

Cultivos y climatología

Situación Mundial

Uoc

Sara Belén Ramos González

TFM - Área 5 - Aula 1

Tutor/a de TF

Rafael Luque Ocaña

Profesor/a responsable de la asignatura

Albert Solé

Enero 2023

Universitat Oberta
de Catalunya

© Sara Belén Ramos González

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Ficha del Trabajo Final

Título del trabajo:	Cultivos y climatología: Situación Mundial.
Nombre del autor/a:	Sara Belén Ramos González
Nombre del Tutor/a de TF:	Rafael Luque Ocaña
Nombre del/de la PRA:	Albert Solé
Fecha de entrega:	01/2023
Titulación o programa:	Máster Universitario en Ciencia de Datos
Área del Trabajo Final:	Área 5
Idioma del trabajo:	Castellano
Palabras clave	Agricultura – Clima - Análisis
Resumen del Trabajo	
<p>Se desarrolla aquí concretamente un trabajo final de máster, de tipo “investigación sobre una temática”. Lo que se propone es analizar en profundidad la situación histórica y actual sobre la meteorología y los cultivos, así como establecer patrones para predecir posibles resultados futuros y entender a qué se debe enfrentar la sociedad.</p> <p>Tanto la agricultura como el clima son temas actuales que suscitan cierto interés generalizado debido a una preocupación creciente sobre el cambio de paradigma que presentan sus valores medidos a lo largo de estos últimos años.</p> <p>Aunque existen estudios aislados que aportan juicios sobre temperaturas o precipitaciones, incluso de hectáreas de cultivos, se encuentran muy pocas conclusiones sobre su relación en conjunto, así como sobre qué posibles variables pueden estar influyendo en el carácter tan cambiante que se observa en los datos.</p>	

Se llevará a cabo entonces un análisis en profundidad sobre información contrastada y de calidad, obtenida de diversas fuentes y tratada de la manera adecuada. Además, se proporcionará una visualización de datos dinámica y se aplicarán algoritmos matemáticos para obtener resultados futuros.

A lo largo de la investigación, se irán extrayendo conclusiones que servirán para entender nuestra coyuntura social y económica en relación con el tema que aquí nos ocupa.

Abstract

Specifically, a final master's thesis is developed here, of the "research on a topic" type. What is proposed is to analyze in depth the historical and current situation regarding meteorology and crops, as well as establish patterns to predict possible future results and understand what society must face in relation to this issues.

Both agriculture and climate are current topics that arouse some widespread interest due to a growing concern about the paradigm shift presented by their measured values over recent years.

Although there are isolated studies that provide judgments about temperatures or precipitation, even for hectares of crops, there are very few conclusions about their relationship as a whole, as well as about what possible variables may be influencing the highly changing nature observed in the data.

An in-depth analysis will then be carried out on verified and quality information, obtained from various sources and treated in the appropriate manner. Additionally, dynamic data visualization will be provided and mathematical algorithms will be applied to obtain future results.

Throughout the investigation, conclusions will be drawn that will help us understand our social and economic situation in relation to the topic at hand here.

Índice

1.	Descripción de la propuesta y justificación del interés y la relevancia de la propuesta	1
2.	Explicación de la motivación personal	2
3.	Definición de los objetivos (principales y secundarios)	3
4.	Descripción de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto	3
5.	Planificación o plan de investigación del proyecto	4
6.	Estado del arte	5
6.1.	Resumen discusiones	6
6.1.1.	Resumen general	6
6.1.2.	Emisión de gases de efecto invernadero	7
6.1.3.	Temperatura y precipitaciones	8
6.1.4.	Crecimiento poblacional	8
6.2.	Estudios analíticos existentes	9
6.3.	Fuentes de datos	11
6.4.	Enfoque y herramientas tecnológicas	12
7.	La CCEG y los ODS	13
7.1.	Sostenibilidad	13
7.2.	Comportamiento ético y responsabilidad social (RS)	14
7.3.	Diversidad (género entre otros) y derechos humanos	15
8.	Datos y variables a estudiar	16
9.	Predicción de variables	17
9.1.	Regresión lineal	17
9.2.	Random Forest	19
9.3.	ARIMA	21
10.	Conclusiones y acciones futuras propuestas	23
10.1.	Precipitaciones	23
10.2.	Emisiones de gases y usos de fertilizantes	26
10.3.	Crecimiento poblacional	26
10.4.	Extensión de tierra cultivada	28
10.5.	Temperatura	28
10.6.	Conclusiones globales	30
11.	Bibliografía	32

