cumplimiento de sus políticas diseñadas para el cuidado y conservación del medio ambiente, incidiendo notablemente en la contaminación ambiental, como consecuencia de las diferentes actividades creadas por el hombre en particular las productivas, por ejemplo, las relacionadas con la generación de energía incluyendo la explotación de los recursos naturales no renovables como el petróleo y los diversos minerales, la industria en general y la agricultura con serias afectaciones a los efectos invernaderos acelerando el calentamiento global con seria repercusión en el cambio climático. También pueden causar contaminación las actividades no productivas, tales como consecuencia de procesos sociales relacionados con el crecimiento demográfico, los movimientos migratorios y la urbanización. Una causa adicional son los patrones culturales en particular los asociados con la economía de consumo.

Albert considera que “es la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energías en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona” (Albert, 2004).

En la presente investigación, para lograr los fines propuestos, se adscribe a la definición anterior, porque la intrusión salina en las cuencas hidrográficas es un elemento de contaminación, asociado a las prolongadas seguías como consecuencia del cambio climático, provocando que los efectos negativos sean mayores.

1.3 Cambio climático

Al tratar esta categoría, para comprender su concepto es necesario conocer el significado del término cambio climático, a partir del origen etimológico de las dos palabras que le dan forma:

Cambio, es una palabra que procede del latín, concretamente de “cambium” que puede traducirse como “dar una cosa por otra”. Es una modificación, una alteración o una transformación de algo.

Climático, deriva del griego. Significa “relativo a las condiciones atmosféricas” y es fruto de la unión de dos términos claramente delimitados: el sustantivo “klima”, que es equivalente a “inclinación del sol”, y el sufijo “-tikos”, que se usa para indicar “relativo a”. Climático, alude al clima: el conjunto formado por las condiciones de la atmósfera que resultan características de cierta zona.

El cambio climático, en este marco, “alude a una variación del clima del planeta Tierra generada por la acción del ser humano” (CMNCC, 1992). Este cambio climático es producido por el proceso del efecto invernadero, que provoca el llamado calentamiento global. Hay tres grandes fenómenos que están vinculados: cambio climático, efecto invernadero y calentamiento global. El cambio climático es una consecuencia del calentamiento global, provocado a su vez por el efecto invernadero (ver anexo 1).

Efecto invernadero: Es el proceso que provocan determinados gases (los gases de efecto invernadero), que absorben parte de la radiación térmica que emite la superficie del planeta y la “devuelven” a la superficie. Este efecto genera un aumento de la temperatura: el calentamiento global (Caballero y Ortega, 2007) (ver anexo 2).

Se puede establecer que, el cambio climático se ha convertido en el principal problema de la humanidad. Tanto es así que sus consecuencias están comenzando a ser devastadoras y de continuar sin tomar medidas, lo pueden ser aún más.

Entidades especializadas en el cuidado y protección del medio ambiente (Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sostenible, la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, el Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques y la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático CMNUCC) dan a conocer algunos datos

relativos a las transformaciones que ya está ocasionando el cambio climático como:

- La temperatura ha aumentado 1,1 grados, el mayor incremento de la historia de la humanidad. De seguir todo así se prevé que a finales del siglo en el que estamos la temperatura podría haber llegado a aumentar unos 4,8° C.
- Las sequías están siendo constantes en numerosos rincones del planeta, lo que resulta realmente un problema por muchas razones como, entre ellas, por los daños que sufren las cosechas.
- Están produciéndose numerosos fenómenos meteorológicos extremos como son los huracanes y las tormentas.

En su acepción más amplia, la noción de cambio climático trasciende al fenómeno causado por el hombre. Un cambio climático también puede producirse por factores no generados por las personas, como erupciones de volcanes, desplazamientos de las placas tectónicas o incluso modificaciones de las radiaciones del sol que llegan al planeta, tratados también en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático.

El cambio climático está aumentando la presión sobre las masas de agua. De inundaciones y sequías a sus efectos, en el agua, se intensifiquen a lo largo de los próximos años.

Europa se ve afectada por el cambio climático y sus efectos se perciben en la tierra y en las masas de agua (lagos, ríos, océanos y mares del continente). Dado que hay más agua que tierra sobre la superficie del planeta, no sorprende que el calentamiento de los océanos haya representado alrededor del 93 % del calentamiento del planeta desde el decenio de 1950 (AEMA, 2016 El cambio climático y el agua).

Este calentamiento se produce como consecuencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, sobre todo de dióxido de carbono, que a su vez atrapan cada vez más energía solar dentro de la atmósfera. La mayor parte de este calor atrapado se acaba almacenando en los océanos, lo que repercute en la temperatura y en la circulación del agua. Las temperaturas crecientes también están fundiendo las capas de hielo polares. A medida que se reduce la superficie total del hielo y la cubierta de nieve, va reduciéndose asimismo la cantidad de energía solar que se

refleja al espacio, lo que hace que el planeta se caliente aún más. Ello, a su vez, hace que se incorpore más agua dulce a los océanos, lo que altera aún más las corrientes (AEMA, 2016).

El aumento de la temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de los hielos y las nieves, y del incremento del promedio mundial del nivel del mar, de acuerdo al informe de síntesis del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) de la Organización de Naciones Unidas(ONU) (Koutsoyiannis, 2003), lo que a mediano plazo produce cambios en los patrones hidroclimáticos en las cuencas, zonas marinas y costeras, afectando directamente la biodiversidad de ecosistemas altamente sensibles como los manglares marinos, arrecifes, aguas subterráneas y acuíferos ya que las áreas costeras bajas se inundan cada vez más con agua salada, contaminando gradualmente el suelo, traduciéndose en potenciales desequilibrios económicos y en una disminución de los recursos naturales como el agua potable para el consumo humano (UNESCO Water, 2006).

El cambio climático también ha incrementado la temperatura media del agua de ríos y lagos, y ha acortado la duración de las estaciones durante las que está presente la cobertura de hielo. Estos cambios, junto al aumento de los caudales fluviales en invierno y su reducción en verano, tienen importantes repercusiones en la calidad del agua y en los ecosistemas de agua dulce. Algunos de los cambios desencadenados por el cambio climático agravan otras presiones sobre los hábitats acuáticos, incluida la contaminación. Por ejemplo, la reducción del caudal de un río debido a la disminución de las precipitaciones daría lugar a una mayor concentración de contaminantes, ya que hay menos agua para diluir la contaminación (Agencia Europea de Medio Ambiente –AEMA- EEA, 2019).

Con el creciente aumento de la presión que ejerce sobre las masas de agua; de inundaciones y sequías a la acidificación de los océanos y el aumento de los niveles del mar, se prevé que los efectos del cambio climático en el agua, se intensifiquen a lo largo de los próximos años.

Se estima que los océanos, el mayor sumidero de carbono de nuestro planeta, han absorbido alrededor del 30 % de todo el dióxido de carbono emitido por los seres humanos desde la Revolución Industrial (Agullar, 2019). En un estudio publicado por

Stefan Rahmstorf y Levke Caesar Nature (2018), se constató que los cambios en las pautas de circulación de los océanos afectan a la cantidad de dióxido de carbono que estos absorben. Cualquier reducción de la capacidad de los océanos para capturar dióxido de carbono de la atmósfera probablemente aumente su concentración global en aquella y, por tanto, contribuirá a intensificar el cambio climático.

1.4 Salinidad

Durante millones de años los ríos han ido depositando en los océanos diferentes sales minerales procedentes de la erosión de las rocas. El primero en exponer esta teoría, comúnmente aceptada, fue el científico inglés Edmund Halley en 1715. El ácido carbónico que contiene el agua de lluvia (mezcla del dióxido de carbono del aire y el agua) tiene un gran poder erosionador al disolverse sobre las rocas. Los iones resultantes de los diferentes elementos químicos se depositan en los ríos y acaban finalmente en los mares y océanos (Salamanca y Schneider, 2015).

Con el tiempo, según Salamanca y Schneider, (2015) la acumulación de estos sedimentos ha provocado que las grandes masas de agua oceánicas alcancen un índice de concentración de sal o salinidad medio del 3,5%, es decir, 35 gramos de sal por cada litro de agua. Los dos principales elementos contenidos en el agua de mar son el cloro (1,9%) y el sodio (1%) que, al combinarse, dan lugar al cloruro de sodio o sal común. Además de las corrientes de agua que desembocan en el mar, hay otros fenómenos que contribuyen a alimentar la salinidad, como los deshielos, la evaporación del agua, las erupciones volcánicas (la lava contiene sales), las aberturas hidrotermales que hay en el lecho marino, donde el agua se mezcla con minerales a altas temperaturas y es devuelta con un mayor nivel de sal, además las actividades humanas también provocan vertidos de sales de forma incontrolada.

El primer análisis del agua de mar con la finalidad de estimar el contenido de sales fue realizado en 1772. por el químico Francés Antoine Lavoisier quien lo efectuó mediante la evaporación del agua seguido de extracción con solventes. Si bien este análisis tiene la importancia de haber sido el primero, hoy sabemos que es imposible evaporar el agua de mar y pesar la sal que se obtiene como residuo; esto debido a que cómo algunas sales presentes en el agua de mar son el resultado de la

hidratación de determinados iones, al eliminar el agua estas se desintegran (Salamanca y Schneider, 2015).

Doce años más tarde (1784) el químico Sueco Oloy Bergman también publicó resultados del análisis de agua de mar, pero mediante un nuevo método consistente en pesar las sales precipitadas. Bergman además de realizar un análisis mucho más exacto del contenido de sales en el agua de mar, con este método, sentó las bases para el desarrollo de lo que posteriormente sería reconocido como la química analítica (Salamanca y Schneider, 2015).

Entre 1824 y 1836 la técnica de titulación volumétrica fue desarrollada por Joseph Louis Gay-Lussac a partir de la cual él determinó que el contenido de sales en aguas de mar abierto es, desde un punto de vista geográfico, aproximadamente constante.

Esta observación fue confirmada primero por Alexander Marcet en 1819-1822, y posteriormente en 1895 por Sir John Murray, quienes descubrieron que se pueden lograr análisis altamente precisos y exactos mediante métodos gravimétricos haciendo precipitar los iones en forma selectiva (ver anexo 3), y así, de la masa de cada precipitado estimar la cantidad de cada ion.

