

Trabajo de Fin de Grado

Estudio sobre la evolución de las temperaturas en el continente africano (1981-2010)



Universidad de Valladolid

Alumno: Daniel Robles Díez

Profesor-Tutor del TFG: Enrique Serrano Cañadas

Índice

- 1- Introducción. (pág.2)
 - 1.1- Explicación de la evolución del clima (pág 2-5)
 - 1.2- El clima en África (pág 5)
 - 1.2.1- Los climas de África (pág 5-13)
 - 1.2.3- Cambio climático en África (pág 13-16)
 - 1.3- Objetivos del trabajo (pág 16)
- 2- Metodología seguida para la consecución de los resultados.
 - 2.1- Obtención y uso de los datos (pág 16-18)
 - 2.2- Tratamiento de los datos (pág 18-21)
 - 2.3- Problemas de los datos y su tratamiento (pág 22- 23)
- 3- Exposición de los análisis realizados y resultados obtenidos. (pág 24-43)
- 4- Crítica, estudio y discusión final de los resultados. (pág 44-50)
- 5- Conclusiones. (pág 50-51)
- 6- Bibliografía. (pág 51-53)

1- Introducción

El trabajo de fin de grado, es un estudio sobre el cambio térmico que se ha ido produciendo en el continente africano a lo largo de un periodo climático de cuarenta años (1981-2010).

Este estudio está ligado a las prácticas curriculares realizadas en AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) en el verano de 2016. Estas prácticas me sirvieron para dar uso a nuevas aplicaciones informáticas y así poder usarlas en mi vida cotidiana como geógrafo, aparte de aprender nuevos conceptos y herramientas usadas por los meteorólogos y climatólogos de todo el mundo, para el desarrollo de un nuevo estudio climático como es el caso.

Todo ello me ha dado unos resultado, que pretendo comparar con otros provenientes de científicos o instituciones científicas de gran importancia y prestigio internacional y que me servirán para determinar una crítica a lo realizado hasta el momento.

1.1- Explicación de la evolución del clima

A lo largo de la historia de la existencia de nuestro planeta, el clima ha ido variando y experimentando numerosos contrastes, que han producido que la Tierra se encuentre en el punto que actualmente nos encontramos.

Sabemos que han existido periodos de numerosas lluvias, o periodos de sequía extrema, al igual que sabemos que han ocurrido fenómenos de calentamiento climático y otros de enfriamiento (glaciaciones). Cada uno de ellos ha ido otorgando al planeta de unas características que han podido favorecer o no a la vida y al desarrollo de unas especies u otras.

Desde hace miles de años (12.000 aproximadamente) hemos entrado en un nuevo periodo geológico, el Holoceno. Con numerosos enfriamientos y calentamientos que han dado lugar a situaciones de bonanza o a desastres globales, estos últimos han

supuesto el fin para muchas colonias, tribus o civilizaciones de muchos rincones del mundo.

Durante estos últimos años, científicos de renombre como Steffen Will, Paul J. Crutzen o John R. McNaeill en su artículo *-The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the great forces of Nature?-*, han dado mucho énfasis a la posibilidad (de existencia de otro periodo geológico y climático diferente. El Antropoceno, un periodo aún sin fecha de inicio pero que sabemos que engloba desde el primer momento que el ser humano ha sido determinante en la historia climática de la Tierra. Desde la primera emisión con la realización de fuego por primera vez, hasta las emisiones tan elevadas realizadas en la primera Revolución Industrial, llegando hasta la actualidad con la emisiones de dióxido de carbono realizado por los diferentes vehículos y medios de transporte. Además para todos los autores, lo más significativo, sin ninguna duda es la aceleración a la que se vienen produciendo estos procesos de crecimiento en la emisión de gases de efecto invernadero.

Y es que según se nombra en el artículo, el aumento de estos gases ha crecido de manera exponencial, sobre todo en la segunda mitad de siglo XX, que es cuando se ha experimentado en las sociedades actuales, un aumento en el nivel de vida y la mejora del Estado de Bienestar, creando así una mayor producción industrial y una mayor capacidad para que las poblaciones adquieran productos que puedan contaminar de gran manera, como es el caso de los vehículos como los coches y el mayor número de ventas en este periodo de tiempo.

En la actualidad no se para de hablar de un proceso de calentamiento global, pero, ¿Es eso cierto?, ¿Se puede comprobar de alguna manera?, ¿Hay alguna manera de evitarlo si fuera real?, ¿Es algo natural o son los humanos los que producen este cambio?.

La respuesta a todas estas preguntas, sigue siendo la incertidumbre, aunque son preguntas muy comunes y a mi parecer actuales. Sin embargo es un tema que se lleva hablando desde hace siglos sobre todo en materia de cambios en las eras geológicas, puesto que el cambio climático es una ciencia muy reciente. Aún así se sigue sin tener una respuesta clara sobre el tema, aunque se sabe que las temperaturas medias están adquiriendo niveles superiores a las de hace años.

No es todo incertidumbre, es verdad que durante los últimos años se han ido aprobando numerosas certezas, entre ellas se encuentra, como dijimos anteriormente, la afección humana sobre el medio.

Y es que es este poder que los seres humanos tenemos, lo que está produciendo numerosos cambios en los climas, a través de la emisión de gases de efecto invernadero. Todo esto está afectando de manera muy grave a la atmósfera y con ello al clima terrestre, que está experimentando numerosas variaciones drásticas que son difíciles de solventar.

Científicos como Levermann lo expusieron (Leverman. A, 2016), en sus teorías cuando decían que el nivel del mar subiría y que las temperaturas medias se elevarían si se seguía emitiendo de esta manera. Este científico ha seguido estudios de otros muchos autores e instituciones internacionales que durante años ha ido desarrollando teorías y hechos como las que él expone en su obra

La mayoría de los científicos, meteorólogos y climatólogos del mundo, sólo se ponen de acuerdo cuando se estudia la causa principal de este calentamiento global. La emisión de gases de efecto invernadero. Son estos gases los que hacen que el planeta se caliente y experimente a niveles globales un aumento de sus temperaturas o una disconformidad en sus climas, provocando el llamado “efecto invernadero”. ¿Es por eso que el ser humano es el principal culpable?-. Volvemos a la misma respuesta, la incertidumbre que también expone el climatólogo alemán Levermann en muchos de sus estudios, o en la revista publicada por la AACTE de Julio de 2014.

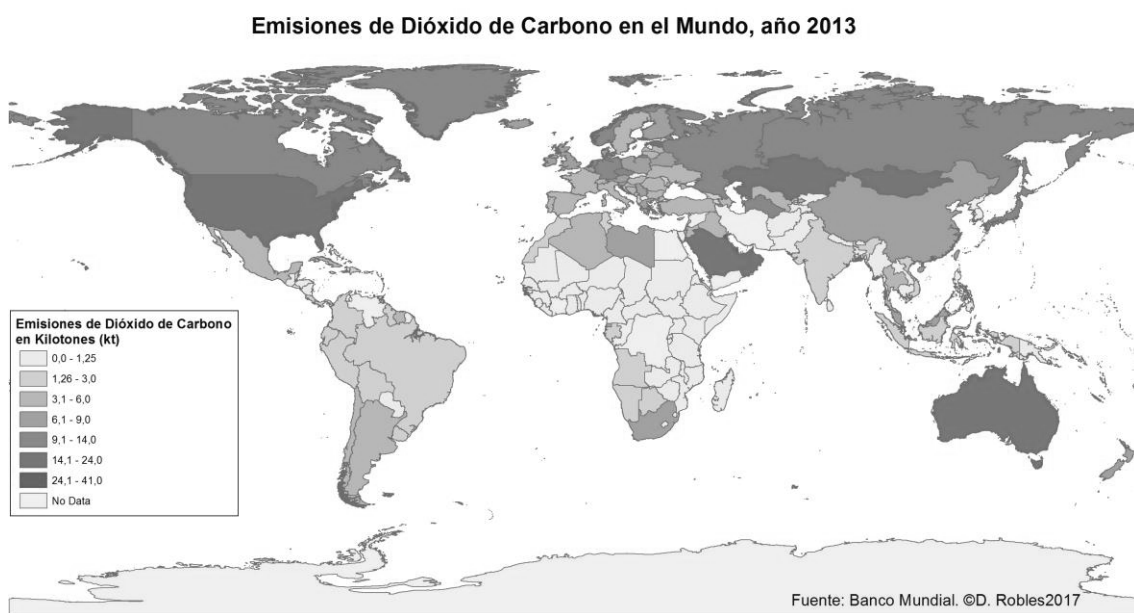


Figura 1: Emisiones CO₂ en 2013. Fuente Banco Mundial. Elaboración: Propia

No cabe duda de que la evolución climática es algo natural, pero hoy en día ¿qué poder tiene el hombre para cambiar el clima?. En África las emisiones producidas son menos de las que pueden emitir de manera permitida. Según el Banco Mundial países como Somalia o Suazilandia son de los que menos emiten a la atmósfera sin llegar a los 2 kilotonnes (kt) de dióxido de carbono emitido, mientras que los que más emiten en el continente africano son países como Egipto o Sudáfrica, los cuales superan los 200.000 kt, muy lejos quedan los casi 6.000.000 de kt que emite Estados Unidos (Figura 1). Es por ello que la mayoría de las emisiones que les sobran a estos países africanos son compradas por países con alta capacidad contaminante y económica, pero ¿por ello tienen menor calentamiento global?, esto lo iremos estudiando según vayamos avanzando con el trabajo.

1.2- El clima en África

1.2.1- Los climas de África

El clima del continente africano es el gran desconocido de los climas continentales, puesto que contamos con muy pocos datos para su estudio.

En África podemos encontrar siete tipos de climas, muy diferentes entre sí debido a la gran extensión del continente. Los climas más importantes del continente africano se corresponden con los climas cálidos, entre ellos, los más importantes son el desértico y el tropical seco.

Estos siete climas de vital importancia para el entendimiento climático del continente africano son: (Figura 2)

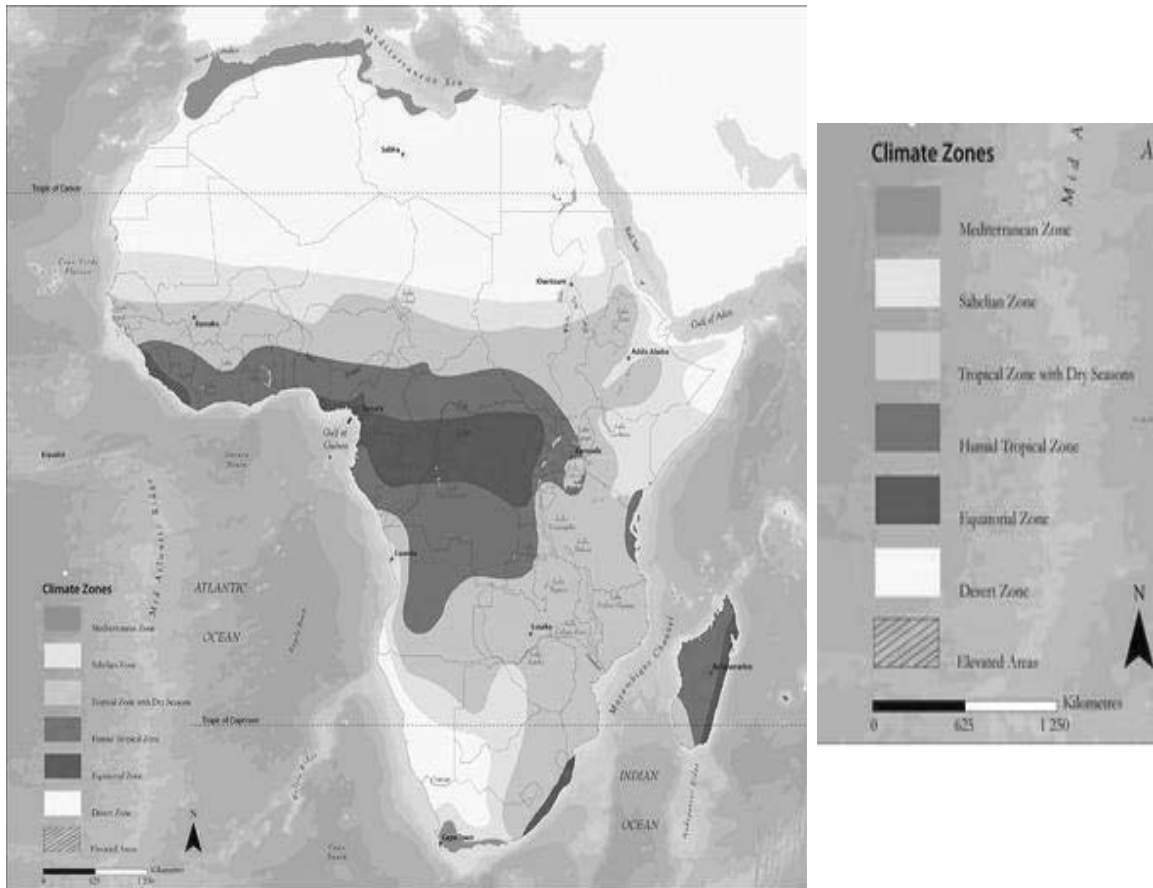


Figura 2: Mapa climático de África. FUENTE: Naciones Unidas.

- Clima desértico: Se desarrolla en los desierto del Sahara y del Sahel y en áreas desérticas costeras como el desierto del Namib en Namibia y parte del sur de Angola o en las regiones más próximas a Oriente medio, como en las zonas costeras de Eritrea o Somalia.

Este tipo de clima posee unas temperaturas que rondan de los 40°C a los 45°C en verano, con una media anual de 18°C. Es verdad que la amplitud térmica en este tipo de climas es muy elevada, llegando en algunos casos a alcanzar los 20°C de amplitud térmica diaria. Las precipitaciones son muy bajas y se reparten a lo largo del año de manera irregular. En este clima no precipita más de 150mm al año, esto se produce por la presencia casi constante de anticiclones tropicales, por ello las precipitaciones son generalmente en forma de aguacero que rápido es absorbido por la superficie arenosa. Por lo tanto con esas temperaturas tan elevadas y esas precipitaciones tan bajas la aridez estival ocurre durante todo el año.

- Clima tropical seco: Se sitúa en las regiones cercanas o periféricas al clima desértico, son las áreas de transición hacia el tropical húmedo. Por lo tanto podemos decir que el clima tropical seco es un clima de transición entre el clima tropical húmedo y el desértico.

Se sitúa entre los 15° y los 25° latitud norte sur, justo correspondiéndose con las áreas donde nacen las masas de aire tropical continental, que son por lo general muy cálidas.

Las temperaturas medias son de 20°C a lo largo de todo el año. Existen dos periodos estacionales vinculados a las precipitaciones, uno más seco y otro más húmedo. Por lo tanto la oscilación térmica anual es baja, siempre superada por la oscilación térmica diaria que en muchas ocasiones supera los 20°C. Además, la amplitud térmica mensual es de 2 a 10°C mayor que la producida en el clima tropical húmedo. Podemos decir que este clima es la acentuación del periodo seco del clima tropical húmedo.

Las precipitaciones son abundantes en las regiones más cercanas al clima tropical húmedo, donde se recogen hasta 2.000mm anuales, mientras que en las áreas más cercanas al clima desértico las precipitaciones se reducen hasta los 200mm anuales, estas precipitaciones se reparten de manera irregular a lo largo del año. Existiendo unos meses secos, y unos meses húmedos.

En la mayoría de estas regiones se producen fenómenos de aumento de las precipitaciones durante tres meses al año, generalmente en los meses de verano. Las inundaciones se producen generalmente en las costas orientales del continente africano. Los fenómenos atmosféricos van ligados a la creación de monzones en el Océano Índico. El resto del año se caracteriza por los periodos secos.

- Clima tropical húmedo: Es el clima que se encuentra menos repartido, situándose sobre todo en regiones del centro de África y de Madagascar (tercer clima en extensión del continente africano, transcurre de 3° N hasta los 3°S.) Se caracteriza por ser un clima cálido con unas temperaturas medias mensuales de 26°C y una oscilación térmica anual que oscila entre 2°C y 5°C. Las precipitaciones son muy abundantes superiores a los 2000mm anuales y se reparten de manera regular a lo largo del año. Por lo tanto es un clima que carece de aridez estival.

- Clima ecuatorial: Es un clima característico del centro del continente, por la cuenca del Congo y la costa del golfo de Guinea. Las temperaturas a lo largo del año son muy constantes y regulares, las mínimas mensuales son de 25-26°C mientras que la máximas

mensuales son de 28°C. Por lo tanto la temperatura media anual se sitúa en torno a los 27°C y es muy regular a lo largo del año.

La amplitud térmica anual es menor de 3°C. Mientras que la amplitud térmica diaria es algo más elevada (5°C) pero es igual de estable que la anual.

Las precipitaciones son regulares a lo largo del año, teniendo de media más de 2300mm, sin tener ningún tipo de estación seca ni aridez, ya que es la ZCIT y sus vientos lo que permite este tan alto nivel de precipitaciones.

A pesar de que los climas cálidos son los predominantes en el territorio africano, los climas templados también existen aunque en pequeños reductos. Por ejemplo se sabe de la existencia del clima mediterráneo en las regiones costeras del norte de África y parte de Sudáfrica que coinciden con este mar.