i.	ANEXO I – Notebook – Markdown RStudio	35
a)	Exploración archivos de datos	35
b)	Instalación de paquetes	35
c)	Data wrangling y data cleansing	35
d)	Análisis de datos	36
e)	Predicción de datos	37
f)	Exportación de datos	37
g)	Conclusión	37
ii.	ANEXO II – Informe Power BI	38
a)	Modelo y transformación de datos	38
b)	Diseño informe	40
c)	Enlace a la visualización del informe	42
d)	Conclusión	43
iii.	ANEXO III – Repositorio GitHub	44

Lista de Figuras

Figura 1. Planificación TFM. Parte 1.	4
Figura 2. Planificación TFM. Parte 2.	5
Figura 3. Planificación TFM. Parte 3.	5
Figura 4. Gráfico de barras. Emisiones globales de N ₂ O procedentes de la agricultura entre 1990 y 2030 (Reay, Davidson, E., Smith, K. , & et al., 2012)	9
Figura 5. Volumen de mercado de agricultura y total internacional, 1961-2015. (Calicioglu, Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R., 2017).....	10
Figura 6. Precipitaciones – cambios en las medias mensuales durante todo el año en comparación con el valor de referencia – modelo IPSL RCP8.5. (Ignaciuki & Mason-D'Croz, 2014).....	10
Figura 7. Ejemplo ARIMA en tendencia de temperaturas. (Shuang Xu, y otros, 2023).....	11
Figura 8. Matriz de correlación de las variables estudiadas.	18
Figura 9. Visualización tabla resultado de valores predichos según regresiones lineales aplicadas a cada variable.....	19
Figura 10. Gráfico resultados aplicación modelo Random Forest. Datos reales vs predicciones para los mismos años.	20
Figura 11. Comparación datos de entrenamiento, prueba y predicciones en la aplicación del modelo Random Forest.	20
Figura 12. Gráfica de los residuos contra los valores ajustados en la aplicación del modelo ARIMA.....	22
Figura 13. Predicción datos de temperatura aplicando modelo ARIMA.....	22
Figura 14. Precipitaciones (mm) totales anuales para los países estudiados.....	23
Figura 15. Precipitaciones (mm) en Reino Unido para el mes de febrero a lo largo de los años.	24
Figura 16. Precipitaciones (mm) en Estados Unidos para el mes de febrero a lo largo de los años.	24
Figura 17. Precipitaciones (mm) en España para el mes de marzo a lo largo de los años.....	25
Figura 18. Evolución emisión de gases y uso de fertilizantes (derivados de la actividad agrícola).....	26
Figura 19. Evolución población (cantidad de personas) a lo largo de los años.....	27
Figura 20. Evolución de población (cantidad de personas) y extensión de tierra cultivada (sq. km) a lo largo de los años.	28
Figura 21. Relación entre el paso de los años (1850 - 2023) y la temperatura anómala media anual.	29
Figura 22. Anomalía Temperatura (°C) real y predicha. Años 1990 - 2050.	29
Figura 23. Gráfico de correlación de algunas variables estudiadas.....	36
Figura 24. Conexiones datos Power BI.....	38
Figura 25. Modelo de datos Power BI.....	39
Figura 26. Ejemplo de pasos de transformación aplicados en Power BI.	40

1. Descripción de la propuesta y justificación del interés y la relevancia de la propuesta

- **Descripción de la propuesta:**

Propongo la realización de un trabajo de finalización de máster (de ahora en adelante, TFM) de tipo TFR, ya que se trata de un trabajo final donde se llevará a cabo una labor de investigación sobre la temática “cultivos y climatología”.

El trabajo consistirá en un análisis de los datos disponibles, desde la obtención de las fuentes de información, pasando por el análisis de la información obtenida, visualización de la misma, conclusiones, y llegando incluso a una predicción del comportamiento futuro para determinadas variables y situaciones estudiadas.

La obtención de las fuentes se basará en la calidad y el contraste de las mismas para asegurar la completitud y veracidad de los datos. Se elegirán las variables que se consideren más adecuadas en función a las relaciones que se quieran establecer en el estudio que se llevará a cabo.

Se transformará y analizará la información obtenida para elaborar un estudio lo más completo posible, extrayendo conclusiones a medida que se avanza en la investigación.