Marcet propuso además que el agua de mar contenía pequeñas cantidades de todas las sustancias solubles y que la abundancia relativa de algunas de ellas era constante; hipótesis actualmente conocida como el principio de Marcet o Regla de Proporciones Constantes. Esta regla establece que: “independientemente de cómo la salinidad varía de un lugar a otro, las razones entre las cantidades de los iones mayores en el agua de mar del océano abierto son aproximadamente constantes.

Alrededor de 1855 el 99% de los elementos que componían la sal marina habían sido descubiertos con las excepciones del Fluor, que solo fue aislado en 1886 y el Yodo en 1811 a partir de cenizas de algas marinas (Salamanca y Schneider, 2015). El concepto de salinidad, introducido como el término para expresar “el contenido de sales en el agua de mar” fue acuñado por Georg Forchhammer, y utilizado a partir de 1855. Este químico, que realizó exhaustivos análisis de agua de mar, pudo además confirmar la validez del principio de Marcet para los iones más abundantes, tales como el cloruro (Cl), sodio (Na⁺), Calcio (Ca²⁺), Potasio (K⁺), Magnesio (Mg²⁺) y Sulfato (SO₄) (Marco Salamanca y Wolfgang Schneider, 2015).

Para lograr la finalidad de este trabajo científico, se considera este concepto necesario para arribar a los resultados esperados en el mismo.

1.4.1 Afectación de ríos y suelos por salinidad

La salinización de los ríos es un problema que afecta a todo el mundo, como se puede observar en la figura 2. El problema aumenta año tras año en las regiones áridas y semiáridas del mundo como consecuencia de una baja precipitación y un mal manejo del agua de riego y de los fertilizantes (Villavicencio *et al.*, 2011). Las sales se acumulan por la inundación en zonas bajas, por la evaporación elevada, la transpiración vegetal y la proximidad en muchos casos de las aguas subterráneas que pueden llegar a alcanzar la superficie y salinizarse.

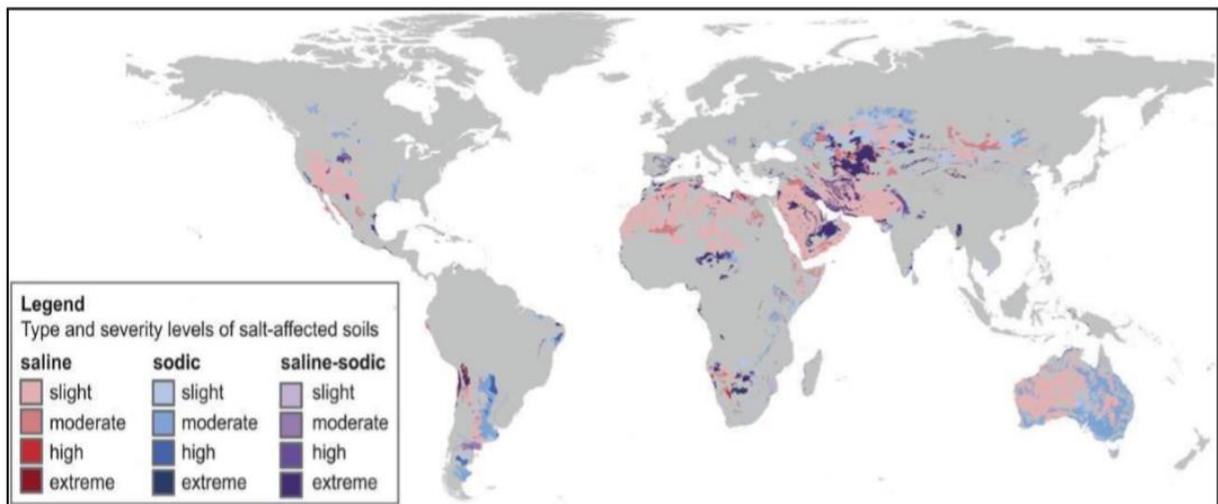


Figura 2. Mapa mundial de afectación de suelos por salinidad. Fuente: Wicke, *et al.*, 2011.

El funcionamiento del flujo de agua subterránea y su interacción con el agua superficial, puede ser estimado a partir de las características químicas del agua (cationes, aniones, pH, salinidad, CO₂ y temperatura), y de las relaciones entre el referente geológico, geomorfología, suelos y vegetación de la región de estudio (Tóth, 2000; Carrillo-Rivera, 2000).

La salinidad y la sequía son dos de los factores limitativos ambientales por los efectos negativos del cambio climático, que afectan el establecimiento y desarrollo de las especies, así como de la producción agrícola (Villavicencio *et al.*, 2011), lo que presupone un riesgo para la salud humana, con grandes afectaciones medioambientales y económicas, acrecentado por el consumo creciente de agua.

Cuando hablamos de salinización de los ríos nos referimos al proceso de aumento del contenido de sales disueltas que transporta el agua de un río, la cual puede ser de distintos tipos y orígenes.

De manera natural, todos los ríos transportan sales disueltas, que se encuentran en las aguas fluviales a causa de la alta capacidad del agua de disolver las rocas por donde circula. Las rocas ígneas o cristalinas, como el granito, suelen ser muy duras y de difícil disolución, pero las rocas calcáreas o sedimentarias en general, se disuelven con mayor facilidad, aportando al agua gran cantidad de sales como el calcio, el magnesio, el sodio o el potasio, entre otras.

Sin embargo, las actividades humanas pueden provocar vertidos de sales de forma incontrolada, cambiando la calidad del agua natural de un río. Las actividades mineras son las que más sales aportan a los ríos. Las escombreras olvidadas al aire libre son fuente de contaminación cuando la lluvia cae sobre ellas y arrastra las sales de las rocas machacadas hasta el río, alterando su composición química y poniendo en serio peligro la utilidad de dichas aguas a su vez que también altera el ecosistema acuático.

1.4.2 Medición de la salinidad del agua

La salinidad del agua puede medirse fácilmente mediante un parámetro indirecto conocido como la conductividad eléctrica, usando un simple conductímetro. Este aparato se basa en establecer una circulación de corriente eléctrica dentro del agua, que circula mejor cuantas más sales disueltas haya, de manera que, a mayor conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el agua que estamos midiendo, lo que facilita determinar las conductas a seguir con esa masa de agua (UNIBA, 12/2017).

En la misma fuente se plantea, que los valores razonables y normales fluctúan en cada río dependiendo de las rocas subyacentes, pero se pueden tolerar unos valores de conductividad en aguas fluviales que oscilen entre los 400 y los 1000 mS/cm (microsiemens por centímetro, que son las unidades de conductividad eléctrica).

Las actividades humanas y los efectos del cambio climático, que tiende a reducir la cantidad de agua que puede circular por los ríos, harán que progresivamente, las aguas de los ríos se vayan salinizando cada vez más por dos razones: una menor

cantidad de agua y una aportación artificial de sales, lo que dificultará y encarecerá el coste de su tratamiento para destinar el agua al riego y al consumo. Asimismo, también alteraran el ecosistema fluvial y el espacio fluvial en general.

En ecosistemas fluviales de todo el mundo, el exceso de sal en los ríos a causa de la actividad humana es un factor que condiciona la supervivencia de organismos y comunidades, la biodiversidad y el equilibrio ecológico de todo el ecosistema, y genera también efectos de carácter económico y problemas de salud pública. Esta es una de las conclusiones del artículo publicado en la revista *Environmental Pollution*, liderado por científicos españoles (Cañedo-Argüelles *et al.*, 2013) de la Universidad de Barcelona.

Según explica Cañedo-Argüelles *et al.*, (2013), hace hincapié en la gravedad de los efectos ecológicos, económicos y de salud global que provoca la salinización secundaria que se da en muchas regiones del mundo, a pesar de que todavía hay un gran desconocimiento sobre esta problemática.

Además, el marco legislativo actual es todavía "demasiado flexible" en relación con los límites de la concentración salina que pueden tener los ríos, a lo cual se adscribe la autora de este trabajo. A escala europea, la salinidad tampoco se considera un problema principal y no existe ninguna directiva de regulación. El factor empresarial e industrial, en muchos países, prevalece sobre la necesidad de establecer una legislación más restrictiva. Esta realidad se ratifica con la solicitud irresponsable del presidente de los Estados Unidos a su gobierno, de flexibilizar más las legislaciones medio ambientales, potenciando la economía en detrimento de la vida en el planeta.

En opinión de Cañedo-Argüelles *et al.*, (2013), y así también se considera en este trabajo después de las revisiones bibliográficas realizadas, que "no hay conciencia de la gravedad del problema y se carece de información sobre cómo afecta el exceso de sal a la funcionalidad del ecosistema fluvial".

La salinización puede tener costes económicos muy elevados tanto debido a la pérdida de servicios ecosistémicos, como de costes directos relacionados con el tratamiento del agua para el consumo humano. En la gran mayoría de los casos las acciones preventivas se enfocan únicamente hacia el uso humano del agua,

ignorando la protección de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos donde se incluyen los suelos.

1.5 Precipitaciones

La precipitación es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La misma forma parte del ciclo del agua que mantiene el equilibrio y sustento de todos los ecosistemas. La precipitación se genera por la condensación de agua, o sea, la acumulación de agua en la atmósfera creando nubes. El agua que se acumula en la atmósfera generalmente se encuentra en estado gaseoso.

Según Jay, (2019), cuando existe una cantidad considerable de agua gaseosa dentro de las nubes el agua pasa del estado gaseoso al líquido o al sólido. El peso del agua cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre o marítima provocando precipitaciones tanto líquidas como, por ejemplo, las lluvias o sólidas como el granizo y la nieve. Las precipitaciones líquidas como la lluvia pueden contener contaminantes que son absorbidas en la atmósfera y caen junto con la lluvia llamadas lluvias ácidas. La principal fuente de humedad para generar la precipitación, lo constituye la evaporación desde la superficie de los mares lo que producirá la formación de nubes. Éstas son arrastradas por los vientos permaneciendo una cantidad sobre los océanos y otras son llevadas hacia los continentes. En este recorrido las gotas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o debido a la conglomeración de partículas que se presenta en la atmosfera. Cuando las gotas se agrandan, éstas caen por su propio peso hacia la superficie terrestre en estado líquido o sólido. Las precipitaciones que se desarrollan con temperaturas mayores a 0°C, caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es menor a 0°C y caen en forma de granizo o nieve.