- Clima mediterráneo: en las regiones costeras del norte de África que coinciden con este mar y en pequeñas áreas del sur del continente, como la Ciudad del Cabo en Sudáfrica. Es un clima que posee unas temperaturas irregulares a lo largo del año debido a la existencia de una estación fría en invierno y una cálida en verano. Los inviernos son fríos y los veranos frescos con una oscilación térmica anual anual pequeña (10°C de media). La estación fría tiene unas temperaturas de menos de 18°C mientras que la estación cálida posee unas temperaturas medias por encima de los 22°C, teniendo una temperatura media anual de 20°C.

La amplitud térmica anual es media/alta ya que las temperaturas entre el mes más frío y el más cálido a lo largo del año pueden variar de los 5°C a los 18°C en otras regiones. La amplitud térmica mensual es amplia sobre todo en invierno con 15°C de amplitud térmica.

Las precipitaciones se reparten de manera irregular a lo largo del año, teniendo varios meses del año (los correspondientes con el verano) con aridez estival. Las precipitaciones medias anuales son de 600mm sobre todo repartidas en los meses de invierno, mientras que en verano se reducen mucho, a la vez que las temperaturas aumentan. Es durante esos meses de verano cuando se produce la aridez estival, muy característica de este clima mediterráneo.

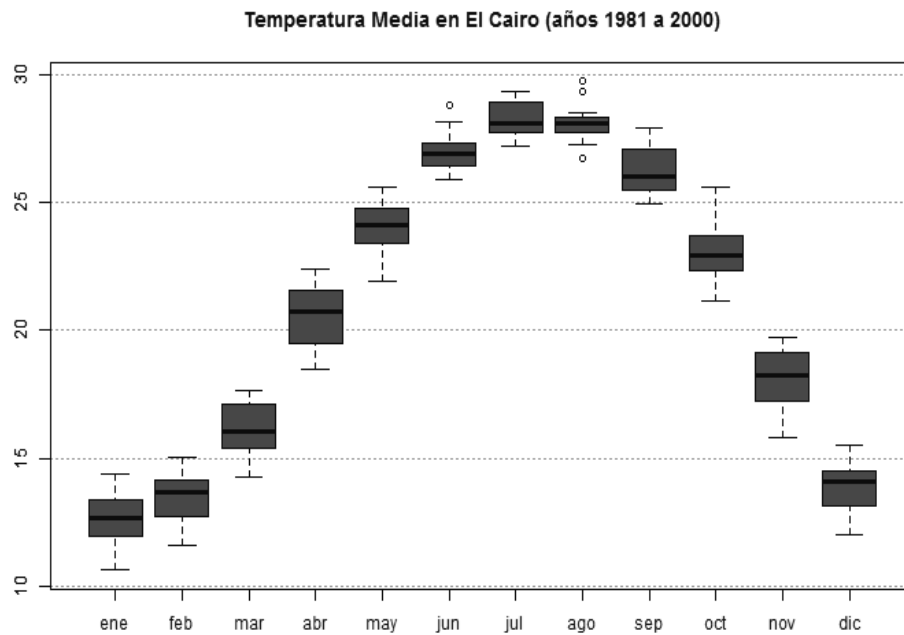
- Clima oceánico: Se sitúa en el sector suroriental del continente africano, el correspondiente con los países de Mozambique y Sudáfrica. Este clima oceánico se

caracteriza por unas temperaturas medias anuales de 15°C debido a su cercanía al mar, por lo tanto son temperaturas suaves. Los veranos no superan los 22°C de media y los inviernos son fríos llegando en las áreas de interior a temperaturas bajo cero. La amplitud térmica anual es media, de unos 10°C. No existe aridez estival, debido a que sus precipitaciones se reparten de manera muy regular durante el año, estas, son abundantes, teniendo 1200mm anuales de media. Aunque si que es verdad que existen un máximo de precipitación durante los meses de invierno.

Además de las regiones que poseen climas de montaña, por ejemplo en muchas regiones del Rift Valley o en las áreas del Atlas, al norte de África. Se caracterizan por tener temperaturas medias bajas a lo largo del año por su altitud, ya que nos encontramos montañas de gran envergadura como el Kilimanjaro con cerca de 4000 metros de altura, precipitaciones son escasas y la mayoría de las veces en forma de nieve también debido a la altitud.

- Clima de montaña, por ejemplo en muchas regiones del Rift Valley o en las áreas del Atlas, al norte de África. Todas esas zonas tienen que superar los 1200 metros de altitud. Se caracteriza por tener temperaturas en invierno por debajo de los 0°C y en verano una media de 15°C. Son áreas por lo general frías, aunque se tiene que tener en cuenta el gradiente térmico. La amplitud térmica suele ser elevada de unos 15°C/16°C. Las precipitaciones se producen de manera irregular a lo largo del año y son sobre todo precipitaciones de carácter orográfico y en forma de nieve debido a la altitud en gran medida. Las medias anuales apenas alcanzan los 500mm.

Para poner unos ejemplos prácticos sobre los climas anteriores he realizado una curva térmica en forma de boxplot (diagrama en caja) con los datos del ECMWF trabajados con el programa estadístico R, ilustrando brevemente las explicaciones anteriores cogiendo el ejemplo de distintas ciudades africanas, en distintas latitudes. Además justo para el primer periodo del estudio que vamos a realizar (1981-2000).



Fuente: ECMWF Reanalysis Era Interim. Elaboración: Propia

Figura 3: Boxplot térmico de El Cairo (1981-2000). Elaboración: Propia.

Estos gráficos me van a servir de precedente para explicar la situación actual de varias ciudades africanas y así seguir exponiendo ideas previas a mi trabajo. Además de explicar varios tipos de climas que posee el continente africano, en este primer caso se trata de un clima mediterráneo.

En el boxplot de El Cairo. (Figura 3) Las máximas térmicas las tiene en los meses de verano. Estas máximas alcanzan los 27°C durante los meses de julio y agosto. Como observamos en el gráfico, la variabilidad en los datos de temperatura en los meses de verano es escasa (de apenas 2 °C entre unos datos y otros), ya que todas las temperaturas son muy parecidas en los meses de junio, julio y agosto, experimentando con ello algunas anomalías térmicas durante estos meses, generalmente superando las medias en el mes de agosto y de junio. Mientras que es también en agosto cuando se produce una anomalía térmica por debajo de la media, no llegando a alcanzar durante ese mes, los 26°C.

Podemos decir que puede ser un ejemplo de clima mediterráneo pero nos harían falta las precipitaciones para poder saber de la existencia de una aridez estival, que es lo que realmente caracteriza a este tipo de clima.

Las máximas son elevadas y en muchos casos presentan anomalías importantes sobre todo en temperaturas por encima de la media. En invierno apenas llegan a los 13°C, por

lo tanto la amplitud térmica anual, podemos decir que es normal, quizás algo alta de 14°C. Durante estos meses de invierno, no se experimentan anomalías térmicas, pero se recogen una mayor cantidad y variabilidad térmica.

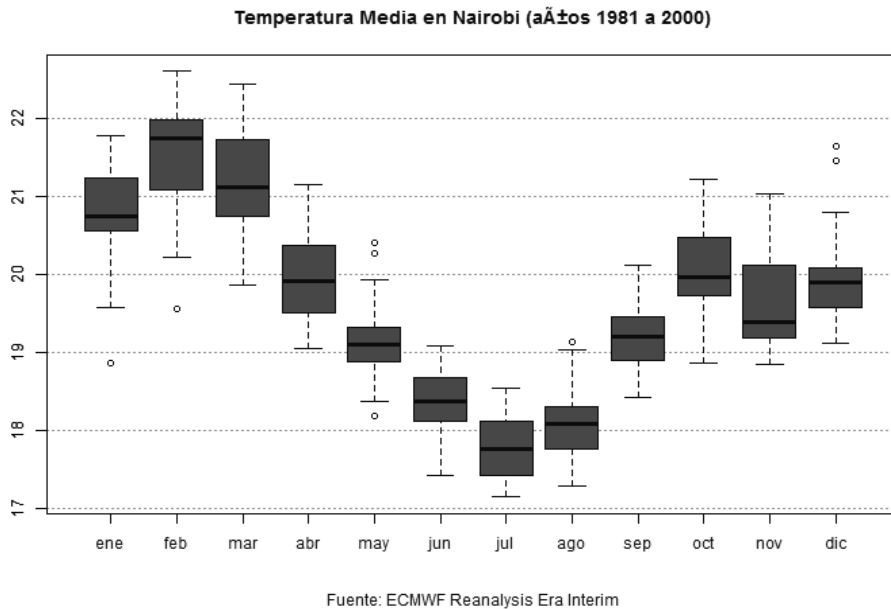


Figura 4: *Boxplot térmico de Nairobi (1981-2000). Elaboración: Propia.*

En el caso de Nairobi (Figura 4) situada un grado al sur del Ecuador, por lo tanto se corresponde con el estudio térmico de un clima ecuatorial. Por lo tanto la estación cálida, se corresponderá con los meses de invierno y la fría con los de verano.

Cuenta con una baja amplitud térmica a lo largo del año, llegando a sólo 3°C de diferencia entre el mes más cálido y el mes más frío, la variabilidad mensual en los meses de verano es amplia, ya que las cajas de los boxplots son grandes y significan que tienen una gran variabilidad de datos de temperaturas para esos meses, mientras que en invierno por lo general siempre se dan las mismas temperaturas, salvo en el mes de julio que se experimenta una acumulación y variedad de datos térmicos diferentes.

Las máximas registradas en los meses de verano superan los 22°C, pero de media quedan por debajo de los 22°C, rondando los 20/21°C. En estos meses de verano observamos la presencia de varias anomalías térmicas. En enero y febrero las anomalías se sitúan por debajo de la media, alcanzando niveles mínimos para el verano en algún momento dentro del periodo de estudio, rondando los 19°C. Mientras en diciembre las anomalías registradas se corresponden con máximas en torno a los 21,5°C.

El verano suele tener unas temperaturas superiores a los 20°C, pero es que en invierno apenas bajan de los 18°C. Los inviernos son calurosos, la mínima la encontramos en julio con 17,3°C, aún así la diferencia con la media de este periodo no es muy alta. También en este periodo del año encontramos anomalías térmicas situadas por encima de la media, indicándonos episodios de más calor sobre todo en los casos de mayo y agosto. En mayo registrando temperaturas por encima de los 20°C cuando la media está en 19,1°C y en agosto por encima de los 19°C cuando la media se sitúa en 18°C. En mayo se da otra anomalía negativa, cuyas temperaturas son menores a la media y a las registradas en este periodo. Esta anomalía térmica se sitúa en los 18,2°C mientras que la media sobrepasa los 19°C.

Durante el estudio del boxplot de Nairobi, hemos estado hablando de la existencia de dos periodos estacionales (verano e invierno), en realidad si nos fijamos eso no es así, la amplitud térmica anual es muy baja, como para diferenciar dos estaciones, además de que las temperaturas son siempre elevadas y regulares a lo largo del año.

Podemos decir estudiando sólo sus temperaturas que se corresponde con un clima ecuatorial, y diríamos que con algunas características de un tropical.

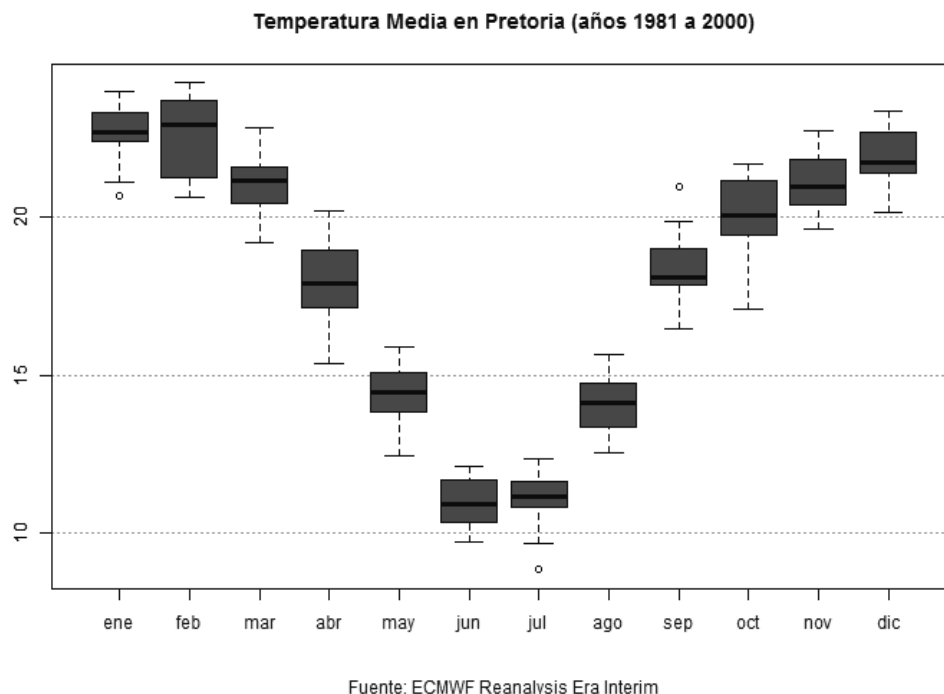


Figura 5: Boxplot térmico de Pretoria (1981-2000). Elaboración: Propia.

Por último Pretoria (Figura 5), capital de Sudáfrica, se corresponde con el estudio del clima tropical seco. Se caracteriza por tener unas temperaturas medias en verano

mayores de 20°C mientras que en invierno apenas superan los 10°C, la amplitud térmica es mayor de 12°C, por lo tanto, podemos decir que media-alta. Los veranos son veranos australes y son suaves, las temperaturas siempre superan los 20°C. Las máximas registradas en verano no llegan a los 25°C (23°C), mientras que por meses la media más alta es la que se produce en el mes de febrero con 23,3°C, que además es el mes que más variabilidad de datos recoge.

En invierno las temperaturas caen de una manera más significativa que en el anterior boxplot. La mínima registrada se recoge en el mes de julio, y se corresponde con una anomalía térmica fría de ese mismo mes, registrando 9°C de media durante el mes de julio. Sin embargo la mínima de la media mensual es la de junio con 11°C.

Las anomalías recogidas se producen en los meses de verano, primavera e invierno. En verano tenemos una anomalía térmica fría que se produce en el mes de enero, registrando 21°C. En invierno se registra otra en el mes de julio que se corresponde con la anteriormente nombrada. Y en primavera, en el mes de septiembre, se registra la tercera anomalía positiva, registrando 21,5°C cuando el mes tiene de media en el periodo 18°C.

Su clima se puede corresponder con un tropical seco, ya que la oscilación térmica anual es elevada, superando los 12°C.

1.2.2- Cambio climático en África

Toda esta variedad de climas otorgan a África una identidad única, es verdad que la mayoría de las veces la gente se piensa que África es un país casi virgen, que apenas contamina lo suficiente como para observar cambios importantes en sus climas. Pero es que al fin y al cabo, los cambios del clima no son simplemente de una sola región, sino que se producen en todo el planeta, independientemente de quien contamina más o menos. Pero la realidad nos muestra cosas realmente muy diferentes, al final los que menos contaminan, son los que menos recursos tienen y el poder global del cambio climático esta provocando la ruina para muchos países.

África es uno de los continentes más afectados por el cambio climático en los próximos años. Ya no sólo porque modifique su clima como exponen numerosos artículos: "El cambio climático es una realidad natural que afecta gravemente a la evolución y desarrollo de muchos países" (Grantham, 2009), sino porque en el continente africano como expone David Sanz en uno de sus numerosos artículos escritos sobre el

cambio climático: “En África viven algunas de las comunidades más pobres del mundo. El clima extremo hace mella en sus condiciones de vida. Sin una rápida reducción de las emisiones en todo el mundo, el continente se enfrenta a un aumento temperatura que traerá más calamidades a los africanos” (Sanz, 2011). Y es que en muchas ocasiones hay que ver que hay más allá del clima, las consecuencias humanas pueden ser muy graves.

África y las variaciones de su clima pueden suponer su ruina económica como dijo Jum Yong Kim presidente del Banco Mundial, alentando hace tres años si la situación de calentamiento global se mantenía en África. "Si la temperatura de la Tierra aumenta en 2°C -lo que puede ocurrir en 20 o 30 años- ese fenómeno causará situaciones generalizadas de escasez de alimentos, olas de calor sin precedentes y ciclones más intensos" (El Mundo, 2014), es decir la ruina para muchos de los países más pobres del mundo.