1.5.1 Formación de la precipitación

La formación de las precipitaciones se origina debido a que las masas de aire ascienden hasta las alturas de enfriamiento los cuales requieren tres condiciones: Producirse un estado de saturación, un cambio de fase de vapor de agua a líquido o sólido y el crecimiento de pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída. Con las dos primeras condiciones, se forman las nubes, pero no necesariamente se producen las precipitaciones. Para que se formen gotas de tamaño y peso suficiente,

se requiere núcleos de condensación constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. Después de la nucleación, se generan en las nubes pequeñas gotas de diámetro de aproximadamente 0.02 mm, pero las gotas de lluvia tienen un diámetro de 0.5 a 2 mm. Ello indica que el volumen de las gotas de las nubes sufre un aumento de un millón de veces su volumen (Jay, 2019).

El factor más influyente en la gestión del recurso hídrico es el cambio climático; que ha generado cambios estacionales y junto con ello los cambios en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, estos factores repercuten poniendo en riesgo la producción agrícola y con ello el entorno económico (Orellana, 2019).

La posición de la interfaz agua dulce-agua salada varía de profundidad por muy diversas causas naturales y artificiales (antrópicas). Cuanto más cerca de la superficie del terreno se encuentra dicha interfaz, mayor peligro existirá de contaminación de las aguas potables. La posición de la interfaz varía de acuerdo al volumen de las precipitaciones anuales y durante una serie de años. La sequía generalmente provoca el avance de las aguas saladas hacia el interior de tierra firme, pues el volumen de agua dulce que alimenta las mismas disminuye (Jay, 2019).

También el incremento del nivel de los mares provoca el aumento de la presión del agua salada hacia el acuífero y estas penetran más en el mismo. Por otra parte, el bombeo excesivo de agua en los pozos puede generar una elevación local de la interfaz agua dulce-salada, y contaminar el acuífero. Este proceso es válido durante la explotación, pero sobre todo cuando se extraen grandes volúmenes de agua para su aprovechamiento agropecuario y humano. Este es uno de los mayores riesgos a que están sometidos los recursos de aguas subterráneas y superficiales de las zonas. El estudio del proceso de intrusión salina requiere el establecimiento de redes de control que permitan efectuar el seguimiento de la evolución espacial y temporal del avance de la salinidad del agua.

1.6. Impacto del cambio climático en Cuba

En Cuba, la investigación sobre el cambio climático la inició la Academia de Ciencias de Cuba en 1991, las que se intensificaron a partir de noviembre del 2004, luego de un exhaustivo análisis y debate sobre los impactos negativos causados por los huracanes Charley e Iván en el occidente del país, hasta la creación de La tarea Vida

como Plan del Estado cubano para el enfrentamiento al cambio climático, inspirada en el pensamiento del líder histórico de la Revolución cubana Fidel Castro Ruz.

1.7. Marco legislativo gubernamental

Existe un marco legislativo gubernamental que respalda la política del estado para el enfrentamiento al cambio climático, en su contenido aparece: Ley 81 del Medio Ambiente que es la ley que regula la actividad ambiental y con respecto a las cuencas hidrográficas, refiere y cito:

“La gestión ambiental en las cuencas hidrográficas se realizará de conformidad con la legislación vigente y se basará en un manejo integral que asegure que las actividades económicas y sociales se efectúen a partir de una adecuada protección y uso racional de los recursos naturales y del medio ambiente. Corresponde al Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, en coordinación con los órganos, organismos correspondientes, realizar las acciones que permitan integrar y armonizar con los principios y objetivos de la presente Ley, la actividad de todas las personas naturales o jurídicas que intervienen en una cuenca dada...”

Ley No. 124 de las aguas terrestres

La Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba, en su sesión del día 14 de julio de 2017, correspondiente al Noveno Período Ordinario de Sesiones de la VIII Legislatura, ha aprobado:

POR CUANTO: La Constitución de la República de Cuba establece que el Estado ejerce su soberanía sobre las aguas interiores y los recursos naturales del país; que las aguas son propiedad estatal socialista de todo el pueblo y preceptúa el deber de los ciudadanos de contribuir a su protección.

POR CUANTO: La gestión integrada de las aguas terrestres, recurso natural renovable y limitado, requiere de una eficaz planificación, dirigida a satisfacer el interés general de la sociedad, la economía, la salud y el medio ambiente, con el fin de garantizar su preservación en armonía con el desarrollo económico y social sostenible y la adopción de medidas ante los eventos derivados del cambio climático

ARTÍCULO 8.1. La cuenca hidrográfica es el área delimitada por la divisoria de las aguas superficiales y subterráneas que conforman un sistema hídrico, que las conduce a un río principal, lago, zona de infiltración o costa. Los límites de la división de las aguas superficiales y subterráneas no siempre coinciden, por lo que se extienden hasta incluir los acuíferos o tramos subterráneos, cuyas aguas confluyen hacia la cuenca en cuestión, a los efectos de la gestión integrada de las aguas terrestres.

ARTÍCULO 18.1. Conforman las redes de monitoreo del ciclo hidrológico referidas en el artículo anterior, las siguientes:

- a) Red pluviométrica;
- b) red pluviográfica;
- c) red hidrométrica;
- d) red hidrogeológica; y
- e) red evaporimétrica.

La red de calidad de las aguas terrestres, está integrada por:

- a) las estaciones básicas de monitoreo de la calidad del agua en las fuentes, superficiales o subterráneas, en el punto de captación.
- b) las estaciones de vigilancia para conocer la calidad del agua, superficial o subterránea, en los cuerpos de agua.

ARTÍCULO 19.1. Forman parte además de las redes de monitoreo del ciclo hidrológico, según demande la situación, los Sistemas de Alerta Temprana para la Prevención Hidrológica que operan en las cuencas hidrográficas.

Datos avalados por estudios científicos, en la implementación de la Tarea Vida, ratifican que hoy el clima de la Isla es cada vez más cálido y extremo. Se ha observado gran variabilidad en la actividad ciclónica. Las inundaciones costeras ocasionadas por la sobreelevación del mar y el oleaje, producidos por huracanes, frentes fríos y otros eventos meteorológicos extremos, representan el mayor peligro por la destrucción que causan del patrimonio natural y el construido en la costa (CITMA, 2017).

También se ha producido un acrecentamiento de las temperaturas de la superficie del mar y de la capa baja de la troposfera. La reducción de la disponibilidad potencial de agua se refleja fuertemente en la disminución del volumen aprovechable, como consecuencia no solo de la reducción de la precipitación, sino también, de la elevación de la competencia existente por el agua entre los ecosistemas y la demanda humana (CITMA, 2017).

Los científicos cubanos trabajan desde la década del 90 en la modelación del cambio climático en Cuba y en el Caribe. Actualmente, en conjunto con el Centro del Cambio Climático de la Comunidad del Caribe (CCCCC), y con la colaboración del Centro Hadley del Reino Unido, ellos desarrollan y emplean el Modelo Regional PRECIS, con una resolución de 50 y 25 km², lo que les ha permitido representar el clima del futuro en países tan pequeños como los caribeños. Con estas investigaciones (Planos, 2014) se ha logrado resultados para Cuba que tienen una resolución muy detallada, además de un alto índice de concordancia en las proyecciones de la temperatura y la precipitación.

En la implementación del Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático, se definen tres elementos esenciales que constituyen el punto de partida para la elaboración y materialización de planes de acciones encaminados a salvar el planeta, que son compromisos de Cuba para enfrentar este fenómeno global, el mismo incluye además las medidas de mitigación y adaptación; así como otras asociadas a la educación, sensibilización y transferencia tecnológica.

Los elementos esenciales son:

- Cambio climático: cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables, como mínimo de 30 años. Las estrategias fundamentales en el enfrentamiento al cambio climático son la mitigación y la adaptación.
- Adaptación: Contempla los estudios y soluciones para disminuir en lo posible la vulnerabilidad general ante los impactos del cambio climático. En los sistemas humanos, las acciones tratan de moderar los daños o aprovechar las

oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

- Mitigación: estudios y soluciones para reducir las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) sin comprometer el desarrollo económico y social del país. Entre las soluciones se incluyen aquellas que persiguen la absorción de los GEI (emisiones netas); por ejemplo: la absorción del CO₂ en sumideros biológicos como los bosques o la captura del CO₂ en depósitos subterráneos u oceánicos.

El libro *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba* resume las investigaciones desarrolladas por un colectivo de autores de más de 30 instituciones del país (Camacho, 2014).

Los OACE, OSDE, EN y los CAP-CAM intensifican las acciones e iniciativas para la búsqueda de alternativas de financiamiento internas y externas que aseguren el Plan de Estado. Incrementan el trabajo con el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, el Fondo Verde para el Clima, así como gestionan otros recursos financieros internacionales disponibles como los de fuentes bilaterales, ratificado por el entonces presidente de la república de Cuba y actual Secretario General del Partido Comunista de Cuba General de Ejército Raúl Castro Ruz en el discurso pronunciado en la sesión plenaria de la Cumbre de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible, Río+20, Rio de Janeiro, Brasil, junio 2012 cuando expresó:

“Un profundo y detallado estudio realizado durante los últimos cinco años por nuestras instituciones científicas, coincide en lo fundamental con los informes del Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático y confirma que, en el presente siglo, de mantenerse las actuales tendencias, se producirá una paulatina y considerable elevación del nivel medio del mar en el archipiélago cubano. Dicha previsión incluye la intensificación de los eventos meteorológicos extremos, como los ciclones tropicales, y el aumento de la salinización de las aguas subterráneas. Todo ello tendrá serias consecuencias, especialmente en nuestras costas.

2. Materiales y métodos

Se realizará un análisis de la metodología de trabajo y se caracterizará el comportamiento de las precipitaciones y la salinidad de zonas costeras como resultado del cambio climático.

2.1. Metodología de trabajo

La figura 2.1 representa la metodología de trabajo empleada en el cuerpo de la investigación, la cual consta de tres etapas de trabajo. A continuación, se describen las mismas:

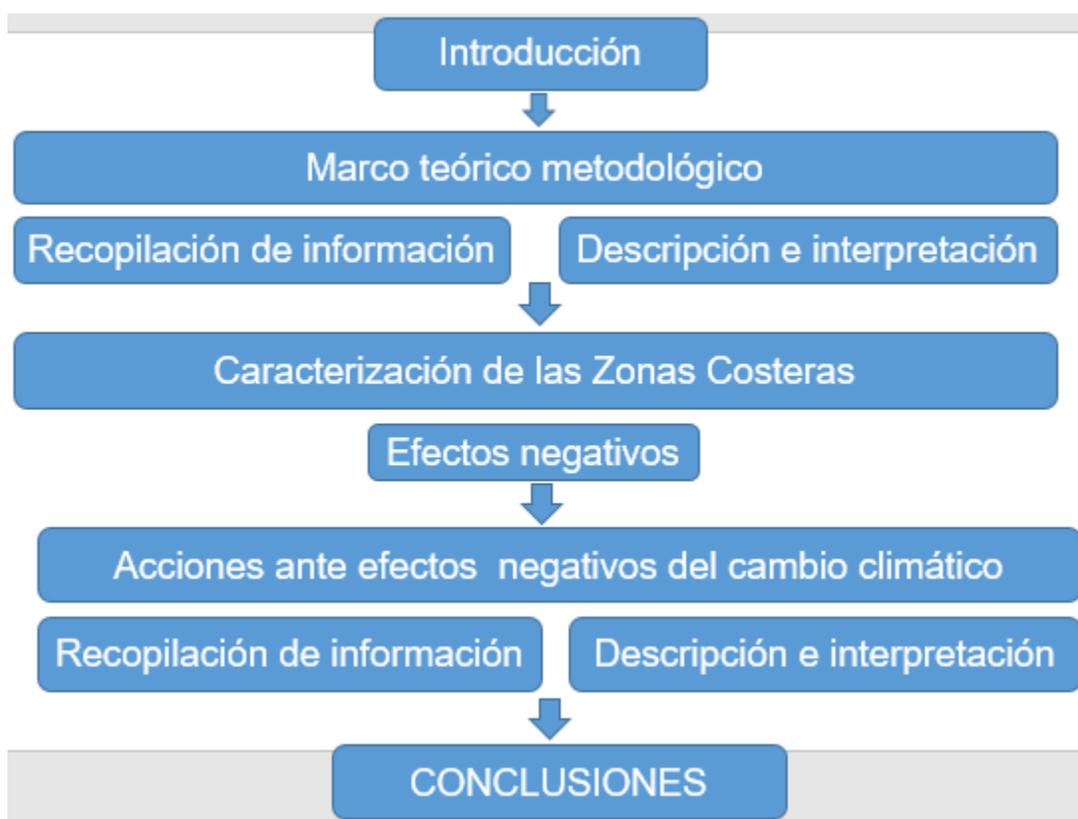


Figura 2.1. Esquema de la metodología de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1. Marco teórico conceptual

Etapa de indagación, que es el proceso de búsqueda y análisis en la revisión bibliográfica de toda la información relacionada con el problema de estudio, cuyo resultado es toda la información necesaria obtenida, referente al tema.

La misma se complementa con:

- 1) Planteamiento del problema: queda desarrollado en todo el proceso de análisis y planteamiento de la metodología de la investigación.
- 2) Recuperación de información: se realiza una búsqueda detallada de datos e información en distintas bibliografías relacionadas con el tema de estudio.
- 3) Descripción e interpretación: se hace un análisis de toda la información relacionada con la salinidad y las precipitaciones como consecuencia del cambio climático y los efectos negativos en las zonas costeras.

Etapa 2. Caracterización de zonas costeras según la salinidad y las precipitaciones como consecuencia del cambio climático.

Tiene como objetivo caracterizar las zonas costeras atendiendo a la salinidad y las precipitaciones como consecuencia del cambio climático, abordando los efectos negativos que ha causado a la naturaleza para la existencia de la vida en el planeta.

Etapa 3. Resultados

En esta etapa se destacan los daños causados por las contaminaciones de los efectos del cambio climático. Además, se ejemplifica como han sido dañadas zonas costeras de varios países por los efectos negativos del cambio climático.

Para mitigar esos efectos se elaboran acciones adaptativas en caminadas a incidir en la preservación del medio ambiente, de modo que constituyan modos de actuación para los seres humanos en el esfuerzo que hace nuestro estado cubano, las Naciones Unidas y otros estados por preservar la vida en el planeta.

2.2 Caracterización de zonas costeras como consecuencias del cambio climático.

Los resultados de valores extremos de la variable hidrográfica precipitación, como son las inundaciones y las sequías, es parte del reflejo del cambio climático que también está asociado a la salinización de las aguas que tanto afecta a la agricultura y a la disponibilidad de agua potable para los más de (habitantes). En resultados de investigación divulgados en la página Web www.tendencias21.net se plantea que los océanos del mundo se están volviendo más salados cerca del Ecuador y más dulces cerca de los polos, lo que confirma las predicciones sugeridas por algunos modelos climáticos y presagia serias consecuencias para el sistema climático global y las

reservas de aguas, según un estudio realizado durante varias décadas en el Océano Atlántico, entre Groenlandia y Sudamérica.

El estudio, desarrollado por Ruth Curry, de la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), Bob Dickson, del Centre for Environment, Fisheries, and Aquaculture Science de Lowestoft, U.K., y por Igor Yashayaev, del Bedford Institute of Oceanography en Dartmouth, Canadá, y publicado en la revista Nature, (2015), sugiere que la evaporación oceánica está aumentando al mismo tiempo que lo hace la temperatura del planeta, provocando alteraciones sustanciales en la composición salina de los océanos tanto en las regiones tropicales y subtropicales que se vuelven más saladas, y en los polos cada vez más dulces.

Eso quiere decir que cuanto más elevada sea la temperatura global, habrá una mayor evaporación del agua del mar, este proceso hace que la atmósfera atrape calor reforzando el efecto invernadero, lo que normalmente continúa endulzando las aguas en las zonas polares alterando así la circulación oceánica e introduciendo cambios paulatinos en el clima global. Esta progresiva evaporación aumentará a su vez las precipitaciones porque la atmósfera no puede sostener tanta agua. Si la evaporación ocurre en los trópicos, el agua se vuelve más salada porque el mar pierde volumen, al mismo tiempo aumenta las precipitaciones en las latitudes polares, haciendo estos mares más dulces.

Estas modificaciones en la composición de los océanos están ocurriendo en unas dimensiones que exceden la capacidad de circulación para compensar estos efectos en los mares, lo que los convierte en duraderos con consecuencias en el sistema global. El efecto retro alimentador de estos procesos es evidente, ya que los cambios constatados en la salinidad de los océanos, afectan al modelo de precipitaciones que regula la distribución, intensidad y la frecuencia de las sequías, las inundaciones y de las tormentas.

Esta reacción, a su vez, potencia el calentamiento global que origina los cambios en la salinidad de los océanos, ya que la evaporación atrapa calor en la atmósfera y refuerza el efecto invernadero, lo que normalmente continúa endulzando las aguas en las zonas polares alterando así la circulación oceánica e introduciendo cambios paulatinos en el clima global. Hay que tener en cuenta al respecto que los océanos y

la atmósfera viven un proceso de interactividad permanente, ya que la evaporación que se produce sobre las latitudes cálidas, tropicales y subtropicales, transfiere vapor de agua a la atmósfera, que es la encargada de trasladar este vapor a los polos.

En los polos, este vapor de agua se convierte en lluvia o nieve y termina así volviendo a los océanos, los cuales transeren normalmente a las zonas tropicales agua dulce, facilitando así la evaporación. Este proceso es el que mantiene el equilibrio de la distribución de agua alrededor del mundo. Los océanos contienen el 96% del total de agua que posee la Tierra, suministran el 86% de la evaporación total y reciben el 78% de todas las precipitaciones, lo que les convierte en la clave del ciclo del agua y de la vida en nuestro planeta.

El estudio analizó abundantes medidas de salinidad de aguas tranquilas en las últimas décadas a lo largo de una región del océano Atlántico comprendida entre Groenlandia y Sudamérica. Comparando sucesivamente los datos obtenidos, los investigadores comprobaron importantes cambios en la salinidad de agua durante al menos cinco décadas consecutivas. Apreciaron mayor salinidad en las regiones tropicales y subtropicales del Océano Atlántico y menos densidad salina en las zonas norte y sur del océano analizado. Esta tendencia se aceleró especialmente después de 1990, coincidiendo con los registros más cálidos de temperatura obtenidos desde que se iniciaron en 1861. Los científicos también apreciaron que las evaporaciones atlánticas aumentaron entre un 5 y un 10 por ciento en los últimos cuarenta años.

Cuando se pretende llevar a cabo estimaciones de las variables hidroclimáticas en aquellas cuencas hidrográficas con potencial para la producción de agua para abastecimiento agrícola y doméstico, los diferentes especialistas se encuentran con diversos inconvenientes, como escasas o falta de estaciones climáticas y poca o ninguna información asociada al uso del agua, entre otros. Es por ello que por lo general se acuden a técnicas estadísticas y cartográficas a fin de solventar la falta de información confiable y así generar datos preliminares importantes para la administración hídrica (Sharp, 2004).

2.2.1. Salinidad en ríos

En Australia, según Cañedo-Argüelles, (2013), el ejemplo más extremo de salinización se encuentra en algunos ríos.

En el continente europeo, el proceso de salinización de ríos por la acción de las personas se está agravando desde hace años. "En España también es un problema", señala el catedrático Narcís Prat, (2013) director del Grupo de Investigación Freshwater Ecology and Management (FEM) de la UB. "En la depresión del Ebro, debido a las características del suelo y del tipo de agricultura que se practica, existen ríos todavía más salados que algunos de Australia, pero aquí las prioridades en la gestión de los recursos hídricos tienen poco en cuenta la conservación de los sistemas fluviales y esta cuestión no se corrige". Según Prat, (2013) este tema todavía es más grave en la región de Murcia: donde riegan mucho y hay poca agua, y los ríos son salinos por el efecto del exceso de explotación del agua.