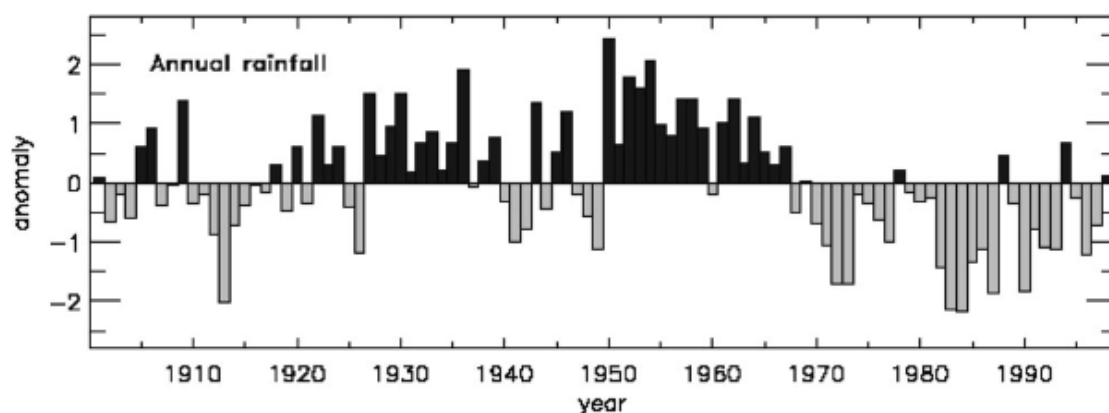
Pero todos ellos hablan del futuro, de lo que podrá pasar si la temperatura aumentase, ¿pero qué pasa con el pasado?, ¿es verdad que se han visto anomalías climáticas en África desde hace años, o sólo se ha observado desde la actualidad?.

Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y el Third Assessment Report (TAR), estos problemas climáticos se llevan estudiando en África desde 1960, cuando se dieron cuenta que se estaba produciendo en el continente un sobrecalentamiento. A pesar de que los cambios en el clima parecían uniformes, al final resultaron no serlo. Se pensaba según sus estudios que África estaba sufriendo un calentamiento general de manera homogénea en todos los lugares del continente, pero se dieron cuenta años más tarde que el calentamiento térmico no se distribuía de igual manera por todo África, sino que había regiones que experimentaban mayor calentamiento que otras. Por ejemplo Senegal y el oeste de África experimentaba un mayor calentamiento que las regiones del este.

Según el IPCC (Githeko et al, 2007), entre 1961 y el año 2000 se habían producido un mayor calentamiento sobre el sur y el oeste del continente africano. Es decir el calentamiento no era homogéneo y por lo tanto las consecuencias que puedan derivar de este calentamiento, tampoco.

También según el IPCC, las precipitaciones son más complejas de medir y de obtener resultados fiables puesto que son más variables tanto en el espacio como en el tiempo. Aún así hay estudios realizados (Collier et al, 2008), que nos muestran que la

variabilidad en las precipitaciones a lo largo del siglo XX ha sido muy considerable en el continente africano. (Figura 6)



Source: Brooks (2004).

Figura 6. Anomalías en las precipitaciones en el último siglo en África.

De todas maneras la complejidad que sustentan los datos de precipitaciones y su variabilidad temporal dio pie a decidirme a estudiar sólo los procesos y cambios térmicos en el continente africano.

África siempre ha sido uno de los continentes más vulnerables si hablamos sobre cambio climático (IPCC, 2001).

A lo largo del siglo XX, las temperaturas han ido incrementando en el continente africano hasta llegar a un calentamiento de $0,7^{\circ}\text{C}$, en los últimos cien años, según el IPCC de 2007. El recalentamiento tuvo un ritmo de $0,05^{\circ}\text{C}$ por década, y fue ligeramente más intenso en la estación entre junio y noviembre que entre diciembre y mayo.

En el continente africano, se espera un aumento de la temperatura de alrededor de $0,1^{\circ}\text{C}$ por década durante las próximas dos décadas. Aún así las concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles se mantienen en los niveles que registraban en el año 2000.

El IPCC ha informado que los acontecimientos climáticos extremos, por ejemplo las inundaciones y sequías, se están volviendo cada vez más frecuentes y graves en África. Algunas regiones africanas son más propensas a sufrir sus efectos que otras. Es probable que la mayor frecuencia de los sucesos desastrosos registrada sea resultado de una combinación de cambios climáticos y de alteraciones socioeconómicas y demográficas. A pesar de que África siempre a lo largo de la historia, ha sido el

continente que menos emisiones ha realizado. El IPCC expone que el desarrollo sostenible tiene que ser clave para intentar que el clima africano deje de variar o para intentar al menos, que las consecuencias sean las menores posibles.

1.4-Objetivos del trabajo

El objetivo del trabajo se centra en estudiar los posibles cambios térmicos producidos en África en el periodo 1981-2010. Se trata de analizar las variaciones de temperatura durante este periodo para el conjunto del continente, comparando los primeros veinte años (1981-2000) con los segundos veinte años (1991-2010) para detectar posibles variaciones en los ritmos de cambio. Como segundo gran objetivo considero el comparar las variaciones territoriales de los cambios térmicos en el continente africano, muy importantes para comprender las afecciones a las distintas sociedades y territorios.

Como objetivos secundarios:

Con los resultados obtenidos, estudiaremos y debatiremos los mismos, además de intentar compararlos con otros trabajos realizados por organizaciones internacionales especializadas sobre el tema, que nos ayudarán a cotejar si la evolución detectada es coherente con datos globales.

Además de comprender y analizar cuales son los cambios y consecuencias que se pueden producir en el territorio y en los habitantes del mismo.

Así como interpretar los datos del estudio, analizarles, seleccionarles y trabajar con ellos para obtener los resultados finales deseados. Además de practicar con muchas de las aplicaciones y técnicas como el ArcGis, el QGIS y el R, valorando de esta manera su utilidad en el trabajo como geógrafo.

2-Metodología

2.1- Obtención y uso de los datos

Los datos del estudio han sido obtenidos del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) (www.ecmwf.int), esta agencia es la más importante en la recopilación de datos climáticos del mundo. Estos, son datos de pago. El ECMWF, trabaja para el

centro meteorológico mundial, además de recopilar los datos de las diferentes estaciones europeas. Estos datos, los he organizado por años primero y después por meses de los años utilizados para el trabajo.

El problema que hemos tenido ha sido la realización de los dos periodos, ambos abarcando veinte años, el primero va desde 1981 al 2000 y el segundo desde 1991 al 2010, puesto que a la falta de datos del continente africano los primeros datos que existen son de 1981, por lo tanto debemos empezar en esta fecha tan cercana.

Esta falta de datos se debe a que en África apenas existen estaciones meteorológicas de primer nivel, por lo tanto es el ECMWF, el que, a través de estimaciones realiza los estudios meteorológicos y climáticos de este continente, junto con los pocos datos que puedan recopilar de algunos observatorios del mismo.

El subdesarrollo en el caso de que muchos países de África no tengan ninguna estación en su territorio y es por ello, que el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo se debe de encargar de realizar las estimaciones necesarias como decíamos anteriormente, para poder cubrir esos espacios sin datos, a través del estudio de modelos de tiempo.

Aún así considero que los datos para el trabajo son precisos y nos aportan mucha información muy importante, relevante e interesante.

Hemos realizado a partir de ficheros grib, que recogían los datos de temperatura media mensual del periodo 1981 hasta 2010 procedentes del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) para el continente africano. Los ficheros grib (Gridded Binary) es un formato conciso de datos comúnmente utilizados en climatología para almacenar datos meteorológicos históricos y pronosticados. A partir de ahí, vamos a recopilar datos de más de 3000 diferentes estaciones, estos serán los datos con los que trabajaremos.

Muchos son los países de África que no poseen datos climatológicos procedentes de sus estaciones, ya que o no existen o están obsoletas, entre ellos encontramos países como Namibia, D.R Congo, Lesotho, Suazilandia, La República Centroafricana, Mauritania, Libia, Congo, Somalia, Etiopía, Botsuana, Liberia y Mozambique.

Aún así los estudios del Centro Europeo nos dan la seguridad de que los datos con los que estamos trabajando son fiables, puesto que son ellos los que se encargan de realizar los estudios climáticos de estas zonas sin estaciones a través del estudio de los mapas de tiempo registrados y de los modelos atmosféricos mundiales.

Los datos son adquiridos en la página web de Centro meteorológico, una vez nos hayamos registrado, introduciendo un nombre y una contraseña. Después de eso y para empezar la búsqueda de los datos hay que buscar en la página el apartado “Research”+ “Climate Reanalysis” y de ahí descargarse el fichero de datos de temperatura en formato grib.

Con ello nos hemos descargado los valores medios mensuales de Era-Interim para todo el periodo de datos disponibles y para un área que abarque todo el continente africano. Por defecto se descarga uno de los datos mundiales, por lo tanto hay que especificar las coordenadas (latitud, longitud) que delimitan el área que queremos, para limitar así el volumen del fichero de la descarga (12MB). Cuando hayamos descargado el fichero lo guardamos y lo damos un nombre.

2.2- Tratamiento de los datos

El ECMWF junto con el Era-Interim obtiene todos estos datos gracias a los estudios del llamado reanálisis meteorológico. Este reanálisis consiste en estudiar datos meteorológicos pasados, para poder establecer una extensión histórica de esos datos de un largo periodo de tiempo.

Para ello se utiliza el estudio de modelos meteorológicos que indican las probabilidades de que ocurra o no un suceso meteorológico determinado. Estos modelos siempre están vinculados a satélites meteorológicos de gran precisión. El usado por el Era-Interim es el lanzado en 2006: IFS (Cy31r2). Este satélite posee una ventana de análisis de 12 horas.

Además de volver a analizar todos los datos antiguos usando un sistema consistente, los reanálisis también hacen uso de muchos datos archivados que no estaban disponibles para los análisis originales. Esto permite la corrección de muchos mapas históricos dibujados a mano donde la estimación de características era común en áreas de escasez de datos. La capacidad de poder estudiar el pasado meteorológico de un lugar, también está presente para crear nuevos mapas de niveles de atmósfera que no eran de uso común hasta tiempos más recientes.

Los productos ERA-Interim se actualizan normalmente una vez al mes, con un retraso de dos meses para permitir la garantía de la calidad y para corregir los problemas técnicos con la producción, si los hay.

Una vez seleccionados sólo los datos de las temperaturas medias hasta 2010, para tener dos periodos de diecinueve años, con diez años en común (1991-2000), obtendremos el raster medio mensual de temperatura tanto del primer periodo (1981-2000) como del segundo (1991-2010).

El raster es una base de datos, en donde se guardan todos los datos de las estaciones del continente africano. Los datos en el raster poseen una georeferenciación determinada, por lo tanto cada punto del raster posee una información y un valor único.

Una vez tengamos el raster con los datos de las temperaturas medias mensuales, las promediaremos y lo representaremos en mapas. Esta representación en mapas lo haremos a través de R, ya que esta aplicación nos permite realizar soporte un gráfico correcto y visual para el trabajo y su entendimiento y análisis. La escala utilizada te la marca la propia aplicación dependiendo de la longitud y latitud que desees. Nosotros como veremos más adelante, seleccionamos los datos para un área de 40°W a 60°E, 40°S a 40°N, con una resolución de 0,75°.

Ya con los datos con los que vamos a trabajar, abrimos el R, esta aplicación es una de las más usadas y las más importantes en el lenguaje estadístico mundial. Con esta aplicación que es un software libre se pueden trabajar a partir de comandos y scripts para luego ir desarrollando el trabajo en otras aplicaciones como QGIS, ArcMap o terminarlás como vamos a hacer en el propio R, ya que da posibilidades de obtener resultados gráficos de buena calidad. Para el clima el R se usa como aplicación que ayuda al trabajo con los datos, a limpiar, ordenar, seleccionar... los datos que se necesiten para trabajar con ellos y realizar gráficos o mapas.

Con la aplicación R abierta, necesitaremos cargar dos librerías: `sp` y `raster`. Además de instalar el paquete `rgdal`, que nos permitirá leer `gribs` y expórtarlos como `geoTiff` por si los quisiésemos utilizar en el QGIS o ArcGis. Son diferentes SIG, aplicaciones para transformar los datos alfanuméricos en gráficos. La única diferencia es que la primera de las aplicaciones es gratis, mientras que la segunda, que es la que usamos con regularidad en la universidad, es de pago.

Al final del trabajo no usaremos esas aplicaciones porque considero que los mapas finales son correctos, pero si que hemos usado ArcGis para la realización de un mapa anteriormente. (Figura 1)

Ahora veremos paso por paso como hemos ido realizando cada uno de los mapas. A partir del tratamiento de los datos anterior hemos ido avanzando y con R empezamos a utilizar una serie de comandos que son los siguientes:

-Para instalar los anteriores paquetes o librerías necesitamos los siguientes comandos:

```
install.packages('sp',dependencies=TRUE, repos= 'http://cran.us.r-project.org')  
install.packages('raster',dependencies=TRUE,repos='http://cran.us.r-project.org')  
install.packages('rgdal',dependencies=TRUE,repos='http://cran.us.r-project.org')
```

-Para pintar los bordes de los países utilizamos estos comandos:

```
install.packages('maps',dependencies=TRUE')  
install.packages('mapdata',dependencies=TRUE')
```

-Y ya simplemente hay que cargar los packages descargados antes en el programa con el comando:

```
library(raster o sp o rgdal)
```

-Una vez que tengamos los paquetes instalados, cargamos los datos de temperatura con la función raster con el siguiente comando:

```
grib<-readGDAL(" Nombre del fichero ")
```

Con este comando además, podremos leer uno a uno los grib de temperatura contenidos en los ficheros descargados.

Para trasladar los datos numéricos a datos gráficos usamos el mismo programa R. Los datos de temperatura descargados en el fichero están en grados Kelvin, por lo tanto es necesario pasarlos a grados Celsius, así que hay que modificar el raster con los siguientes comandos, puesto que nosotros usamos grados Celsius y queremos simplificar el entendimiento.

Después de pasar los grados Kelvin a Celsius, necesitamos pintar la delimitación del mapa con la que vamos a trabajar. Por defecto se nos muestra un mapa del mundo que

tendremos que limitar a la extensión grib que queremos dibujar, seleccionando a través de otros nuevos comandos la longitud y latitud que queremos que tenga nuestro mapa, para finalmente añadirle los detalles, como el título, las líneas de longitud, latitud... Para que los mapas sean correctos y útiles.

```
r<-raster("Nombre del ficher", band=7)
```

- Para cambiar de grados K a C-

```
r<-raster-273,15
```

```
plot(r)
```

-Para dibujar el mapa-

```
map(`world`,xlim=c(-30,60),ylim=c(-40,40),add=TRUE)
```

```
grid()
```

Con estos comandos escritos anteriormente podremos crear un script, que nos permita hacer los mapas de una manera más rápida y directa, sin tener que repetir todo el proceso de modificación de los comandos. Para hacer el script simplemente hay que añadir a la serie de comandos un empuje y un final con unos corchetes. Hicimos primero la serie de mapas con la temperatura media de los dos periodos como veremos a continuación. Para finalizar, realizando también otro script obteniendo la diferencia entre los dos periodos escogidos y poder observar mejor cuales son los cambios térmicos en África. Los primeros mapas obtenidos tendrán información de las temperaturas medias del continente africano de su periodo correspondiente a 1981-2000 a 1991-2010. Mientras que el segundo mapa establecerá una relación entre las temperaturas de un periodo y de otro para obtener la diferencia y poder analizarlo mejor.

Una vez que hemos obtenido los mapas comparando mes por mes de ambos periodos, decidimos que para que fuera más visual deberíamos obtener la diferencia de temperaturas de cada mes y en cada periodo, por lo tanto hicimos otra tanda de mapas que nos representan de una manera más visual esta diferencia.

2.3- Problemas de los datos y su tratamiento

Los datos también me han aportado numerosos problemas. El principal, ha sido su escasez.

África es un continente con muy pocos recursos económicos, es por ello que tampoco se invierte en meteorología, o en investigación climatológica. Por eso que existían muchas regiones y países como las nombradas en el anterior punto, que carecían de estaciones, de donde obtener los datos. Por suerte el Centro Meteorológico Europeo realiza unos estudios pormenorizados por todo el continente a través de imágenes de satélites o de modelos atmosféricos globales, que son capaces de ensamblar e interpolar los datos para que la obtención de resultados sea lo más fiable posible.

Por eso realmente este, es un problema “menor”. Existen otros muy importantes como desde cuando se tienen datos en el continente africano. Y es que el ECMWF emite datos fiables de África desde el año 1981 hasta el 2015. Eso es una limitación muy grande porque si queremos hacer un estudio de un periodo climático más grande o de dos periodos climáticos diferentes (19 años cada uno) no podemos, puesto que los datos que poseemos son reducidos en el tiempo. Es por ese motivo por lo que elegí los últimos 34 años desde que se tienen datos, ya que entran dentro de un periodo climático y además podemos estudiar dos periodos diferenciados de veinte años cada uno.

En este caso nos tocó tratar los datos y limpiarles en R para acabar con los datos de los años que no eran necesarios para la consecución del trabajo final.

Una cosa parecida paso con la realización del mapa de la emisión de gases de dióxido, en el que los datos fueron tomados del Banco Mundial pero tuvimos que limpiarles antes debido a que tenían datos de emisiones desde 1960 y a mi me interesaba tener del periodo de estudio 1981-2010. Los borramos una vez descargado el Excel y antes de unirlo a ArcMap.

Es posible que el tratamiento de estos cerca de 3000 datos climáticos sea muy complejo pero es fácil cuando están numerados por su latitud y longitud además de por el nombre de la estación y el año en el que son recogidos.

Es por ello que al final los datos escogidos son cómodos de utilizar a pesar de que el programa sea algo complejo y muy profundo debido a las grandes capacidades de uso que tiene. Ese puede ser uno de los grandes problemas con los datos, la soltura con R.

R es una aplicación de programación estadística que nos sirve de una manera paralela a Excel, limpiar, ordenar y trabajar con los datos que uno quiere usar para el trabajo final. Además nos da la posibilidad de cartografiar y realizar gráficos, como los anteriores boxplots o los mapas de los resultados finales, además de poder ligar esos resultados a otras aplicaciones informáticas para continuar con el trabajo. Como podía ser el caso de QGIS, ArcGis y otras aplicaciones que utilizamos nosotros como geógrafos.

Por eso, los resultados que nos ofrece R son muy buenos, además de ser para nosotros definitivos.

El problema viene como decía anteriormente, con el uso de este programa. La aplicación R es muy compleja de usar, para aprender a utilizarla con algo de soltura hicieron falta varios meses de prácticas, y así poder empezar a trabajar con datos de verdad y obtener resultados positivos.

3- Resultados

Durante la exposición de los resultados vamos a ir desarrollando los diversos mapas obtenidos tras el trabajo previo con R.

Los primero mapas nos muestran la temperatura media en cada uno de los dos periodos, 1981-2000 y 1991-2010. Después el mapa que veamos justo debajo, nos representa la diferencia de temperatura entre los dos periodos del que haremos realmente el estudio porque es el mapa más significativo de todos, debido a que nos muestra más claramente dónde se producen los descensos y los aumentos térmicos más significativos del continente.

ENERO

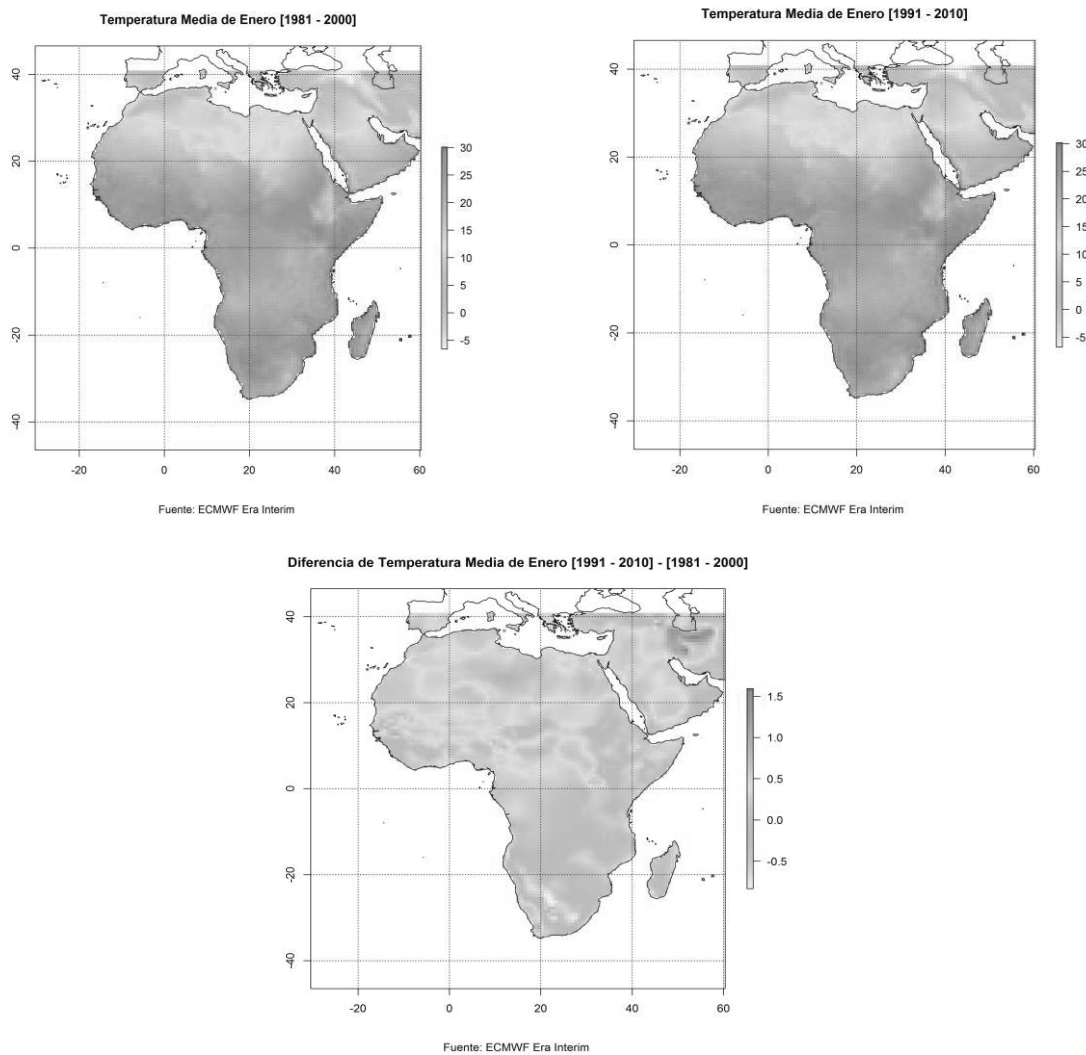


Figura 7: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de enero.

En el primer mapa de diferencia de temperatura en el continente africano en el mes de enero (Figura 7), muestra una variación de temperatura muy marcada en muchas áreas del continente mientras que en otras la temperatura se mantiene más bien estable durante este periodo.

El aumento térmico se produce en las áreas septentrionales del continente generalmente las áreas que están pasando por el periodo estival del invierno. El ascenso es considerable, 1°C en áreas del norte del Sahara y zonas de clima mediterráneo. Por lo tanto el aumento de las temperaturas de enero se produce en el invierno boreal.

En el resto de áreas del hemisferio norte, las temperaturas experimentan pocos cambios, aunque en algunas, se produce leve descenso que no llega a 0,5°C, sobre todo en áreas con clima tropical seco. El descenso más abultado se produce en áreas del este continental en este hemisferio norte, sobre todo en países como Etiopía y Sudán del Sur. Con un enfriamiento de las zonas con clima desértico o subdesértico.

En el hemisferio sur, donde es verano, se experimenta un enfriamiento de más de 0,5°C en algunas regiones del suroeste del continente. Es en la parte más cercana al ecuador en los climas tropical y ecuatorial donde se experimenta un aumento muy leve de las temperaturas medias en este periodo, sin apenas superar el medio grado. Por lo tanto el enfriamiento en el verano del hemisferio sur es general.

Hay que tener en cuenta un pequeño reducto en la parte correspondiente a la región suroccidental de Sudáfrica, la correspondiente con la Ciudad del Cabo, que posee un clima mediterráneo, donde se produce el aumento más significativo de todo el hemisferio sur africano. Y es que en esta región la temperatura aumenta cerca a 1°C de media entre ambos periodos.

FEBRERO

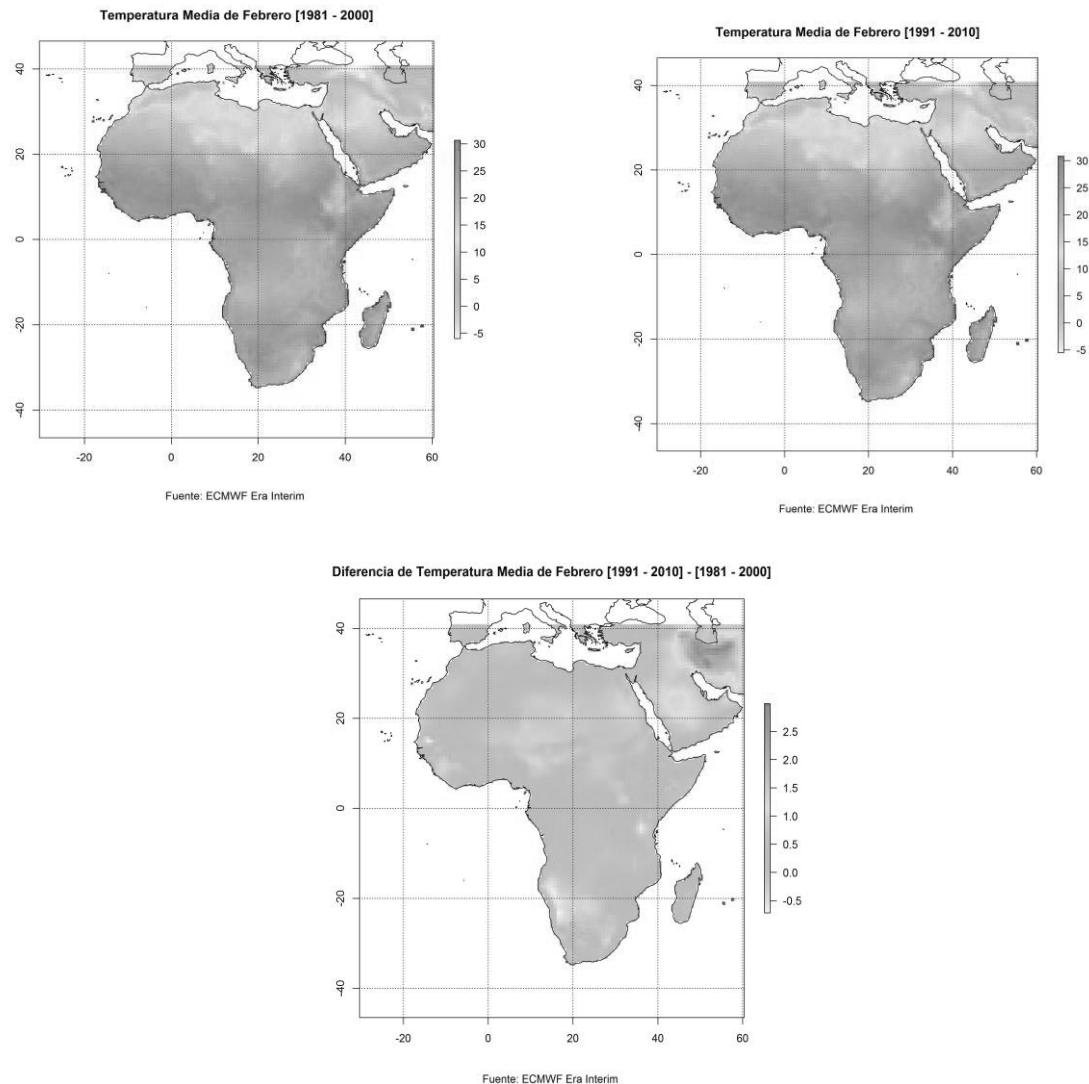


Figura 8: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de febrero

En el mes de febrero (Figura 8), hay una tendencia al calentamiento homogéneo de cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$, en todo el continente africano, las temperaturas descienden más de $0,5^{\circ}\text{C}$ en regiones del sur occidente de África, en países como Namibia o Ruanda, en incluso de Botsuana y pequeñas regiones interiores de Sudáfrica.

En el hemisferio norte, otras áreas de enfriamiento considerable son las situadas en el Valle del Rift, sobre todo en el sector correspondiente al monte Kilimanjaro, el más alto de África.

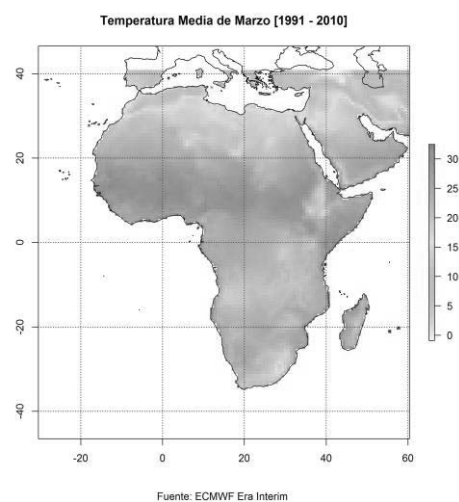
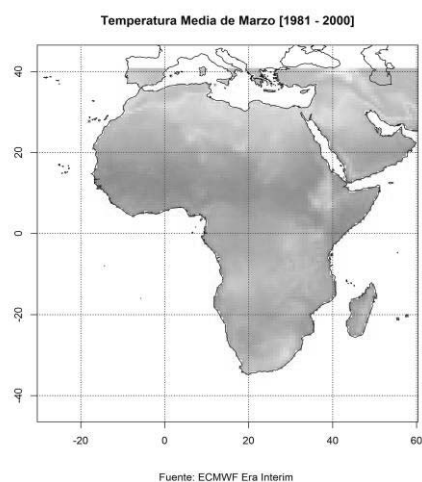
Otros sectores donde se experimenta enfriamiento son en el área occidental del continente, en países como Gambia, Senegal o Guinea Bissau. Es sobre todo en la parte más occidental del continente dónde se experimenta un mayor descenso térmico en este mes de febrero, pero dónde predomina la estabilidad de las temperaturas entre ambos periodos.

Las áreas de calentamiento se sitúan en las regiones del hemisferio norte africano. Sobre todo en las correspondientes a las áreas orientales y centrales del mismo. Sobre todo en el territorio correspondiente al Sáhara y a la zonas más cercanas al mar Rojo. Este calentamiento es muy elevado (de más de 1°C). Las temperaturas han sufrido entre ambos periodos un aumento de más de 1°C de media.

El hemisferio sur, también sufre un calentamiento pronunciado de 1°C, sobre todo en las zonas con clima mediterráneo, mientras que en el resto del hemisferio predomina un estabilidad térmica. Con descensos de 0,5°C en el sector más occidental, en el interior de países como Angola.

Por lo general, el mes de febrero es un mes de temperaturas homogéneas en todo el continente, pero se experimentan cambios de enfriamiento, en la fachada más occidental del continente y calentamiento en las zonas correspondientes con un clima desértico o mediterráneo. En el resto del continente predomina la estabilidad térmica.

MARZO



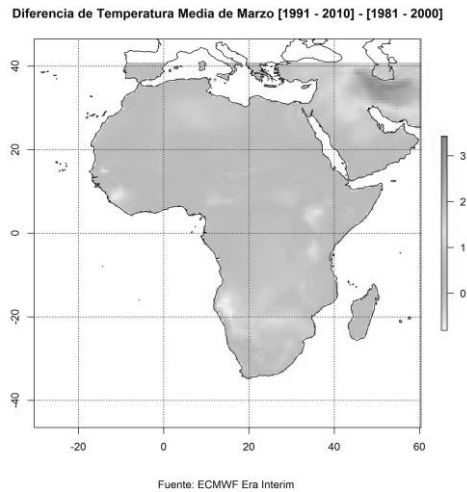


Figura 9: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de marzo

Durante el mes de marzo (Figura 9), las temperaturas experimentan un aumento por lo general en todo el hemisferio norte mientras que el hemisferio sur, se caracteriza por tener un descenso térmico durante este mes.

En el hemisferio norte, las temperaturas aumentan en muchas áreas más de 1°C de media. Estas áreas de calentamiento se corresponden con las zonas costeras mediterráneas salvo la costa Marroquí, que experimenta un menor aumento térmico, manteniéndose estables las temperaturas, por la influencia del Atlas. En el Sahara las temperaturas se mantienen en el mes de marzo, es en el sector tropical seco dónde las temperaturas aumentan considerablemente, correspondiéndose así con su estación más seca.

En el hemisferio norte también tenemos episodios de descenso térmico superior a los 0,5°C, como por ejemplo en las regiones más orientales del Rift Valley o en la parte más cercana a las costas atlánticas.

En el hemisferio sur, nos encontramos con un descenso térmico muy marcado, en todo el territorio, sobre todo en torno al paralelo 20°. Madagascar es una excepción y sus temperaturas se mantienen sin cambios. El único reducto que experimenta un cambio térmico al alza en este hemisferio es la región suroccidental de Sudáfrica, en la que se experimenta un aumento de 1°C en este mes.

Por lo tanto podemos decir que marzo es un mes donde predomina el enfriamiento antes que el calentamiento sobre todo en el hemisferio sur y donde la homogeneidad entre ambos periodos se hace importante en todo el territorio africano.