Esto lleva a un uso más intensivo del agua subterránea para beber y para el riego, lo que agota aún más el nivel freático y permite que incluso más sal se filtre hacia el suelo, por ejemplo, en Bangladesh, aunque sus impactos podrían aparecer en distintos continentes.

El río Llobregat está salinizado desde hace tiempo asegura Prat, (2013), pero además de la sal, también existen otros parámetros que pueden afectar la calidad medioambiental del agua. Por lo tanto, a veces no se sabe qué es lo más importante, si la sal o la contaminación producida por otros factores. Con el mesocosmos, se puede estudiar de manera aislada el efecto de cada factor, por ejemplo, la concentración de sales, y diferenciarlo de la influencia de los otros factores.

En el ejemplo anterior del río Llobregat, se han llegado a registrar valores de hasta 10,000 mS/cm en el agua del río después de un episodio de lluvia, lo que demuestra la facilidad de arrastre del agua de lluvia sobre las escombreras y la facilidad de la entrada de sales en el río.

Para Prat, (2013) el nivel de salinidad del tramo bajo del Llobregat a partir de la zona de la minería de potasa está en el límite del uso agrícola y es inaceptable para el uso humano. La situación no es tan alarmante como en los ríos de Australia, pero es preocupante. Y en el tramo bajo del Besós sucede lo mismo: las aguas cada vez son más saladas, en este caso no por la actividad minera sino por procesos relacionados con la descalcificación del agua, que es similar a lo que pasa con nuestros lavavajillas, a los que añadimos sal para evitar las manchas que dejaría la cal.

Los efectos del cambio global podrían incrementar todavía más la salinidad de los ríos en muchas regiones. Cañedo-Argüelles (2013), cree que es difícil tener modelos sobre el impacto del cambio climático. En comparación con otras regiones del planeta, se espera que en la región Mediterránea disminuyan las precipitaciones, se incremente la sequía, el consumo de agua y, en consecuencia, la salinidad en los ríos. Para el catedrático Prat, (2013), lo más importante es pasar de pelearse a cooperar. Hay que reaccionar antes de que el problema del exceso de sal en los ríos de Cataluña y de todo el mundo sea más grave de lo que es en la actualidad.

La abundancia de sal, explican los expertos, también afecta negativamente la potabilización del agua. Obliga a implantar nuevas tecnologías, como la ósmosis inversa, que han encarecido el proceso de potabilización del agua de consumo en las plantas de Abrera y de Sant Joan Despí. Además, el uso de cloro para potabilizar el agua produce muchos compuestos químicos derivados que pueden ser tóxicos para el medio ambiente y la salud.

2.2.2. Las temperaturas superficiales del mar

Las temperaturas superficiales del mar en las costas europeas están aumentando más rápidamente que las de los océanos mundiales. La temperatura del agua representa uno de los elementos reguladores de la vida marina más importantes, por lo que los aumentos de temperatura están causando ya grandes cambios bajo la superficie del agua, entre los que cabe incluir alteraciones significativas de la distribución de especies marinas.

Según el informe de la AEMA *Climate change, impacts and vulnerability in Europe*, (2016). El bacalao, la caballa y el arenque del Mar del Norte, por ejemplo, están migrando desde sus hábitats históricos hacia el norte en busca de aguas más frías, siguiendo su fuente de alimento: los copépodos. Estos cambios, incluida la migración de poblaciones de peces de interés comercial, pueden afectar claramente a los sectores económicos y las comunidades que dependen de la pesca. El aumento de las temperaturas del agua también puede aumentar el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como, por ejemplo, las infecciones por vibriosis en la región del Mar Báltico.

El cambio climático también está afectando a otros aspectos del agua de mar. Las noticias recientes sobre el drástico aumento de los niveles de decoloración de los arrecifes de coral, debido principalmente al incremento de las temperaturas en los océanos Pacífico e Índico, han llamado la atención sobre los efectos de las olas de calor oceánicas en los ecosistemas marinos locales. Incluso un pequeño cambio en cualquier aspecto clave, como la temperatura del agua y la salinidad o los niveles de oxígeno, puede tener efectos negativos en estos ecosistemas sensibles según Abraham, (2019), investigador del informe *“Cuando el mundo y los océanos se calientan, cambia la forma en que la lluvia cae y se evapora”*.

Por ejemplo, la vida marina en el Mar Báltico (un mar semicerrado) está estrechamente ligada a los niveles de salinidad y oxígeno. Más de 1 000 especies marinas viven en el Kattegatt, cuyos niveles de salinidad y oxígeno son relativamente altos, pero dicha cifra se reduce a únicamente 50 especies en las zonas septentrionales del Golfo de Botnia y en el Golfo de Finlandia, donde empiezan a predominar las especies de agua dulce. Numerosas proyecciones climáticas apuntan a que un mayor nivel de precipitaciones en la región del Mar Báltico podría conducir a una disminución de la salinidad del agua en zonas del Báltico, lo que tendría efectos en los lugares donde pueden vivir distintas especies (AEMA, 2016).

El aumento de las temperaturas del agua debido al cambio climático en el Mar Báltico también está contribuyendo a la proliferación de las «zonas muertas», en las que se ha agotado el oxígeno, que resultan inhabitables para la vida marina. Se prevé que el mar Mediterráneo experimente un aumento de la temperatura y, asimismo, de la salinidad, provocado por una mayor evaporación y unas precipitaciones más escasas.

La acidificación (debido a que los océanos absorben una mayor cantidad de dióxido de carbono y producen ácido carbónico) es también una amenaza creciente. Los mejillones, los corales y las ostras, que construyen conchas de carbonato de calcio, tienen más dificultades para construir sus conchas o materiales esqueléticos a medida que disminuye el pH del agua de mar, lo que los hace más frágiles y vulnerables (AEMA, 2016).

Además investigaciones recientes apuntan a que, el cambio climático está afectando a la corriente del Golfo y a otras corrientes que forman parte de un complejo sistema de circulación de las aguas del Océano Atlántico al que se denomina formalmente circulación meridional de retorno del Atlántico (AMOC, por sus siglas en inglés). Otros estudios recientes demuestran que la circulación atlántica es la más débil de, al menos, los últimos 1 600 años, lo que apunta a una desaceleración de la corriente. Numerosas regiones de Europa padecen ya inundaciones y sequías más extremas, según el informe de la AEMA Climate change, impacts and vulnerability in Europe, (2016). Los glaciares se están derritiendo, la cubierta de nieve y hielo se está reduciendo. Las pautas de precipitación están cambiando, volviéndose más húmedas las regiones europeas que ya lo son y más áridas las secas. Al mismo tiempo, los fenómenos extremos relacionados con el clima, como las olas de calor, las precipitaciones intensas y las sequías, son cada vez más frecuentes e intensas.

En la icónica ciudad de Venecia, conocida no solo por su patrimonio cultural sino, por sus frecuentes inundaciones, se prevé que el aumento del nivel del mar vinculado al cambio climático cause inundaciones aún más frecuentes en la ciudad. Sin embargo, es poco probable que cualquier proyecto evite que las inundaciones aneguen lugares bajos como el que ocupa la Plaza de San Marcos.

A causa de la sequía, helicópteros del ejército suizo se movilizaron para dar de beber a las vacas en las zonas de pastoreo de montaña. El mes de julio fue el sexto más cálido en la región desde el comienzo de las mediciones en 1864, y el calor en los próximos días se acentuará aún más.

2.2.3. Efectos negativos en Cuba como resultado del cambio climático

En Cuba la variación en el régimen de lluvia ha implicado una reducción progresiva de los recursos hídricos potenciales disponibles, según apreciaciones basadas en estudios de la precipitación promedio anual, realizados sistemáticamente por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) (ver tabla 1). Además, es muy común la intrusión salina que es el proceso de penetración de las aguas marinas hacia los acuíferos costeros.

Tabla 1. Reducción de la precipitación promedio anual en el país. Fuente: INRH, (2018).

MARCA TEMPORAL DE LA REDUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN CUBA Y SU REPERCUSIÓN EN LOS RECURSOS HÍDRICOS POTENCIALES			
PERÍODO	1931 - 1972	1961 - 1990	1961 - 2000
Precipitación promedio (mm)	1475	1335	1327
Recursos hídricos potenciales (km ³)	38	30	27
Reducción recursos hídricos potenciales respecto promedio 1931 -1972 (%)	0	21	29

La temperatura media anual aumentó en 0,9 grados centígrados desde mediados del siglo pasado. Se ha observado gran variabilidad en la actividad ciclónica, desde el 2001 hasta la fecha hemos sido afectados por nueve huracanes intensos, hecho sin precedentes en la historia. Desde 1960 el régimen de lluvias ha cambiado, incrementándose significativamente las sequías; y el nivel medio del mar ha subido 6,77 centímetros hasta la fecha.

Los escenarios climáticos considerados más probables para Cuba expresan que la temperatura promedio del aire puede aumentar entre 2,6 y 4,5°C y que la precipitación anual puede disminuir entre un 15 y 60%, respecto a los valores actuales. En uno de los escenarios más favorables sobre la disponibilidad de agua, se estima que esta podría reducirse a 24 km³ para el 2100, cifra que representa un 37% menos respecto de la línea base 1961-1990.

Esto puede apreciarse con más detalle en las tablas que se muestran a continuación, las cuales exhiben el impacto posible del cambio climático en el balance hídrico de Cuba y sus regiones occidental, central y oriental, para predicciones obtenidas con el Modelo HadaM3P. En cualquiera de los resultados de la modelación que se consideren más probables, el balance hídrico demuestra una significativa reducción del agua potencial (Ver tabla 2).

Tabla 1. Balance hídrico anual. Fuente: INRH, (2018).

: Síntesis Informativa sobre Impactos del Cambio Climático ...