ABRIL

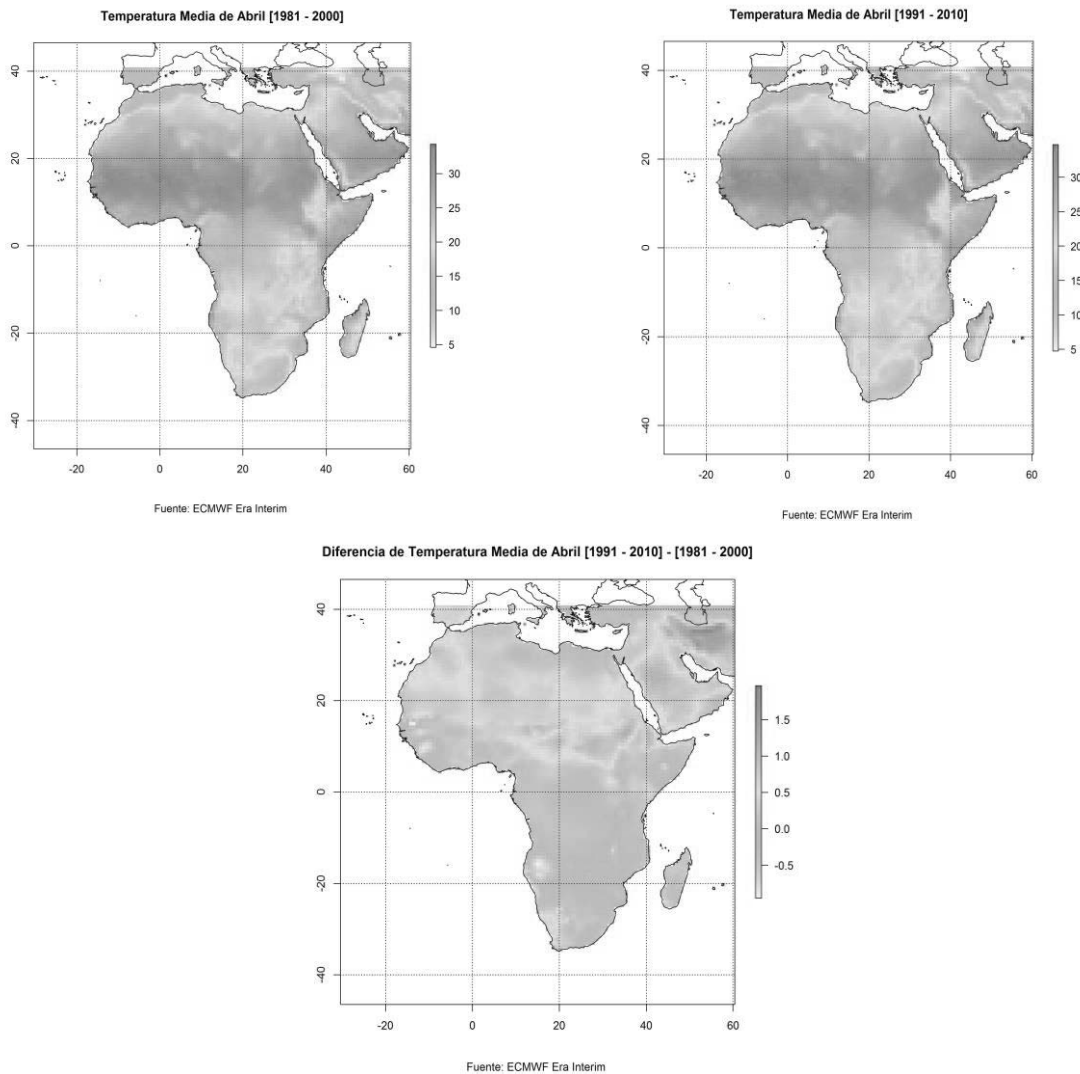


Figura 10: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de abril

En el mes de abril (Figura 10), se aprecia como la tendencia general en todo el continente africano es de calentamiento.

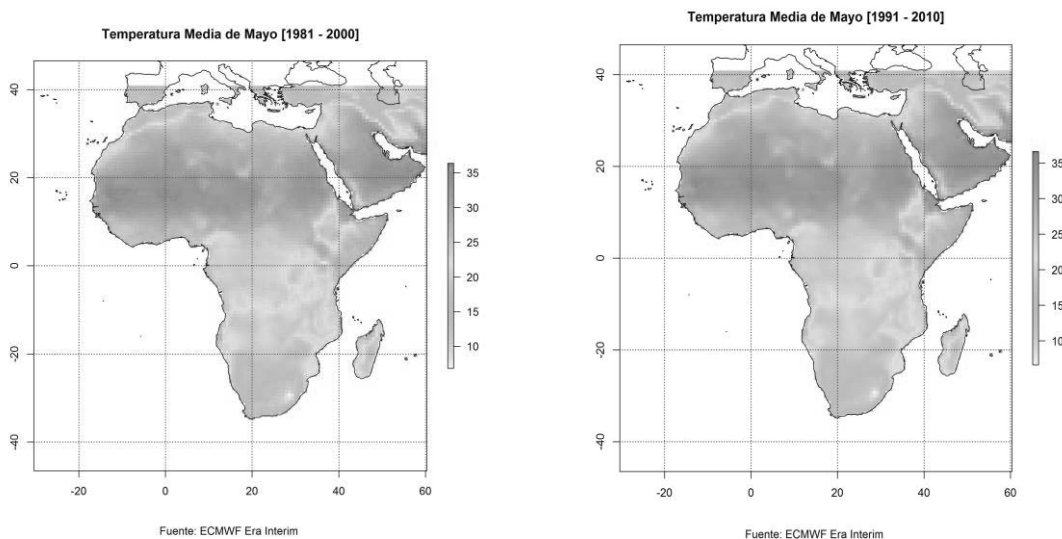
En el hemisferio norte el calentamiento es más pronunciado que en el hemisferio sur.

En este hemisferio norte, las temperaturas aumentan muy significativamente en la región noroeste, en la parte correspondiente a Marruecos y el Atlas marroquí. Aquí se experimenta aumentos térmicos de más de 1°C, mientras que en el área mediterránea se produce un estabilidad en las temperaturas durante abril. Otra región que experimenta cambios muy elevados en sus temperaturas es la de el centro de África y las costas del mar Rojo, en donde la temperatura media en este mes durante este periodo aumenta más de 1,5°C.

También en este hemisferio norte se observan cambios térmicos a la baja. Por ejemplo, en territorios como el llamado “Cuerno de África” o las costas más occidentales del hemisferio norte correspondiente con países como Senegal, Gambia o Guinea, observamos como las temperaturas medias de este mes bajan más de 0,5°C pero sin llegar al grado de descenso.

En el hemisferio sur, predomina la estabilidad térmica durante ambos periodos, salvo en dos puntos muy contrastados. El primero se corresponde con las áreas fronterizas de Angola y Namibia, donde las temperaturas descienden más de medio grado. Mientras que en áreas situadas varios kilómetros más al sur (zonas correspondientes con la Ciudad del Cabo y alrededores), las temperaturas sufren un aumento de 0,5°C en general y más de 1°C en algunos reductos. Otro punto del hemisferio sur, donde las temperaturas aumentan es la isla de Madagascar, dónde se produce un leve aumento que apenas llega a los 0,5°C en algunas zonas.

MAYO



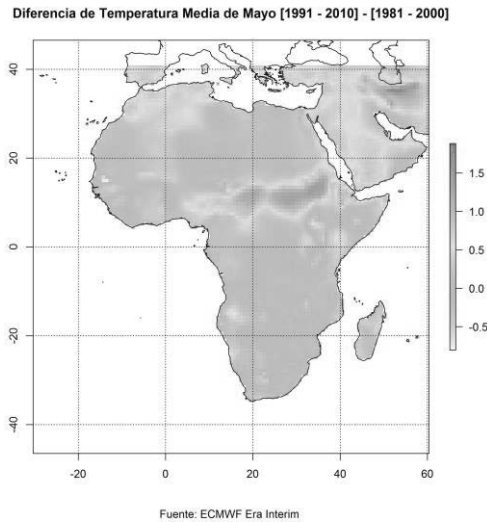


Figura 11: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de mayo

En el mes de mayo (Figura 11), se produce en el hemisferio norte varios procesos de calentamiento térmico. El más claro que observamos se produce en las áreas pertenecientes al clima ecuatorial y al clima tropical húmedo de esta parte del continente.

En el hemisferio norte, el calentamiento es muy elevado entre ambos periodos, superando el $1,5^{\circ}\text{C}$ en las regiones más cercanas al mar Rojo. También existe un calentamiento (1°C a $1,5^{\circ}\text{C}$) en la parte del Atlas y en el sector occidental del Sahara, en sector más al norte del golfo de Guinea, correspondiente con países como Costa de Marfil y Ghana y también en la parte correspondiente a Guinea Bissau y el cuerno de África (Golfo Pérsico). El calentamiento en estas regiones es superior a $0,5^{\circ}\text{C}$ pero nunca supera el grado. Es característico el inicio del calentamiento del Kilimanjaro.

En el resto de áreas del hemisferio norte, predomina la estabilidad térmica y en algunos casos se experimentan descensos térmicos de $0,6^{\circ}\text{C}/0,7^{\circ}\text{C}$ en países como Senegal o descensos de $0,3^{\circ}\text{C}/0,4^{\circ}\text{C}$ en regiones Atlánticas justo antes de entrar en el golfo de Guinea, como Sierra Leona o Guinea. Además se produce un enfriamiento en algunas regiones del interior del cuerno de África, cercanas a 1°C de descenso térmico.

En el hemisferio sur, la situación es muy distinta. Aquí encontramos regiones donde predomina el calentamiento. Entre ellas están Madagascar, la región de Ciudad del Cabo y la mayoría de las costas del Índico, cuyo calentamiento no supera los $0,25^{\circ}\text{C}$. También observamos una situación de enfriamiento térmico general. Este descenso solo es acusado en las regiones de Angola y Namibia, sobre todo en la parte occidental,

donde el descenso sobrepasa los 0,5°C. En el resto de hemisferio el descenso térmico, no llega a los 0,5°C en ningún otro punto.

Por esto decimos que mayo experimenta, en el hemisferio norte un calentamiento muy marcado en muchas áreas y una estabilidad en el resto, mientras que en el hemisferio sur predomina el enfriamiento generalizado. El calentamiento máximo es muy marcado, mientras que el enfriamiento es reducido en este mes en el continente africano.

JUNIO

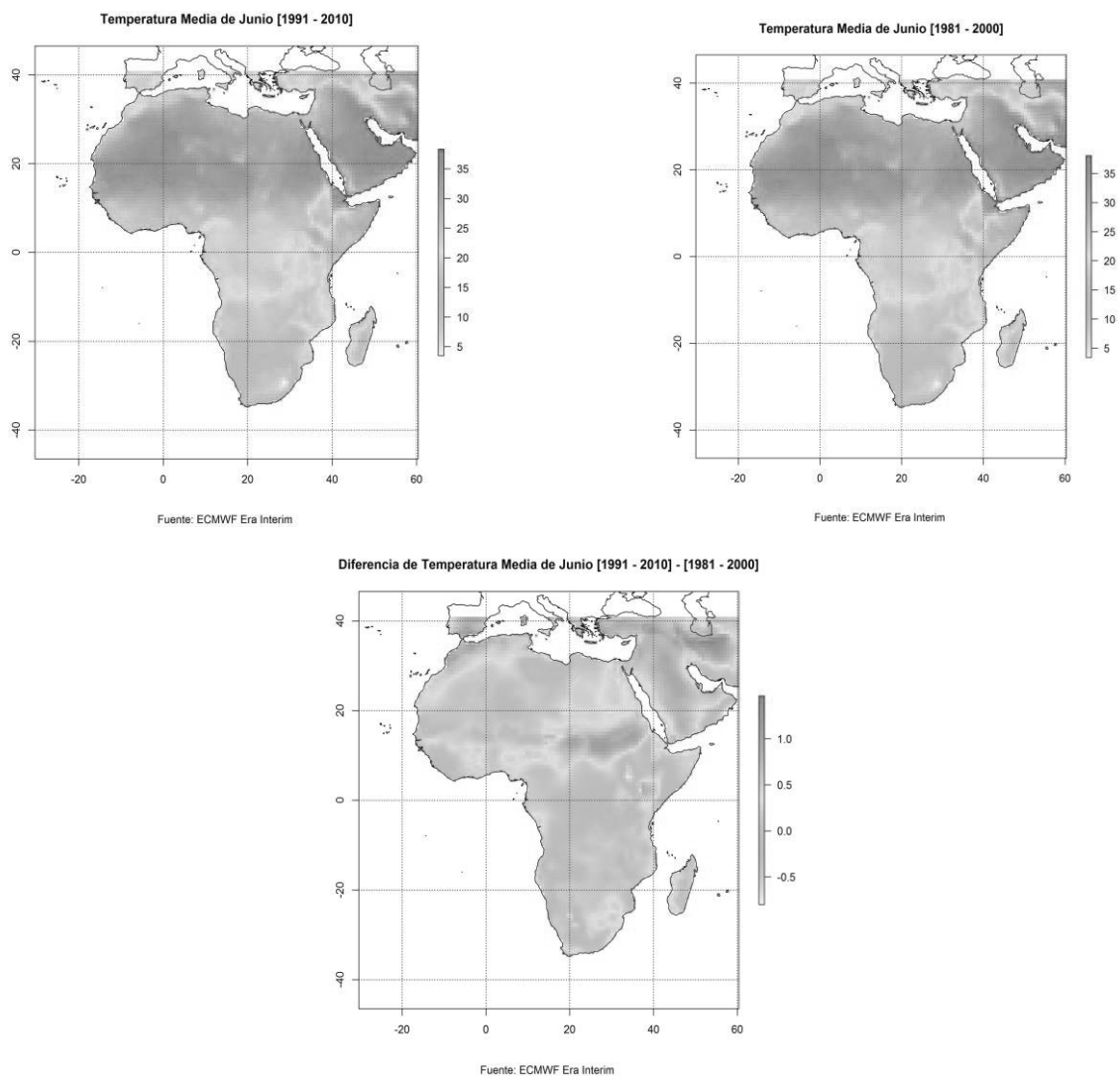


Figura 12: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de junio

Durante el mes de junio (Figura 12), las temperaturas experimentan un calentamiento moderadamente alto.

En el hemisferio norte, el calentamiento se produce en las regiones mediterráneas de noroeste (Marruecos, Argelia y Túnez) y en el sector del clima tropical húmedo de esta región, además de en el valle del Nilo y el Kilimanjaro.

Las temperaturas aumentan más de 1°C en los primeros dos sectores, mientras que en el resto de áreas anteriormente nombradas (El valle del Nilo y el Kilimanjaro), las temperaturas aumentan de 0,5°C a 1°C de media entre ambos periodos. En el resto de áreas de este hemisferio, predominan situaciones de calentamiento menores de 0,25°C.

También hay pequeños reductos de enfriamiento sobre todo en el sector occidental del Sahara, golfo de Guinea y en la parte mediterránea de países como Libia. El enfriamiento más importante, se produce en el Valle del Rift en su parte más nororiental. Este enfriamiento térmico supera los 0,5°C pero no llega al grado centígrado.

En el hemisferio sur predomina la estabilidad térmica. Existen zonas de calentamiento muy reducidas como en algunos sectores de Sudáfrica, áreas del golfo de Guinea y en las áreas costeras del océano Índico, a parte de la Ciudad del Cabo y en la isla de Madagascar. En todas estas regiones, las temperaturas aumentan como máximo 0,5°C, sobre todo en la parte del Sudáfrica. En el resto de regiones el calentamiento es mínimo, sin llegar al medio grado de ascenso térmico, transcurriendo ese aumento térmico entre los 0,25 y los 0,4°C.

Las áreas donde las temperaturas medias descienden se corresponden por lo general, por zonas del centro y del oeste del hemisferio sur africano, estas temperaturas no descienden más que 0,5°C; por lo tanto la estabilidad térmica es lo que realmente predomina en este hemisferio, sin calentamientos ni enfriamientos altamente contrastados.

Por lo tanto en junio predomina el calentamiento en el hemisferio norte y una estabilidad térmica en el hemisferio sur.

JULIO

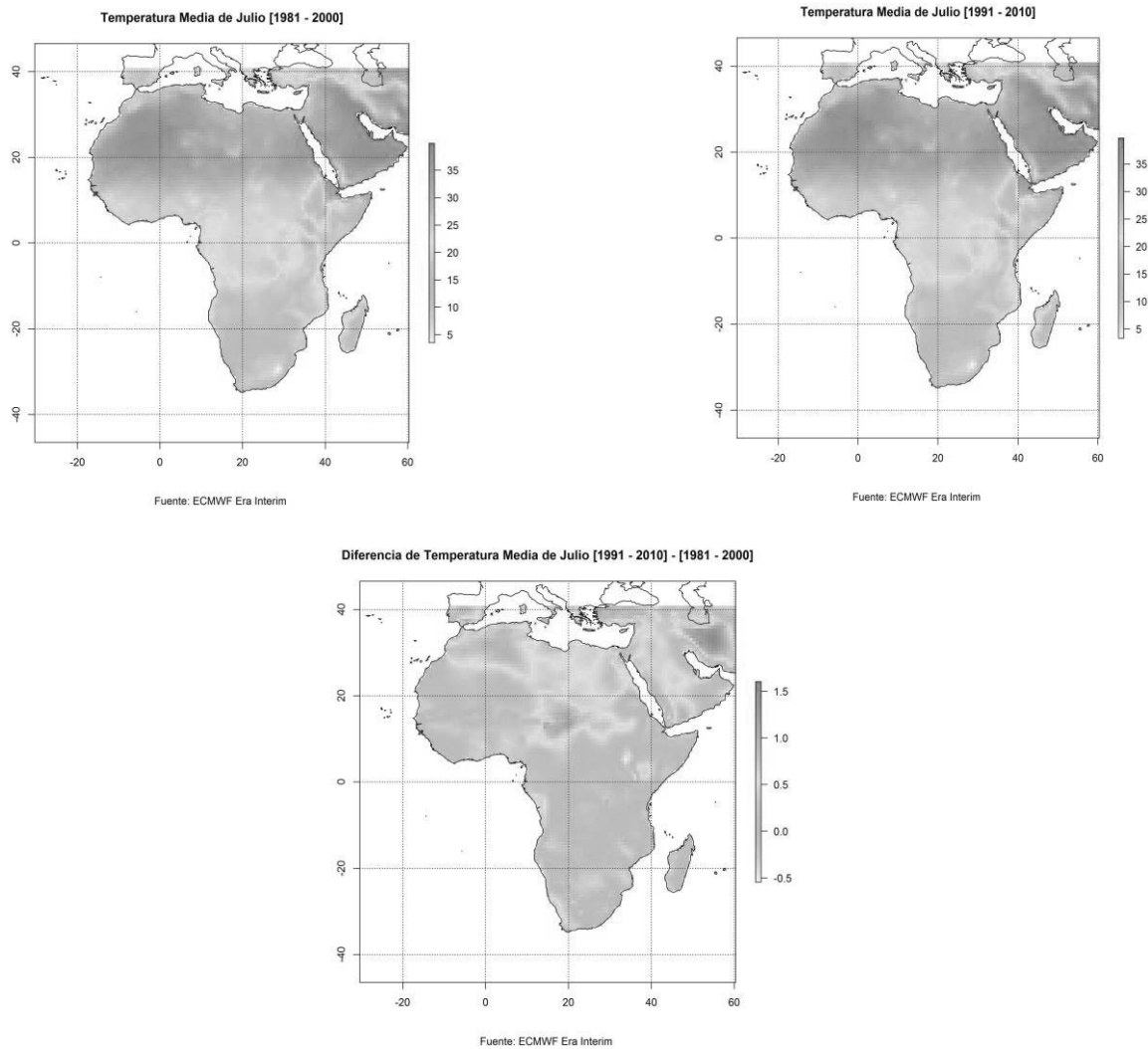


Figura 13: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de julio.

Durante el mes de julio (Figura 13), se muestra en el hemisferio norte muestra una tendencia al calentamiento.

Como podemos observar, en las regiones con clima mediterráneo y desértico las temperaturas aumentan de media entre $0,5^{\circ}\text{C}$ y $1,25^{\circ}\text{C}$, sobre todo se produce en el centro del hemisferio norte. En el resto de regiones de este hemisferio norte las temperaturas se mantienen estables con pocos cambios en sus medias. Aunque si es verdad que la región central africana y el cuerno de África, las temperaturas tienden a sufrir un leve descenso térmico que no llega al $0,5^{\circ}\text{C}$, sólo al noroeste del Kilimanjaro en el Valle del Rift, la temperatura desciende $0,5^{\circ}\text{C}$ de media entre ambos periodos. Un

caso excepcional es lo que ocurre en el Kilimanjaro en el mes de julio, pues su temperatura media aumenta $0,75^{\circ}\text{C}$, a pesar de estar rodeada por territorios en dónde las temperaturas medias se caracterizan por su disminución.

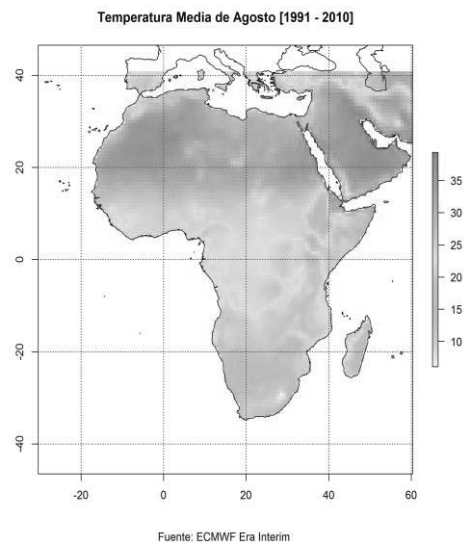
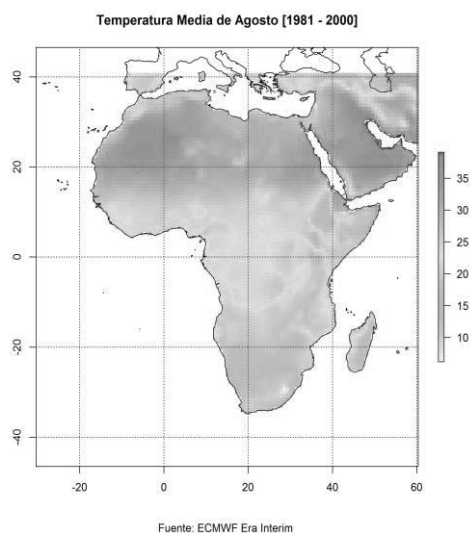
En el hemisferio sur durante el invierno austral, las temperaturas descienden de manera generalizada.

Sólo existen tres áreas de aumento térmico, las tres correspondientes a la franja costera occidental tanto del continente como de Madagascar. El aumento es poco significativo, tanto cuantitativamente como espacialmente. Ya que las temperaturas aumentan $0,5^{\circ}\text{C}$ en espacios muy concreto de este hemisferio del continente africano.

En el resto del hemisferio sur, las temperaturas se caracterizan por poseer un descenso generalizado o una estabilidad térmica. El descenso en ningún caso supera los $0,5^{\circ}\text{C}$, aun así es muy generalizado en toda esta región.

Por lo tanto podemos decir que durante el mes de julio en el hemisferio norte (verano boreal), las temperaturas tienden al ascenso, mientras que en el hemisferio sur (invierno austral) las temperaturas tienden al descenso o a la estabilidad, salvo en las regiones costeras de la franja occidental de la región.

AGOSTO



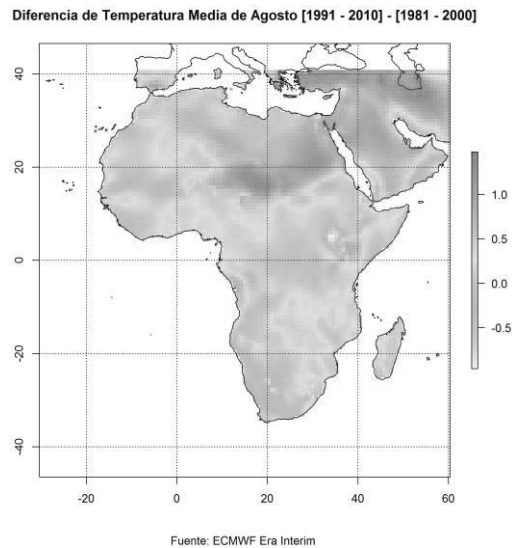


Figura 14: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de agosto

El mes de Agosto (Figura 14), representa una tendencia generalizada al aumento térmico en todo el continente africano. Apenas existen espacios donde se produzca un enfriamiento muy marcado de las temperaturas.

En el hemisferio norte (verano boreal), hay un calentamiento muy marcado sobre todo en las áreas del interior del Sahara en dónde se alcanzan unas diferencias térmicas entre periodos de más de 1°C. Es verdad que sobre todo las regiones más cercanas al mediterráneo se calientan mucho más, mientras que las regiones atlánticas de este hemisferio y las regiones centrales con clima ecuatorial, apenas sufren un aumento térmico y cuando lo experimentan, no llegan a superar los 0,5°C de diferencia entre periodos.

Es en este hemisferio dónde experimentamos las mayores diferencias de temperatura a la baja, sobre todo en la regiones con clima tropical húmedo, donde las temperaturas descienden de media 0,5°C.

Las temperaturas descienden más de 0,5°C es en la región noroccidental del Kilimanjaro. Mientras que en el Kilimanjaro las temperaturas alcanzan un ascenso de más de 0,5°C, llegando a un aumento máximo de 0,75°C.

En el hemisferio sur, correspondiente a su invierno austral, la tendencia generalizada también es al aumento (0,25°C de media de aumento), salvo en las regiones del suroeste del continente donde las temperaturas medias descienden hasta los 0,5°C.

En el resto del hemisferio predomina el aumento térmico, sin llegar a sobrepasar los 0,5°C de aumento medio entre ambos periodos. Caben destacar dos espacios en dónde el calentamiento es algo más contrastado, el sur de Madagascar, la parte final del Golfo de Guinea y en los valles de los ríos Limpopo y Zambeze. En estas regiones las temperaturas medias aumentan hasta 0,75°C.

Si nos fijamos bien es en la región occidental de este hemisferio, dónde se produce un mayor enfriamiento, mientras que en el sector oriental del país lo que predomina es el calentamiento térmico.

SEPTIEMBRE

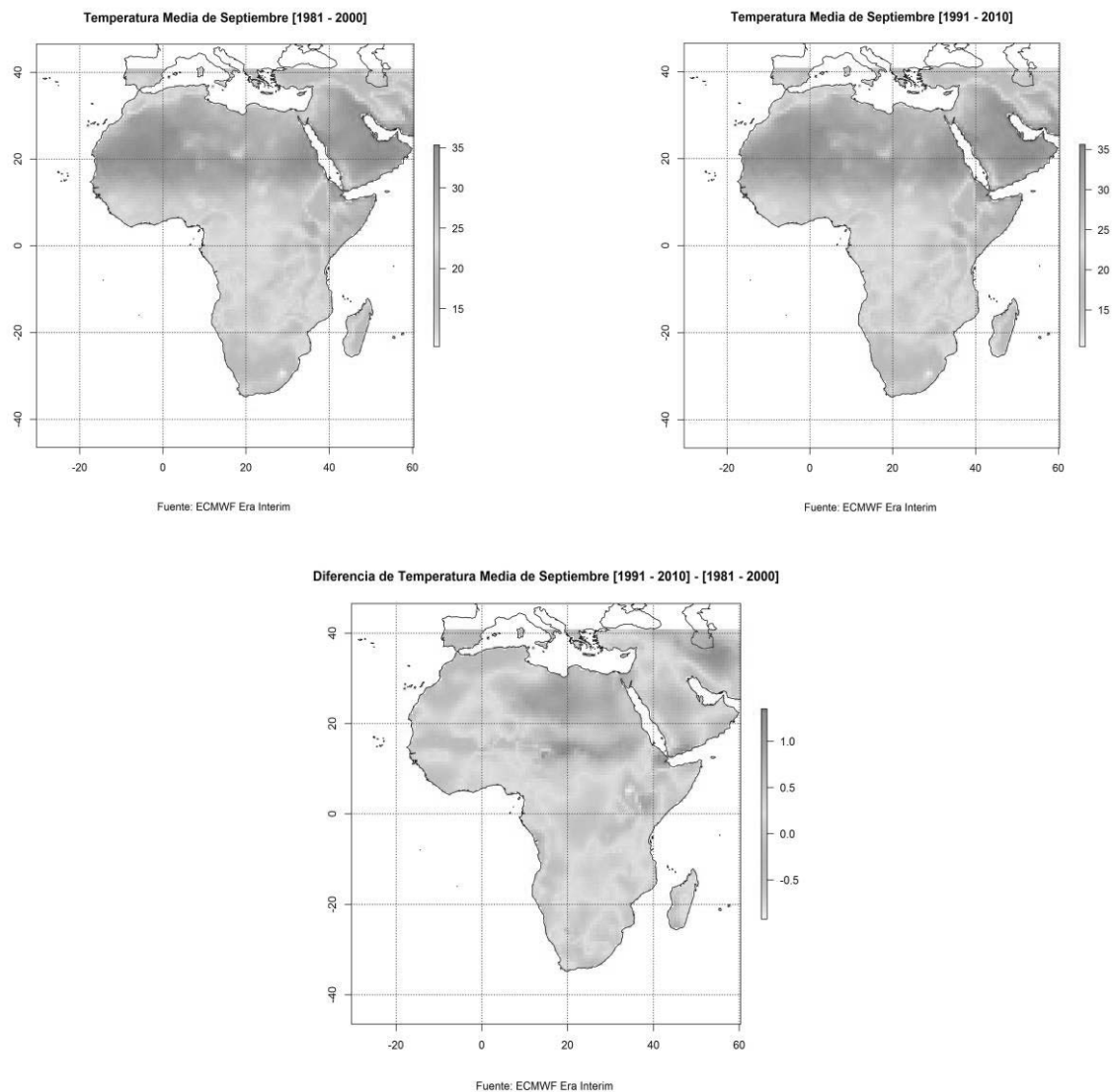


Figura 15: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de septiembre

En el mes de septiembre (Figura 15), las temperaturas sufren un descenso considerable de $0,6^{\circ}\text{C}$ en la región noroccidental de la cordillera del Atlas, el sector atlántico del hemisferio norte y en las regiones con un clima de transición entre el clima tropical seco y el clima desértico, como las correspondientes con el desierto del Sahel. Aunque el descenso más importante se produce en la parte noroeste del Kilimanjaro. Dónde este enfriamiento llega a temperaturas de diferencia cercanas a 1°C .

En este hemisferio también se experimentan procesos de calentamiento, sobre todo en la región central y este del continente, en países como Eritrea, Sudán, Somalia, Kenia (Kilimajaro), Chad y Níger. Son países que también tienen un clima de transición entre el clima tropical y el clima desértico.

Pero que están situados en la región oriental del hemisferio norte. El ascenso en algunos puntos como Eritrea, el este del lago Chad hasta el mar Rojo y el Kilimanjaro se sitúa en 1°C más de media en este mes. Mientras que el resto de áreas mediterráneas y de interior las temperaturas aumentan una media de $0,5^{\circ}\text{C}$.

En el hemisferio sur la temperaturas sufren un ligero aumento de sus medias durante este mes. El calentamiento se produce sobre todo en la isla de Madagascar, en su parte costera más occidental, en el centro del hemisferio y en las regiones costeras con clima ecuatorial del Congo, en la parte final del golfo que posee su mismo nombre.

El ascenso térmico máximo es de $0,5^{\circ}\text{C}$, en el resto de regiones las medias apenas llegan a aumentar más que esta temperatura.

También se producen procesos de enfriamiento en el hemisferio sur del continente, generalmente en las regiones más occidentales, sobre todo en países como Namibia, Angola, Botsuana y Sudáfrica, además de en pequeños sectores orientales, como en las costas de Mozambique. El descenso térmico es muy leve y apenas llega a los $0,3^{\circ}\text{C}$.

Por lo tanto durante el mes de septiembre, las temperaturas en el hemisferio norte poseen más contrastes que en el sur. El proceso de calentamiento es general, sobre todo en el hemisferio sur, mientras en el norte las temperaturas adquieren diferencias muy importantes, dependiendo de si es la región occidental (enfriamiento) o en la oriental (calentamiento).

OCTUBRE

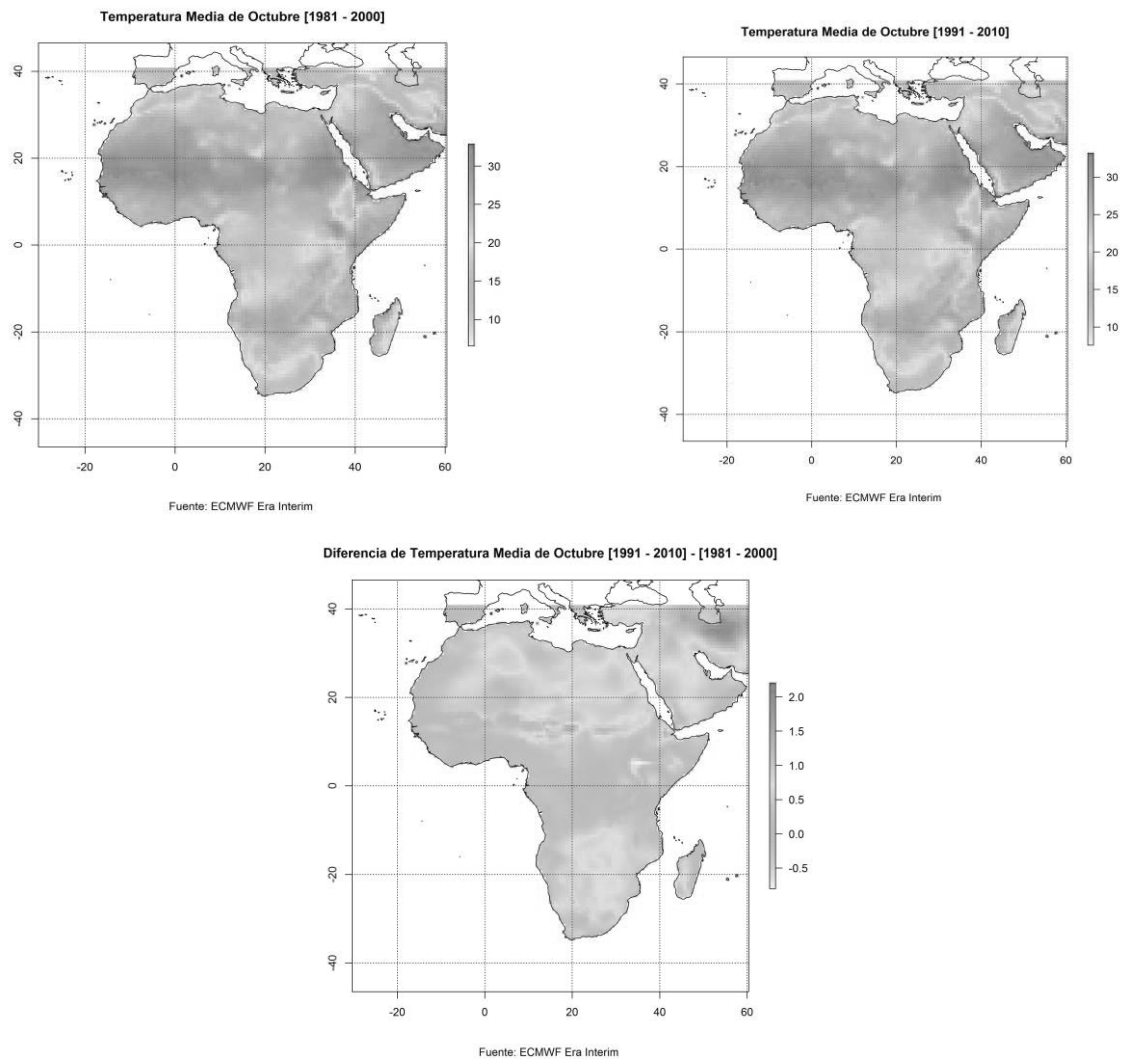


Figura 16: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de octubre.