BALANCE HÍDRICO ANUAL SEGÚN MODELO HADAM3P, ESCENARIO SRES-A2.								
	CUBA		REGIÓN OCCIDENTAL		REGIÓN CENTRAL		REGIÓN ORIENTAL	
AÑO	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P	1247	1097	1247	1145	1210	1091	1300	1067
E	1863	2176	1864	2161	1884	2203	1834	2154
ETP	1022	967	1006	987	1015	974	1053	946
W	24,9	14,4	7,6	4,9	8,2	4,9	9,0	4,4

P: precipitación anual (mm), E: Evaporación potencial (mm), ETP: evapotranspiración (mm). W: volumen de agua potencial (km³)

La plataforma insular cubana y la manera en que se relacionan los mares adyacentes a Cuba con el océano sufrirán alteraciones significativas, entre ellas:

- Modificación paulatina de las características físico-geográficas, hidrográficas e hidroclimáticas de la plataforma insular y de la línea de costa.
- Reducción considerable de las áreas bajas de la Isla de Cuba, de las cayerías y de la Ciénaga de Zapata, junto con la desaparición de numerosos cayos con cotas menores de 0,5 m.
- Aumento de las fluctuaciones de la marea y de las variaciones no periódicas del nivel del mar, lo cual se incrementará durante eventos atmosféricos severos.
- Retroceso de la costa hasta un máximo de 7 km y aumento de la profundidad de la plataforma.
- Aumento de la velocidad de las corrientes marinas e incremento del intercambio entre el océano y los mares adyacentes.
- Alteración en la distribución espacial de los sedimentos, como consecuencia de cambios en el proceso de erosión-acumulación a lo largo de la costa.
- Aumento de la intrusión salina de las Zonas costeras desprotegidas ubicadas en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Granma, Camagüey, Cienfuegos y Sancti Spiritus.

Este escenario marino costero, combinado con la reducción de la precipitación, reforzará el déficit de disponibilidad potencial de agua dulce, debido al impacto que tendrá la intrusión marina en los acuíferos costeros. Un escenario probable en estos acuíferos para el 2100, de mantenerse el régimen actual de explotación, refleja que con un aumento del nivel medio del mar hasta 85 cm y una reducción del 25% de la precipitación en el período húmedo, la intrusión salina en la dirección horizontal avanzaría entre 4 y 5 km; mientras que en el sentido vertical ascendería entre 19 y 21 m (Planos, 2014). Esta situación implicaría la reducción significativa de la entrega de agua subterránea. Por otra parte, acuíferos costeros poco potentes podrían desaparecer por la salinización definitiva de sus reservas.

Las proyecciones futuras indican que la elevación del nivel medio del mar puede alcanzar hasta 27 centímetros en el 2050, y 85 en el 2100, provocando la pérdida paulatina de la superficie emergida del país en zonas costeras muy bajas, así como la salinización de los acuíferos subterráneos abiertos al mar por el avance de la “cuña salina” (Planos, 2014). Este autor opina que para el 2050 se estima que la pérdida de tierra de la isla es de 2 691.47 km² (2.4 %) y en el 2100 de 6 371.05 km² (5.8 %), con un deterioro de la protección natural de las costas, donde la erosión de las playas arenosas de 257 evaluadas 23 serán intensas y 187 moderadas que representan el 82% y un retroceso promedio de 1,2 m.

Datos avalados por estudios (Montero, 2017) ratifican que el clima de la Isla es cada vez más cálido y extremo; se ha observado gran variabilidad en la actividad, el régimen de lluvias ha cambiado, incrementándose significativamente desde 1960 la frecuencia y extensión de las sequías; y se estima que el nivel del mar ha subido de forma acelerada.

Las inundaciones costeras ocasionadas por la sobreelevación del mar y el oleaje, producidos por huracanes, frentes fríos y otros eventos meteorológicos extremos, representan el mayor peligro debido a las afectaciones que ocasionan sobre el patrimonio natural y el construido.

Se han identificado áreas priorizadas teniendo en cuenta la preservación de la vida de las personas en los lugares más vulnerables, la seguridad alimentaria y el desarrollo del turismo. Entre ellas se encuentran el sur de las provincias de Artemisa

y Mayabeque; el litoral norte de La Habana y su bahía; la Zona Especial de Desarrollo de Mariel; Varadero y sus corredores turísticos; los cayos de Villa Clara y del norte de Ciego de Ávila y Camagüey; el litoral norte de Holguín; la ciudad de Santiago de Cuba y su bahía; así como los territorios amenazados por la elevación del nivel medio del mar en Cienfuegos, Manzanillo, Moa, Niquero y Baracoa.

3. Acciones antes los problemas que se generan como consecuencia del Cambio Climático

No son pocas las organizaciones e instituciones creadas en todo el mundo, rectoradas por la ONU, para atender y ocuparse de manera responsable del enfrentamiento al cambio climático para tratar de mitigar sus efectos negativos.

Constituye una tarea de primer orden implementar acciones y tomar las medidas adecuadas para aleccionar a los seres humanos en cualquier lugar, de los peligros que acechan, si se pretenden disminuir, por los ya evidentes cambios que a diario amenazan la supervivencia humana.

3.1 Acciones para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en algunos de los ejemplos tratados en el capítulo anterior

Aplicar un manejo adecuado de los usos y recursos que existen en las zonas costeras, a partir de un Manejo Integrado de las mismas (MIZC), según el enfoque de sus programas, los manejos de recursos hídricos aportan estrategias orientadas a reducir las inundaciones, prevenir la erosión, proteger la calidad y cantidad de agua y mitigar el impacto de la sequía (Sharp, 2004).

Se impulsa cada vez más a los organismos públicos de la Unión Europea (UE) a adoptar medidas para adaptarse a las nuevas realidades climáticas como inundaciones, sequías, aumento del nivel del mar y de otras condiciones climáticas extremas. Consumir y desperdiciar menos agua es un elemento clave de estas estrategias de adaptación. Los países europeos cuentan con estrategias y planes de adaptación y han llevado a cabo evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo que les ayudarán a gestionar los efectos del cambio climático.

Proyectos de construcción, conocidos técnicamente como de «adaptación gris» debido al uso generalizado de estructuras de hormigón. La ciudad de Venecia, por

sus frecuentes inundaciones ha emprendido un ambicioso proyecto de presupuesto cifrado en miles de millones de euros para la construcción de barreras submarinas, en caso de que las mareas suban de manera excesiva (AEMA, 2019).

Los Países Bajos también dependen desde hace siglos de la construcción de diques y barreras costeras para mantener el agua fuera. Sin embargo, después de haber observado las deficiencias de las estructuras fabricadas, las autoridades neerlandesas están combinando en la actualidad estructuras construidas con métodos naturales de contener los riesgos de inundación. Puesto que las autoridades cuentan con presupuestos cada vez más reducidos, en tanto las repercusiones del cambio climático está previsto que aumenten, crece el número de ciudades, regiones y países que recurren a soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza para ofrecer una respuesta sostenible al cambio climático (AEMA, 2019).

Se multiplican las técnicas innovadoras para minimizar los daños causados por las inundaciones o sequías y, asimismo, valorizar el medio ambiente y la calidad de vida de las personas locales. Entre estas se incluyen la construcción de tejados verdes cubiertos de vegetación en Hamburgo y Brasilia, y de más parques verdes en Róterdam, los cuales pueden servir como forma de captar el agua de las inundaciones y proporcionar refrigeración y aislamiento térmico.

Al igual que los parques y bosques, las «zonas azules», como ríos y lagos, pueden tener un efecto refrigerante y ofrecer cierto alivio frente a las olas de calor, especialmente en las ciudades, que suelen ser incluso más cálidas que sus alrededores debido a su densa acumulación de hormigón. Las zonas azules y verdes de las ciudades también podrían capturar y almacenar parte del exceso de agua al producirse lluvias intensas e inundaciones, ayudando así a reducir los daños.

Se dirigen medidas de adaptación al uso del agua en sectores específicos intensivos en su consumo, como la agricultura. Por ejemplo, en un esfuerzo por aliviar los efectos de las sequías, en una explotación situada en la región de Alentejo, al sur de Portugal, se han aplicado diversas técnicas de agricultura sostenible. Entre ellas se incluye la técnica de gestión del uso del suelo de la agrosilvicultura, que utiliza y combina, la plantación de árboles y arbustos con la diversificación de cultivos para mejorar la productividad de la tierra y su capacidad para soportar las condiciones de

sequía. También se utiliza riego por goteo para reducir el consumo de agua y el pastoreo de animales de especies autóctonas en pastizales arbolados (AEMA, 2019). Como medida de adaptación se trabaja en reconocer los efectos futuros y prepararse para darles respuesta a tiempo porque es la mejor manera de avanzar, además existen múltiples medidas y enfoques innovadores que ya se han probado y aplicado en toda Europa. Este conocimiento es accesible a través del portal europeo de adaptación.

Se realizan estudios de ámbito local para diagnosticar de manera clara el problema (salinidad u otros efectos negativos). En consecuencia, en algunos ríos todos los agentes que hacen uso de sus recursos naturales (agricultores, industriales, etc.) han cooperado para buscar soluciones".

Se emprenden acciones en toda Europa donde las ciudades y las regiones ya se están adaptando, recurriendo a soluciones basadas en la naturaleza más sostenibles para disminuir los efectos de las inundaciones y utilizando el agua de manera más inteligente y sostenible, de modo que sea posible convivir con las sequías (Pérez y Merino, 2016-2018).

A partir de datos históricos, la variación temporal de la conductividad eléctrica, así como los valores máximos y mínimos, realizando mediciones en distintos puntos para ver si la tendencia es al aumento o disminución de la concentración de sales; alertar a los gobiernos que inviertan en tecnología y sistemas para mitigar sus efectos, por lo que cuanto antes se recojan datos, antes se podrá encontrar una solución para mitigar los efectos de la sal en las aguas fluviales (Farguell, 2017).

Para el control de la intrusión salina de las aguas superficiales y subterráneas se realiza el diagnóstico preventivo de la contaminación de estos recursos. Para ello es necesario reconocer la extensión e intensidad de la intrusión salina y poder definir una gestión sostenible. Este control implica el diseño de redes de vigilancia y de estrategias de muestreo usando métodos directos e indirectos.

3.2 En Cuba

La Prevención Hidrológica comprende las acciones que se adoptan para minimizar los impactos de los eventos hidrometeorológicos extremos, en la sociedad, la

economía, el medio ambiente y contribuir al mejor aprovechamiento de los recursos hídricos.