El mes de octubre (Figura 16), experimenta un proceso de calentamiento en las áreas más cercanas a los trópicos, mientras que produce un leve enfriamiento y un equilibrio térmico en las regiones ecuatoriales. En las costas mediterráneas y atlánticas se mantiene temperaturas estables entre periodos,.

En el hemisferio norte, las temperaturas en los territorios con costas mediterráneas sufren un aumento muy leve que no llega a los $0,2^{\circ}\text{C}$ y en muchos casos, las temperaturas apenas sufren cambios entre periodos. Esto también ocurre en todas las áreas costeras atlánticas, aunque según nos vamos acercando hacia el golfo de Guinea, las medias empiezan a descender hasta $0,4^{\circ}\text{C}$.

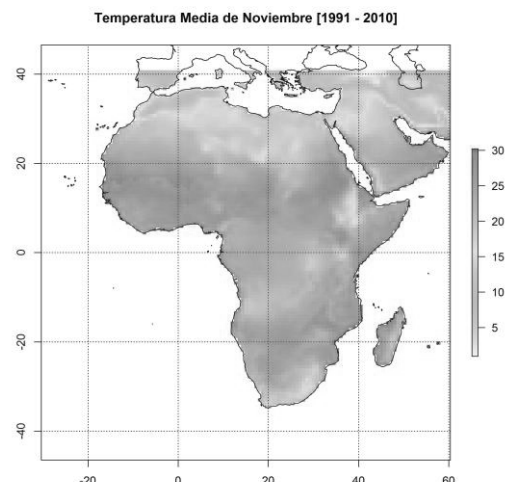
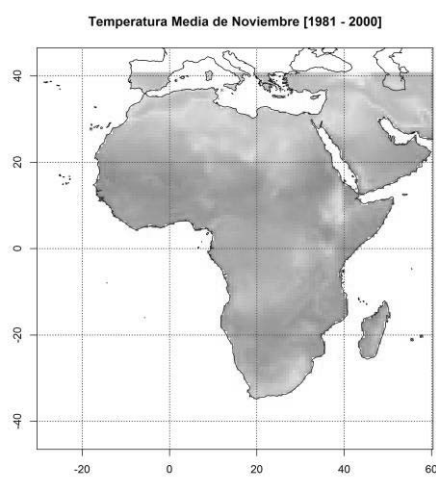
En el interior del hemisferio norte, las temperaturas sufren un aumento considerable, sobre todo en el Sahara dónde las temperaturas medias de este mes aumentan de media 0,7°C. Es en las regiones tropicales del este de este hemisferio donde llega el aumento más alto de las temperaturas medias, aumentando 1,5°C de media en varios puntos, mientras que en la región occidental con este clima se sufre un mantenimiento de las medias entre ambos periodos. La costa del mar Rojo es la que más sufre el calentamiento de las temperaturas en este continente, llegando a unos 0,5°C de ascenso de media en este territorio.

Las temperaturas en el hemisferio norte descienden fuertemente en las regiones del cuerno de África y el noroeste del Kilimanjaro, llegando a descensos de 0,6°C de media.

En el hemisferio sur ocurren cosas parecidas a las que suceden en el norte. Las temperaturas de las costas se mantienen o aumentan muy levemente, mientras que el interior sufre un proceso de calentamiento de 0,75°C de media, salvo en la región con clima ecuatorial donde tanto en el hemisferio norte como en el sur, las temperaturas se mantienen bastante constantes sin muchos cambios entre periodos, pero si con una leve tendencia a la alza de las medias.

El caso más llamativo, es Madagascar con dos costas totalmente enfrentadas en términos de cambio térmico. Mientras la costa occidental y suroccidental, sufre procesos de calentamiento que llegan en muchos casos a 1°C de aumento en sus medias, la costa nororiental sufre un estancamiento de sus medias térmicas.

NOVIEMBRE



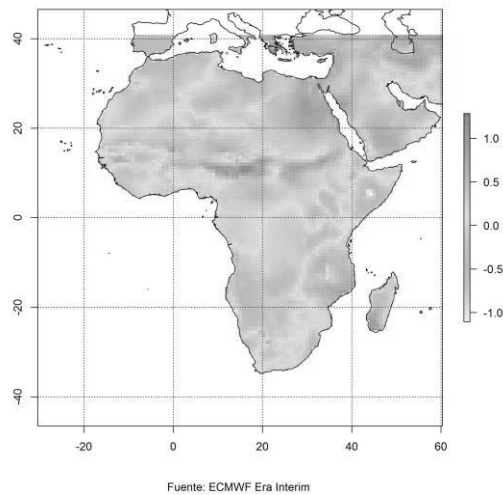


Figura 17: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de noviembre.

Durante el mes de noviembre (Figura 17), las temperaturas aumentan de manera generalizada en todo el continente, aunque existen regiones que experimentan un descenso en algunos casos muy notable.

En el hemisferio norte, diferenciamos el sector occidental dónde las temperaturas descienden $0,25^{\circ}\text{C}$ o incluso en muchos casos se mantienen estables, y el sector oriental, donde ascienden cerca de 1°C en el valle del río Nilo. En el Sahel también se experimenta un ascenso de más de 1°C .

Las temperaturas descienden 1°C en el macizo de Etiopía y en la parte norte del valle del Rift, dónde se produce el mayor descenso térmico. En la parte occidental del valle del Rift, la temperatura desciende $0,5^{\circ}\text{C}$.

En el hemisferio sur, las temperaturas son más contrastadas, mientras que en las costas occidentales tropicales experimentan un descenso de $0,5^{\circ}\text{C}$, en las costas orientales que aumentan de las temperaturas medias $0,5^{\circ}\text{C}$. Mientras en Madagascar, el calentamiento es mayor en la costa occidental que en la oriental.

El resto del espacio de este hemisferio se mantiene con una temperatura homogénea o con muy leves descensos térmicos que apenas llegan a los $0,2^{\circ}\text{C}$ de diferencia entre ambos periodos.

Durante este mes de Noviembre observamos como sigue habiendo diferencias entre Este y Oeste de una manera mucho más visual que otros meses, porque el contraste entre las variaciones térmicas cálidas y las frías son mayores.

DICIEMBRE

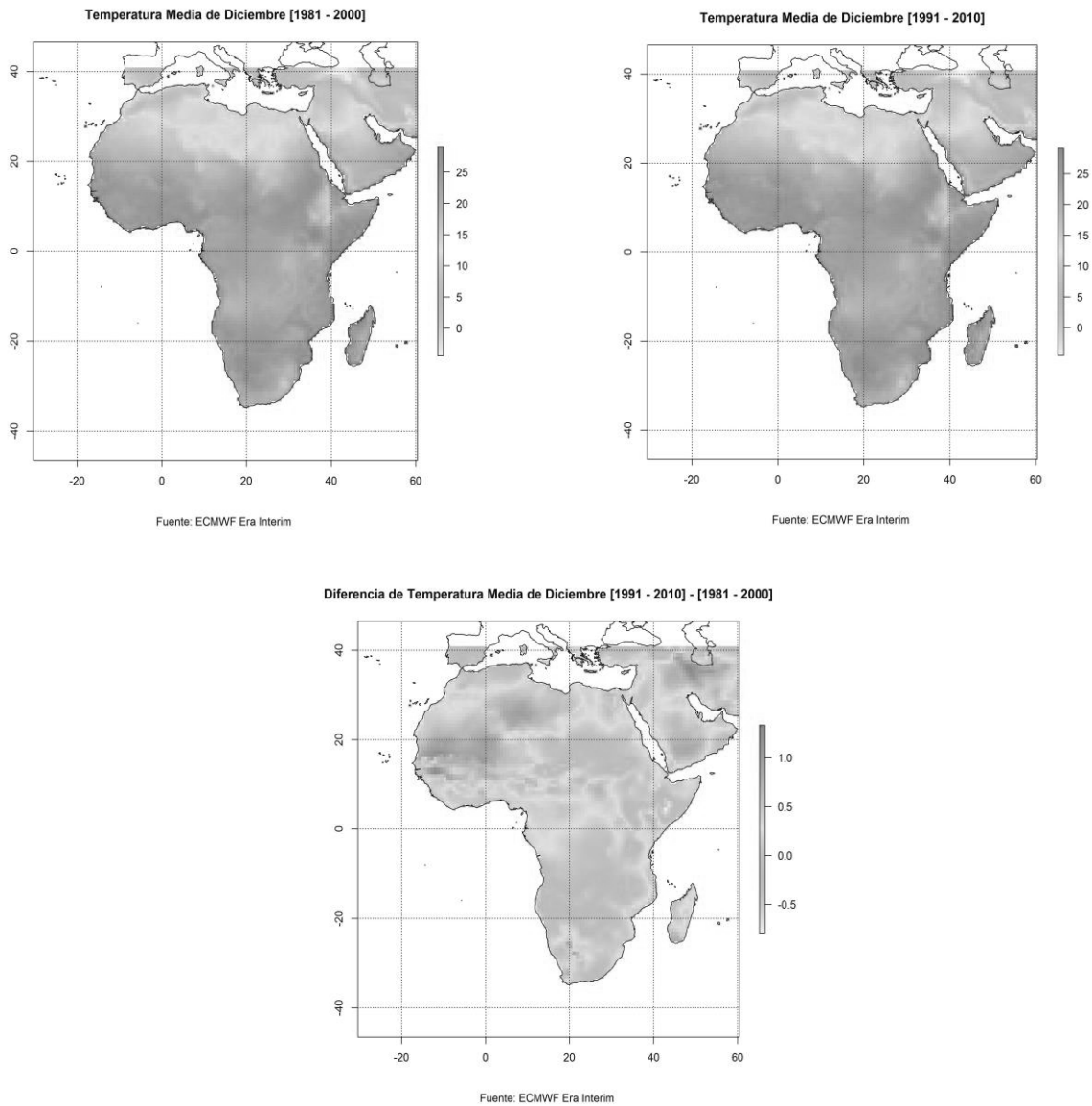


Figura 18: Mapas de temperatura media y de diferencia térmica del mes de diciembre.

El mes de diciembre (Figura 18), observamos una variación térmica a la alza en todo el continente africano.

En el hemisferio norte existe un aumento de las temperaturas en todo el sector occidental, llegando a ascender 1°C en las áreas del oeste del Sahara. En el valle del Nilo también se observa un aumento térmico de $0,5^{\circ}\text{C}$, e incluso en las áreas con clima ecuatorial de este hemisferio el aumento térmico es de $0,5^{\circ}\text{C}$.

También existen áreas en donde las temperaturas disminuyen hasta los $0,7^{\circ}\text{C}$ en algunos puntos.

En la región norte del Atlas las temperaturas descienden hasta $0,5^{\circ}\text{C}$ de media. Sobretudo las temperaturas descienden en las regiones más orientales del continente, en el este del Sahara, en el cuerno de África y en Etiopía.

Es en el centro del cuerno de África, la parte final del Valle del Rift, dónde se experimenta el mayor descenso térmico del continente, como dije anteriormente de $0,7^{\circ}\text{C}$.

En el resto del hemisferio predomina la estabilidad térmica, sobre todo en regiones de transición entre los dos climas tropicales.

En el hemisferio sur la tendencia es a la estabilidad y a un descenso de $0,5^{\circ}\text{C}$ como máximo en algunos de los sectores del interior continental. Mientras en las costas del Índico y en las costas sudoccidentales del Atlántico, predomina el calentamiento térmico de hasta $0,5^{\circ}\text{C}$.

En la isla de Madagascar se producen dos procesos uno de calentamiento térmico de $0,5^{\circ}\text{C}$ en las regiones del sur y del este, mientras que en el sector noroccidental se produce una estabilidad térmica.

Podemos decir que durante el mes de diciembre el calentamiento es general en todo el continente, pero en las zonas de interior y en el este de África, se experimentan descensos en la temperatura media entre ambos periodos de $0,5^{\circ}\text{C}$.

4-Crítica, estudio y discusión final de los resultados.

La crítica y la discusión de los resultados, vamos a realizarla mediante los resultados obtenidos en nuestro estudio y la comparación de estos con los estudios y artículos realizados por otras grandes instituciones climáticas del mundo sobre el tema que estamos tratando en todo el trabajo.

Las conclusiones que podemos sacar de nuestro trabajo, es que durante el periodo de estudio que hemos elegido (1981-2010), existen claves que ahora explicaremos, para afirmar de que de verdad se está experimentando en el continente africano un proceso de calentamiento climático o por lo menos de cambio climático.

Durante todos los meses del estudio la temperatura media entre ambos periodos, experimentaba un crecimiento importante en algunas áreas del continente. Considerando importante un aumento entre periodos de más de 1,5°C.

Las regiones del hemisferio norte han experimentado un mayor aumento térmico que las del sur. En estas regiones del norte el aumento térmico se ha producido en zonas más extensas que en el sur y de manera más considerable (más de 1,5°C).

Mientras que en el hemisferio norte la temperatura media ha aumentado de media cerca de 1°C, en el hemisferio sur la temperatura media ha aumentado menos de 0,5°C. Aunque es verdad que existen áreas, como el Sáhara, las regiones mediterráneas del norte o el Kilimanjaro, donde el calentamiento es mucho mayor durante varios meses del año.

Las áreas del hemisferio norte más se han visto afectadas por el calentamiento térmico durante el periodo de estudio, han sido, las regiones mediterráneas del norte del Sahara, sobre todo la franja oriental marroquí, más cercana al estrecho de Gibraltar. Y las regiones con clima tropical situadas al sur del Sahara. Es aquí donde las temperaturas medias a lo largo del año han subido más; en ocho de los doce meses se ha experimentado en esta región un aumento térmico de más de 1°C, eso significa un calentamiento muy importante para este sector, en Sudán de Sur, la Republica Centroafricana o Etiopía. Estos son los países que más están sufriendo este proceso de calentamiento climático, además de ser los más pobres y los que más dificultades poseen para obtener agua dulce y recursos, del continente africano.

El delta del Nilo o el sector del cuerno de África, son otras dos áreas en donde el calentamiento térmico del hemisferio norte es muy elevado.

Cabe destacar también que hay regiones de este hemisferio que no sufren calentamiento, son áreas de estabilidad térmica o de enfriamiento, como todo el golfo de Guinea, sin apenas experimentar calentamiento térmico, o la región situada al noroeste del Kilimanjaro, que experimenta descensos térmicos.

En el hemisferio sur, la situación es muy diferente. El calentamiento térmico se reduce a áreas muy concretas, caben destacar las que más calentamiento han experimentado, la región de la Ciudad del Cabo con cerca de 1°C de ascenso medio, la parte sur de Mozambique, la región sur de Madagascar y las regiones de Gabón, El Congo y Angola. El resto de áreas han sufrido un descenso térmico sobre todo el invierno austral. Este enfriamiento afecta al interior continental y el sector norte de la isla de Madagascar. Descensos que no llegan a los 0,5°C de media a lo largo del año. Pero que aún así son significativos. Es por ello que el calentamiento ante todo se produce en el hemisferio norte, mientras que en el sur este aumento térmico se produce en regiones muy concretas (sobre todo costeras), mientras que en otras áreas mucho más extensas se producen un enfriamiento o un estancamiento durante el periodo de estudio.

Comparando por estaciones podemos observar como existen muchas diferencias entre el verano austral y el boreal, el invierno austral y boreal y las estaciones secas y húmedas en la región del ecuador.

Las diferencias entre los veranos de cada uno de los hemisferios son muy claras, en ambos las temperaturas aumentan más de 0,5°C de media. Es en el hemisferio norte donde se produce un mayor calentamiento, debido a que posee una mayor masa de tierra continental. En el hemisferio sur el calor se concentra sobre todo en las regiones costeras y en las zonas con clima mediterráneo.

Los inviernos son diferentes también entre ambos hemisferios. En el invierno boreal se produce un mayor ascenso térmico que en el invierno austral. Mientras que el hemisferio sur las temperaturas en invierno apenas varían y suelen tender a disminuir sus medias cerca de 0,5°C, en el hemisferio norte se experimentan subidas de más de 0,5°C.

Por último la región próxima al ecuador y sus diferencias entre los meses húmedos y los meses secos.

La diferencia es muy significativa. En los meses secos las temperaturas tienden a ascender de una manera más tendida, sobre los 0,5°C de media, mientras que en la temporada de monzones, estas regiones experimentan calentamientos muy elevados de cerca de 1,5°C. Por lo tanto las diferencias entre estaciones son elevadas.

El mes que menos variaciones térmicas se experimentan es el mes de febrero, cuando observamos que el calentamiento y el enfriamiento es mínimo en todas las regiones del continente africano. El mes cuyas temperaturas aumentan de una manera más elevada es en Agosto, con un aumento medio ese mes de 0,5°C.