Con un trabajo sostenido de más de 25 años para paliar los efectos del cambio climático, se ponen en práctica varias medidas de adaptación por sectores socioeconómicos, fuentes naturales y ecosistemas estratégicos que involucra los recursos climáticos, hídricos, marinos costeros, la agricultura, los asentamientos humanos y el uso de la tierra, la agricultura, la biodiversidad y la salud, que se materializa según el Viceministro del CITMA José Fidel Santana al referirse a cómo Cuba se prepara para las consecuencias del cambio climático(CITMA, 2018) en:

- La proyección de la ciencia en lograr nuevas especies agrícolas resistentes a la salinidad.
- Se incrementan las áreas boscosas y se trabaja en recuperar los humedales más afectados, así como detener en lo posible el deterioro de las crestas de arrecifes de coral.
- La adaptación de programas relacionados con el ordenamiento territorial y la producción de alimentos.
- Disminuir los riesgos costeros en los asentamientos poblacionales a causa de la elevación del nivel del mar, el azote de huracanes y otros fenómenos meteorológicos.
- En el 2020 se ejecutarán dos proyectos internacionales que tributan al cambio climático, uno de ellos dirigido a la protección y uso sostenible de los principales macizos montañosos cubanos y el otro se enfoca en la conservación de cuatro cuencas hidrográficas y sus áreas costeras.

3.2.1. En Santiago de Cuba

En Santiago de Cuba instituciones científicas que pertenecen a la Universidad de Oriente (UO) elaboraron a partir de sus experiencias y los estudios realizados, acciones dentro de la Tarea Vida, dirigidas a mitigar los efectos ambientales en zonas de riesgo, entre ellas:

- Los centros de Electromagnetismo Aplicado de Estudios Multidisciplinarios de Zonas Costeras (Cemzoc), Universitarios Municipales (CUM) y varias

facultades, implementan desde lo local, programas para enfrentar el cambio climático.

- Se realizó en la provincia el primer taller universitario sobre la Tarea Vida, donde se abordó efectos y vulnerabilidades que genera el calentamiento global en la región oriental, ya que los estudios están encaminados hacia la bahía santiaguera, el municipio costero y montañoso de Guamá y el sector costero Siboney-Laguna de Baconao.
- Potenciar políticas sostenibles e inteligentes por las entidades Rectoras para conservar el medioambiente desde los ecosistemas marinos.
- Especialistas del Cemzoc, en la UO, en sus proyectos demostraron que esas localidades se establecen como rurales y urbanas, desdeñando el mar y una interfaz que interactúa para sostener la flora, fauna, el comportamiento del parque de agua en las cuencas media y alta hasta lo marítimo con efectos en el litoral, ante lo cual las disposiciones tienen que ser con enfoque multidisciplinario y multisectorial, así como el quehacer de las personas.
- Las autoridades adoptarán medidas atinadas en inversiones, uso de recursos naturales y el sostenimiento de los procesos socioeconómicos, culturales y comunitarios en provincias del oriente sur del país.

3.2.2. Plan de estado para el enfrentamiento al cambio climático

Periódicamente el Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros, Miguel Díaz-Canel Bermúdez, preside el desarrollo de la reunión de seguimiento a las acciones que, llevan a cabo los diferentes organismos, entidades y provincias del país, como parte del Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida), que se sostiene en una base científica multidisciplinaria que prioriza 73 municipios cubanos, de los cuales 63 son en zonas costeras (Puig, 2018).

La Tarea Vida por tener un alcance y jerarquía superior es el referente de otros proyectos referidos al tema. Como su implementación requiere de un programa de inversiones progresivas que se irán ejecutando a corto (año 2020), mediano (2030), largo (2050) y muy largo (2100) plazos, sintetiza las acciones estratégicas por las que se rigen las diferentes organizaciones encargadas de lograr su implementación dirigida a contrarrestar las afectaciones en las zonas vulnerables:

Acciones estratégicas (Tarea vida)

1. No permitir la construcción de nuevas viviendas en los asentamientos costeros amenazados que se pronostica su desaparición por inundación permanente y los más vulnerables. Reducir la densidad demográfica en las zonas bajas costeras.
2. Desarrollar concepciones constructivas en la infraestructura, adaptadas a las inundaciones costeras para las zonas bajas.
3. Adaptar las actividades agropecuarias, en particular las de mayor incidencia en la seguridad alimentaria del país, a los cambios en el uso de la tierra como consecuencia de la elevación del nivel del mar y la sequía.
4. Reducir las áreas de cultivo próximas a las costas o afectadas por la intrusión salina. Diversificar los cultivos, mejorar las condiciones de los suelos, introducir y desarrollar variedades resistentes al nuevo escenario de temperaturas.
5. Planificar en los plazos determinados los procesos de reordenamiento urbano de los asentamientos e infraestructuras amenazadas, en correspondencia con las condiciones económicas del país. Comenzar por medidas de menor costo, como soluciones naturales inducidas (recuperación de playas, reforestación).

3.2.3 Otras consideraciones de esta investigación

En esta investigación, se considera que las acciones concebidas, rectoradas por el CITMA para el cumplimiento de los objetivos de la Tarea Vida, son necesarias e imprescindibles, permiten una mejor mitigación y adaptación a los impactos previsibles del cambio climático en el país y en particular en los territorios que resultan más vulnerables por sus condiciones naturales o socioeconómicas, pero añade que los directivos deben diseñar acciones para lograr que:

- En el país, todas las personas, mediante la educación conozcan la percepción de riesgo de los efectos negativos del cambio climático, utilizando todas las fortalezas que se dispone, haciendo esta una tarea de pueblo ejecutada por las distintas organizaciones de masas y sociales, de modo que constituya una campaña de ejecución sistemática por todos los ejecutores.
- Insertar en los programas de estudios de todas las enseñanzas del país el tratamiento de temas relacionados con el cambio climático y el medio ambiente ya que no se corresponde el exhaustivo trabajo que hacen las

instituciones especializadas en las acciones que ejecutan para la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y la reacción pasiva de los miembros de la sociedad mostrando escasos conocimientos sobre este tema.

- Tratar las vulnerabilidades por territorio en el proceso de educación y concientización de la sociedad, lo que permite elevar la percepción de riesgo sobre los problemas medioambientales para preservar la vida en el planeta, de modo que cada persona sea protagonista en la adopción y ejecución de acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

CONCLUSIONES

1. La búsqueda bibliográfica y documental, permitió demostrar que el cambio climático incide negativamente en las zonas costeras, siendo uno de los elementos más incidentes la salinidad de los suelos y la escasez de precipitaciones.
2. Se ha producido un aumento de la temperatura de 0,6°C, lo que ha hecho que los océanos, se expandan aumentando el nivel del mar de 10 a 12 centímetros, donde las costas quedarán expuestas a posibles inundaciones provocando la intrusión salina y causando que las precipitaciones sean más escasas.
3. A pesar de las serias consecuencias que acarrea el cambio climático, existe gente escéptica que reniega de su existencia. Por la gravedad de esta situación es urgente tomar medidas, las cuales, cuanto más tarden en llegar, más irreversible se volverá la situación del planeta.
4. Se proponen un compendio de acciones, que se aplican por organizaciones e instituciones de muchos países incluyendo Cuba, pero son mayoría en el mundo los escépticos, que pese a las evidencias del cambio climático y sus serias consecuencias lo ignoran, siendo esta situación muy grave para la vida en el planeta de las futuras generaciones.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un mecanismo que permita monitorear la eficacia de la implementación de las acciones de mitigación y adaptación que se refieran a la participación y responsabilidad popular en el enfrentamiento del cambio climático
2. Implementar desde la educación, a través de las instituciones y/o organizaciones políticas, de masas y sociales, las acciones que este trabajo propone para atenuar los efectos negativos del cambio climático y así contribuir a preservar el planeta para las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Albert, Lilia A; Mondeja González, Diana; Zumalacárregui de Cárdenas, Beatriz; Clavelo Robinson, Pavel (2004). Artículo: Contaminación ambiental. Origen, clases fuentes y efectos.
2. Alfaro Aguilar, C., 2004. Estudio de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. La Habana. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Boletín Ciencia y Tecnología No. 24.
3. Baisre, Julio A. Contaminación del océano y las zonas costeras. Radio cubana. 2017.
4. Batista M., J. 1983. Esgurrimiento superficial. Corporación de Desarrollo del Valle de San Francisco (CODEVASF). Brasilia, Brasil.
5. Bolaños, J.2004 "Estudio de la vulnerabilidad del río Los Guaos y su poder auto depurativo". Segundo Seminario Internacional del Agua. Santiago de Cuba, 2004.
6. Bosque Sendra, J., 1992.Sistemas de Información Geográfica, Ed. Rialp. 451 pp.
7. Bosque Sendra, J., 2019. La educación para el cambio climático. Conf_EA_Bosque_2019. La Habana.
8. Bosque Suárez, Rafael, 2011. Cambio Climático desde una visión educativa. Boletín electrónico informativo de Gea. Año 9. No. 31.
9. Caballero M, Lozano S y Ortega B, 2007.Efecto invernadero, calentamiento global: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Revista digital universitaria, 2007- revista.unam.mx

10. Cañedo-Argüelles M, Kefford BJ, Piscart C, Prat N, Schäfer RB, Schulz CJ. Environ Pollut. "Salinisation of rivers: An urgent ecological issue", Epub 173:157-67, febrero de 2013. doi: 10.1016/j.envpol.2012.10.011
11. CENHICA., 2001. Regionalización Hidrológica y del Balance Hídrico para las Condiciones de Cuba (inédito). La Habana, Cuba.
12. Centella, A., L. Naranjo y L. Paz Castro (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología. 57 pp.
13. Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba (2016). López Deulofeu, Teresa., "Compendio de Meteorología y Climatología". La Habana, 1982.
14. Chabalina Liuba y Beltrán González Jesús. Contaminación en Bahías y Zonas Costeras en Cuba y del Gran Caribe. Centro de Ingeniería y manejo Ambiental de Bahías y Costas, 2001.
15. Cicin-Sain, B. y R.W. Knecht. 1998. Integrated coastal and ocean management. Concepts and practices. Island Press. Washington D.C. 517 pp, 1998.
16. CITMA (CU). 1997. Ley del Medio Ambiente. Descripción política ambiental. La Habana; Cuba.
17. CITMA. Estrategia Ambiental de Santiago de Cuba (2007-2010). Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Delegación Provincial, Santiago de Cuba, 2008.
18. Control de la contaminación en las bahías de La Habana y Santiago de Cuba. Informe técnico. 1988. Instituto Investigaciones del Transporte.
19. Cuevas, R. D., Benamor, O., 2009. Aplicación del Índice de calidad del agua superficial y subterránea para la evaluación sistemática de los recursos hídricos. (INRH, Ed.). pp 1-10. Cuba.
20. Delgado Cobas, Leticia Plan de Manejo para la zona costera de Santiago de Cuba. Universidad De Oriente. Facultad de Ciencias Naturales. T-301. 12 pp. ISBN: 959207-195-0. Santiago de Cuba, 2005.
21. Durand S., M. Teresa. Revista Voluntad Hidráulica, Habana, 2017. No-121/ ISSN 0505-9461.
22. Durand, M, T. Evaluación del Potencial Hídrico de la Provincia Santiago de Cuba. ISBN 978-959-247-156-6. Marzo, 2017.

23. Figueroa, J.P. 2003. Manejo Integrado de Cuencas: El Imperativo Sustentable. Chile Riego N° 15, 26-34. 12. Gaceta Oficial de la República de Cuba: Decreto-Ley No. 212 Gestión de la Zona Costera, 2000, p.14.
24. Gandarilla, Ariamna, 2012. Evaluación de la calidad de las aguas del río Los Guaos de la provincia Santiago de Cuba. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente, 2011García Fernández, Dr. Jorge Mario, Los órganos de Cuenca y la gestión integrada del agua. Voluntad hidráulica No. 105, pp.8-13, 2012.
25. García Fernández, Jorge Mario.2007. La aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada del recurso hídrico: Aproximación al caso cubano. La Habana, Cuba.
26. González Trujillo, Mayelin 2006. “ Elementos de manejo integrado en la zona norte de la Bahía de Guantánamo, situación calidad del agua costera”.
27. Islanes, M. 2008. Curso Gestión de Cuencas II. Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Documento de enseñanza de 280 páginas. Gestión Académica 2008. Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca– Centro de Estudios de Postgrado e Investigación CEPI. Sucre - Bolivia, Mayo 2008.
28. Jiménez, Francisco: Introducción al manejo de cuencas hidrográficas I. CATIE. Costa Rica, año 2007.Jiménez, Francisco: *Recursos, ciencia y decisión: Gestión integral de cuencas hidrográficas*. Edición No. 2. CATIE. Enero 2005. ISSN 1659 - 1224.
29. Jay fuentes ,2019. Estudio de las variables hidrográficas en la cuenca hidrográfica del río el cobre. Trabajo de diploma. UO
30. José M. Lorente. Meteorología. Editorial Labor, S. A. Barcelona, Madrid, Buenos Aires, Río de Janeiro, México, Montevideo, 1966.
31. Koutsoyiannis, D., 2003. Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics. *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), pp.3–24.
32. Montero Mata, Rudy. Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo en cuba. Base conceptual. Agencia de Medio Ambiente. (PPT.) 2017.
33. Montoya, A. (2012) Informaciones del Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba.

34. Oreno (2012): "Modelización espacial de precipitaciones extremas".
35. Murillo Illanes, M, 2007. Determinación de la Escorrentía a Partir de la Precipitación sobre una Cuenca. Monografía. Universidad de Extremadura, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía y Ordenamiento del Territorio.
36. Nemerow, Nelson 1. (1977). Aguas Residuales Industriales. Teorías, aplicaciones, tratamiento. H. Blume Ediciones. Madrid.
37. Patricia Moreno-Casasola y Elisa Pérez Barbosa Rojas,(2014). Manejo integrado de zonas costeras.
38. Paz, L. (2009). El Cambio Climático y sus Consecuencias para Cuba. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
39. Planos Gutiérrez, 2014. Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. La Habana Cuba
40. Planos Gutiérrez, Eduardo O., 2017. Impacto del cambio climático en cuba y medidas de adaptación. (PPT.) s/f.
41. Revista voluntad hidráulica. *Voluntad Hidráulica No.105, 2012. Santiago de cuba*
42. Salamanca Marco y Schneider Wolfgang, (2015). La salinidad y los océanos. Capítulo 8. BioMarina.
43. Sánchez, C. I; Inzunza, I. M. A.; Catalán, V. E. A.; González, B. J. L.; González, C. G. y Velásquez, V. M. 2012. Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial.
44. Teresa Ayllón Torres y Jesús Gutiérrez Roa. Introducción a la Observación Meteorológica. Editorial Limusa, México, 1983.
45. UNESCO. (2006). Curso Regional Itinerante en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos con énfasis en ecohidrología. La Habana, Cuba, 23, 24 y 25 de noviembre de 2006.

Sitios de internet:

1. AEMA, 2016. El agua es vida. El cambio climático y el agua: océanos más cálidos, inundaciones y sequías. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2018-el-agua-es-vida/articulos/el-cambio-climatico-y-el> Consultado el: 19 de febrero de 2020.

2. OMS, 2018. Más del 90% de los niños respiran aire tóxico a diario. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/29-10-2018-more-han-90-of-the-worlds-children-breathe-toxic-air-every-day>. Consultado el: 6 de abril de 2020.
3. UDIVULGA, 2016. La salinización de los ríos y lagos. Disponible en: <https://www.elmercurio.com/campo/noticias/redes/2014/10/15/salinizacion.aspx>
UNIBA, 2020. La salinización de los ríos: un proceso de cambio global. Disponible en: <https://www.unibarcelona.com/int/condiciones-de-uso>
[https://www.unibarcelona.com/int/actualidad/noticias/la-salinizacion de-los-ríos-un-proceso/](https://www.unibarcelona.com/int/actualidad/noticias/la-salinizacion-de-los-rios-un-proceso/) Consultado el: 11 de marzo de 2020.
4. NASA, (2019). Cambio climático. Disponible en: <https://hipertextual.com>
5. National Geographic. Calentamiento global. Disponible en: www.nationalgeographic.es Consultado el: 9 de febrero 2020.

Anexo 1. Dos definiciones de Cambio Climático. Fuente: CMNUCC, (1992)

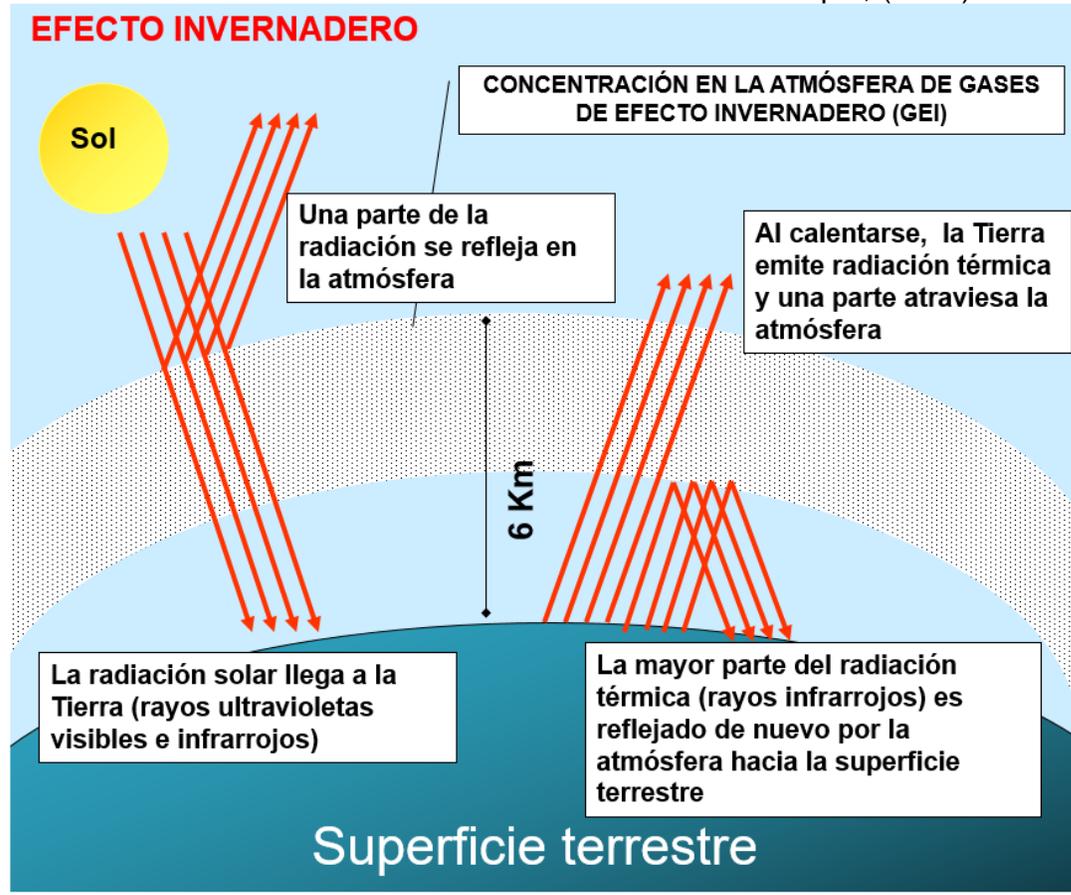
Cambio Climático: Dos definiciones



IPCC		CMNUCC
<p>Cambio del estado del clima identificable en los cambios del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos.</p>		<p>Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables.</p>



Anexo 2. Relación del efecto invernadero. Fuente: Bosque, (2019).



Anexo 3. Algunos iones contenidos en el agua de mar. Fuente: Salamanca y Schneider, (2015).

Anexo 3

Ejemplo de la precipitación selectiva de algunos iones contenidos en el agua de mar.

<i>ión</i>	<i>Precipitado</i>
SO_4^{2-}	$Ba SO_4$ (Sulfato de Bario)
Ca^{2+}	$Ca CCO_2 H$ (Oxalato de Calcio)
Cl^-	$Ag Cl_2$ (Cloruro de Plata)
Mg^{2+}	$Mg_2 P_2 O_7$ (Pirofosfato de Mg)