El máximo calentamiento se produce en el mes de Mayo, con 1,5°C de aumento en la región tropical húmeda del hemisferio norte, correspondiente a una latitud 6°N, el ascenso térmico de esta región sigue este paralelo hasta el mar Rojo.

El enfriamiento más fuerte se produce en el mes de Noviembre en el interior del cuerno de África, muy cercano al Kilimanjaro. Este enfriamiento supera el 1°C.

Los lugares donde la variación térmica es menor, se corresponde con el Ecuador, mientras dónde se producen la mayoría de variaciones térmicas es en los trópicos.

Por ello, según nuestro trabajo no sólo se produce un calentamiento, sino que también en mucho sectores (sobre todo del hemisferio sur en su parte de interior y occidental y en la parte del hemisferio norte en las regiones más suroccidentales) se produce un enfriamiento o un estancamiento de las temperaturas entre ambos periodos.

Según el Imperial College of London en su informe sobre el cambio climático en África (Conway, 2009), explica que el cambio térmico en África desde 1980 a 1999, es muy importante y nuestro resultado final se corresponde con el suyo. El cambio térmico existe, el calentamiento como se ve en la figura 19, se produce de igual manera a nuestros resultados anteriores (aunque en este mapa el resultado está trasladado como si las temperaturas se mantuviesen en el periodo de 2080 a 2099). En las regiones ecuatoriales el calentamiento es mucho menor que en el resto de áreas. El norte de África, la cuenca del Nilo, casi en el Cuerno de África y el sector suroccidental, cercano a la Ciudad del Cabo, son las áreas que experimentan mayor calentamiento térmico.

Los meses que mejor se ajustan a los resultados finales del mapa son los meses de enero y el mes de julio, en ellos observamos un calentamiento en las regiones con clima mediterráneo de todo el continente africano, además de un calentamiento en las regiones desérticas y en los valles de los grandes ríos africanos.

Todo este calentamiento produce cambios muy importantes en el comportamiento de las sociedades africanas, desde el tratamiento de sus cosechas, la cantidad de agua disponible o el aumento del número de enfermedades debido a la llegada de nuevos parásitos por el aumento de las temperaturas, además de por otros factores, como se observa en la figura 20.

Todo esto son inconvenientes que dificultan en mayor medida la vida de los habitantes de las regiones que más calentamiento sufren.

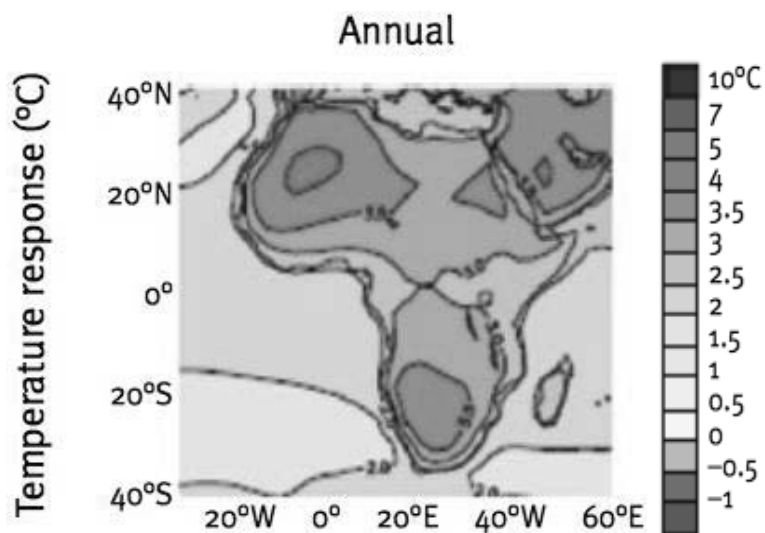


Figura 19. Calentamiento térmico en África según el Imperial College of London. Exponiendo los datos de 1980-1999 a un periodo de 2080 a 2099.

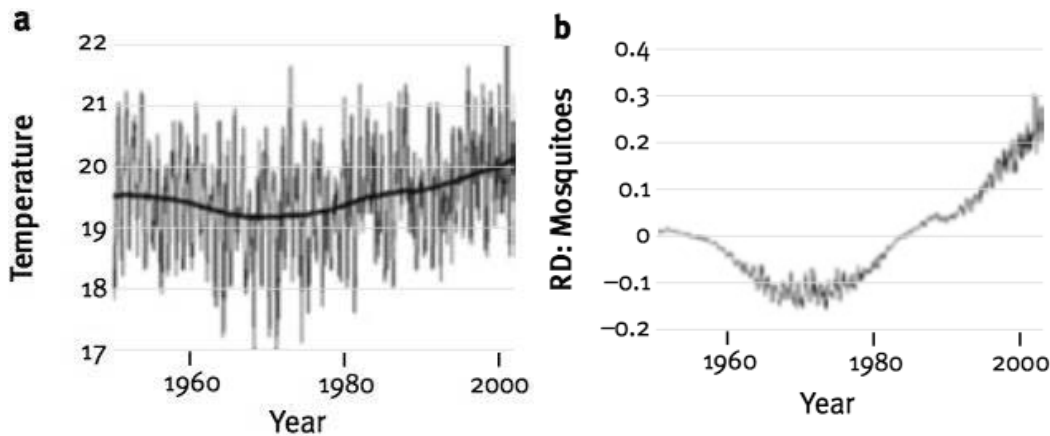


Figura 20. Aumento térmico en África desde 1960 junto con el mayor aumento de mosquitos de la malaria según el Imperial College of London.

Según otros estudios (Collier et al. 2008), el cambio climático en África conlleva al empeoramiento de las situaciones de vida de la mayoría de los habitantes del continente. El sector que más sufre estos cambios es el que más sufre el calentamiento climático, puesto a que este calentamiento dificulta las cosechas y por lo tanto, la supervivencia de muchas personas agrarias (la mayoría en el continente africano), las sequías en muchas regiones de África debido al calentamiento térmico y con ello la dificultad para encontrar recursos hídricos. Este es el principal problema para muchos países del Cuerno de África.

Todos están de acuerdo con que el continente africano está expuesto a muchos problemas, la mayoría de ellos están siendo acrecentados por el cambio climático global, sobre todo se ven estos problemas en los sectores más afectados por el calentamiento térmico.

Según el IPCC, 2001, los glaciares del Kilimanjaro, lugar que según nuestro estudio experimentan un aumento térmico en la mayoría de los meses del año, están fusionándose con graves consecuencias para el suministro de agua. El 82% del agua que poseía la montaña el año de su descubrimiento en 1912 ha desaparecido en la actualidad debido al calentamiento. Es en el IPCC de 2014 cuando se expone que el problema del agua debido al cambio climático africano es muy grave. Según Naciones Unidas esta necesidad de agua frente a su ausencia será uno de las grandes causas del origen de numerosas guerras.

Y es que la vulnerabilidad debida al cambio climático en África es muy elevada, más que en ningún otro continente del mundo según se expresa en el Climate Change and

Environmental Risk Atlas, October 2015. Y es que según este estudio, siete de las diez ciudades más afectadas por el cambio climático en el mundo, son africanas (Figura 20).

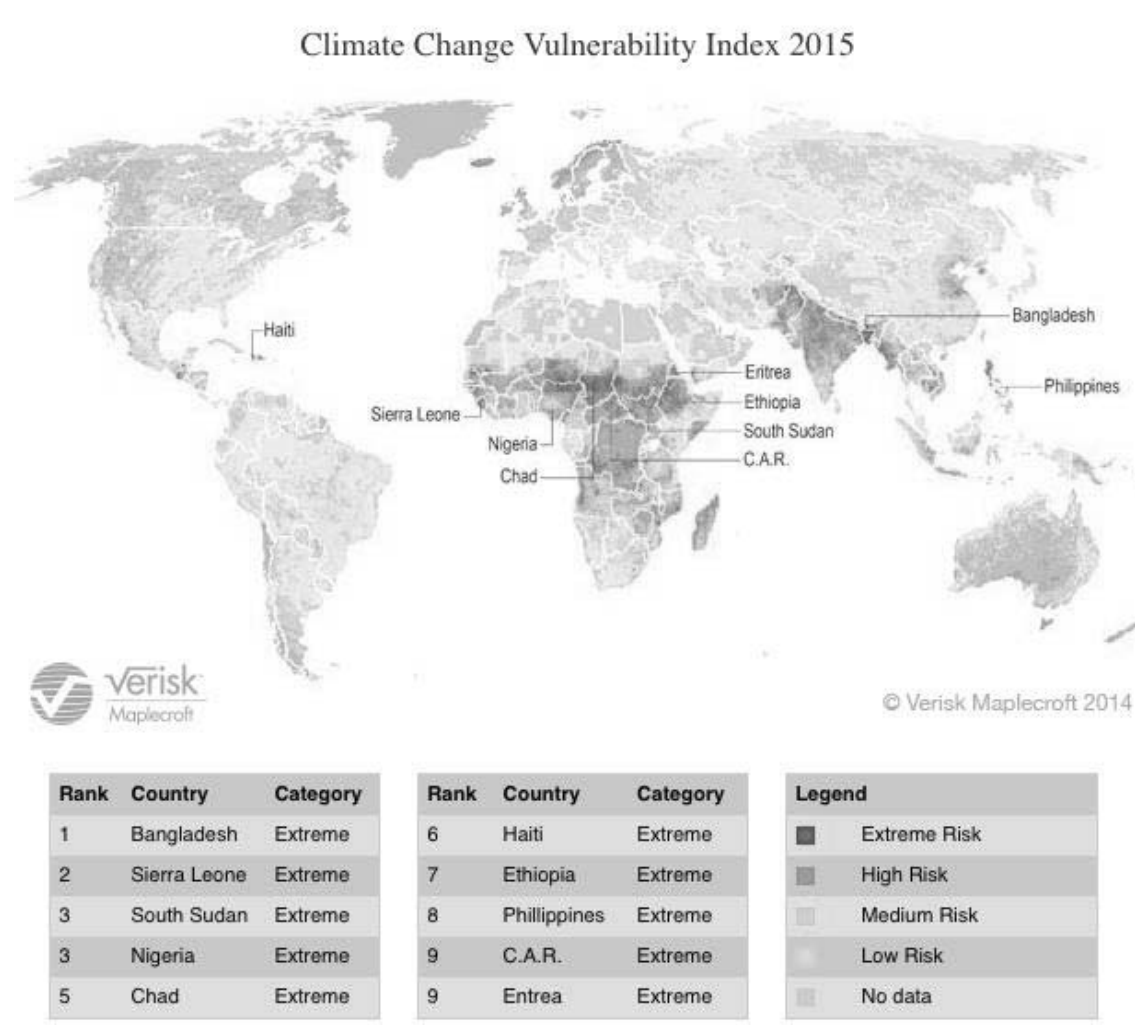


Figura 21. Mapa de Vulnerabilidad producida por el cambio climático en el mundo.

Precisamente esta figura 21, y su franja de extremo riesgo, se corresponde con el área de nuestro estudio que más ha aumentado su temperatura media durante todos los doce meses del año. Se corresponde con la franja situada al sur del Sahara, en torno al paralelo 5°N, característica por poseer un clima tropical húmedo.

Podemos decir contrastando información que nuestro estudio es eficaz y es muy cercano a lo que otros estudios anteriores sobre el cambio climático representan.

He querido involucrarme más en el ámbito de las temperaturas, pero he visto acertado nombrar que consecuencias pueden tener para el territorio y para las personas que viven en él, que es de lo que realmente se encarga la geografía.

5- Conclusión

El cambio climático es un proceso global real, que poco a poco está cambiando la realidad de muchas personas.

En África este proceso de calentamiento global esta suponiendo un aumento considerable (de cerca de 1°C) de las temperaturas medias.

Nuestro trabajo expresa como el calentamiento en el continente africano en el periodo de estudio es real, las diferencias térmicas son notables y todo ello conlleva unas consecuencias muy graves.

Nuestra investigación ha seguido una metodología muy técnica. Hemos usado datos de mucho interés para el estudio del clima, extraídos del ECMWF, con ellos pudimos trabajar minuciosamente en R para poder obtener los resultados finales. La cartografía final realizada con R, nos muestra los resultados finales de una manera gráfica, observando de una mejor manera los objetivos del trabajo.

El estudio del continente africano es difícil, hay muy pocos datos. Pero no por ello es un trabajo incompleto. Existen instituciones que crean bancos de datos importantes para su estudio. Hemos sido capaces entonces de hacer frente a estas dificultades para realizar un trabajo claro y minucioso.

Muchos científicos, opinan que el cambio climático es algo que no existe, algo que no es real. Muchos otros opinan lo contrario. Después de realizar este trabajo práctico, puedo decir que el cambio climático se está produciendo de una manera lenta pero devastadora.

En un periodo de tiempo tan corto, la temperatura media en África, ha aumentado más de 1°C en muchos lugares, sobre todo del hemisferio norte, debido a que posee mayor espacio continental que el hemisferio sur. Es sobre todo en las áreas con clima mediterráneo y regiones desérticas cercanas al Sahara, dónde las temperaturas medias

han experimentado un aumento considerado. Países como Egipto, Marruecos, Sudán, Somalia, Mali, Chad o Argelia son los que más se han visto afectados por esta subida térmica. Estas subidas se producen además en áreas cercanas a cuencas de grandes ríos o en espacios cercanos a las costas, mientras que en el interior, el contraste térmico es menor.

Las consecuencias de ese aumento son graves, si seguimos prolongando este calentamiento a lo largo del tiempo, sin intentar mitigar ni hacer nada al respecto, a través de políticas de prevención o mitigación expuestas por ejemplo en el IPCC, las consecuencias van a ser muy graves, en ocasiones, tan graves que podrán acabar con muchas de las sociedades que conocemos actualmente en el continente africano.

Por lo tanto, el problema es real y global y debemos pensar en movilizarnos e intentar mitigarlo puesto que el proceso de calentamiento lleva en marcha mucho tiempo y puede que no haya vuelta atrás en muchas regiones del mundo.

Desde mi punto de vista y después de haber podido comparar y contrastar mi trabajo y los resultados, con otros trabajos o exposiciones que tratan un tema similar y que han sido promovidas por organismos de gran importancia global en temas de cambio climático y climatología, puedo decir que el calentamiento climático en África se está produciendo, es una realidad. Sus consecuencias se irán acrecentando con el paso del tiempo, pero ya están ahí. La vulnerabilidad de los países africanos es muy clara y está provocando muchos problemas.

Los resultados finales y los contrastes con otros informes me han ayudado a darme cuenta de que al final aunque los resultados no sean completamente iguales, tienen líneas de unión muy importantes para el entendimiento de los procesos de calentamiento climático en África.

Por eso, el cambio climático existe, es una realidad que hay que intentar paliar.

6-Bibliografía.

Libros y Artículos

Paradis, E. (2002). *R para principiantes*. Montpellier. Institut des Sciences de l'Evolution Universit Montpellier II.

Guijarro, J. (2010). *Estadística aplicada a la Climatología con R*. Palma de Mallorca: PAF.

Leverman, A. (2016). Science and policy characteristics of the Paris Agreement temperature goal. *Nature Climate Change*, nº8, 17-38.

Steffen, W., Crutzen P.J., McNeill, J.R. (2007). *The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the great forces of Nature?*. *Ambio*, 36 (8), 614-621.

Uriarte, A (2003). *Historia del clima de la Tierra*. Vitoria. Gobierno Vasco.

Sanz, D. (2011). El cambio climático en África. En *Cambio climático, una mirada alternativa a nuestro entorno*. Cros Digital. 12/12/2011.

Valdehíta. C (2015). *África, un continente muy vulnerable al cambio climático*. *El Mundo*, 10/08/2015.

Morgan, W. (2015). *Climate Change In Africa: African Global Warming Role Small But Crucial To Crisis Solution*. *Experts Say*. nº23, 2-4.

Githeko, A. , Medany, M. , Osman-Elasha, B., Tabo, R., Yanda, P. (2007). Africa. Ginebra. IPCC, vol. 1, chapter 9, 436-437.

Case. M. (2006). *Climate Change Impacts on East Africa*, nº 1, 1-12.

Collier, P., Conway, G., Venables, T.(2008). *Climate change and Africa*. Oxford Review of Economic Policy, 24, 337–353.

Conway, G. (2009). *The science of climate change in Africa: impacts and adaptation*. Londres. Imperial College of London, Grantham Institute for Climate Change, Discussion paper, 24 p.

Perez Gonzalez, M^a E., Sanz Donaire, J.J., Llebot, J.E. (2010). *¿Existen datos para afirmar que se está produciendo un cambio climático de origen antropogénico?*. AACTE, n°35, 14-18.

Sanz. D (2012). Un mapa del cambio climático en África. En *Cambio Climático , una Mirada alternativa a nuestro entorno*. Cros Digital. 03/09/2012

Climate Change and Environmental Risk Atlas 2015. CCERA. 29/10/2014

Watson, R.T., Albritton, D., Barker,T et al. (2001). An Assesment of the Intergovernmental Panel of Climate Change. IPCC, 1-34.

Páginas Web

<http://www.ecmwf.int/>

<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?end=2010&start=1981>

<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>

<https://climaticocambio.com/el-cambio-climatico-en-africa/>