En cuanto a la visualización, se diseñará e implementará un informe dinámico, que permita la navegación a través de la información según interese estudiar los distintos aspectos disponibles en menor o mayor detalle.

Finalmente, se aplicarán algoritmos para deducir patrones de comportamiento que arrojen una predicción futura y puedan establecerse comparaciones con la realidad.

- **Justificación del interés y la relevancia:**

Tanto la agricultura como el clima son asuntos bastante preocupantes para la sociedad actual. No solo expertos en la materia son los interesados, sino que existe una inquietud general debido a que son numerosos los ámbitos a los que pueden afectar.

Si se abordan cuestiones relacionadas con la agricultura y el clima, hay que tener en cuenta afecciones tales como: económicas, sociales, demográficas, geográficas y alimenticias. En definitiva, en los principales aspectos de la vida del ser humano.

El estudio que se realiza en este TFM cobra especial importancia en la era en la que vivimos, marcada por el cambio climático y el conocimiento de los productos alimentarios que consumimos. En los últimos años, es frecuente encontrar situaciones climatológicas

adversas de gran magnitud, así como los crecientes inconvenientes que provocan; también a un cambio en la alimentación del ser humano derivado por nuevos estudios científicos; consecuentemente, la agricultura ha sufrido modificaciones en su modelo de producir.

Todo ello propicia fluctuaciones en la economía y en el comportamiento tanto de las empresas como de los consumidores para adaptarse a las nuevas circunstancias, resultando en una afección negativa sobre el comportamiento del clima y la agricultura.

La humanidad se encuentra entonces ante la necesidad de modificar la conducta humana, así como de idear nuevas soluciones que respondan ante un nuevo paradigma que requiere de un cambio de rumbo para lograr como objetivo la recuperación del Planeta Tierra.

2. Explicación de la motivación personal

En primer lugar, soy una persona preocupada por el cuerpo, la mente y la naturaleza. Creo que las condiciones extremas, igual de perjudiciales pueden ser para nuestro planeta, que para el bienestar humano.

Me siento partícipe de colaborar en un cambio de la conducta de la sociedad, así como de apoyar las investigaciones y los avances necesarios para poder ir en una dirección distinta a la que vamos hoy en día, una más encaminada a la sostenibilidad y a la buena alimentación.

Por ello, me gustaría profundizar sobre datos que ahonden en los aspectos meteorológicos y relacionados con la agricultura, para conocerlos e interpretarlos de primera mano.

De hecho, este es el mismo motivo por el que actualmente trabajo en una empresa dedicada al sector biotecnológico, donde elaboramos productos de química natural para el crecimiento y mantenimiento de los cultivos.

Por último. creo que servirá de ayuda a mi empresa el hecho de contar con un estudio como el que se realizará en este TFM, que permita realizar juicios sobre la agricultura y la meteorología, tratándolos tanto de manera aislada, así como en su conjunto, para la toma decisiones.

3. Definición de los objetivos (principales y secundarios)

El principal objetivo es realizar un trabajo de final de máster, que constará de un documento explicativo (memoria del proyecto), un notebook formado por código en R, y un informe interactivo de visualización de datos, en el que llevaremos a cabo un análisis descriptivo y predictivo sobre la meteorología y los cultivos a nivel mundial. Queremos conocer cuál es la variación y la tendencia, así como la relación entre las variables estudiadas.

Como objetivos secundarios, para poder realizar este TFM, podemos nombrar los siguientes:

1. Presentación, descripción y planificación del proyecto.
2. Búsqueda de fuentes de datos de calidad / Artículos relacionados.
3. Entendimiento de la información obtenida / Inspiración.
4. Identificar metodología y técnicas apropiadas.
5. Preprocesamiento de datos (Data cleansing / Data wrangling).
6. Análisis estadísticos sobre la información obtenida.
7. Desarrollo del informe de visualización de los datos observados.
8. Aplicación de algoritmos matemáticos.
9. Obtención de conclusiones surgidas de nuestra investigación.
10. Redacción memoria proyecto.
11. Presentación resumen.
12. Defensa ante tribunal.

4. Descripción de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto

En este punto, definiremos cómo vamos a proceder para la realización del proyecto para conseguir nuestros objetivos.

Al tratarse de un tema de investigación, en primer lugar, buscaremos información sobre el tema abordado, incluso algunos estudios que se hayan realizado anteriormente, y que nos sirvan de inspiración. También se llevará a cabo una búsqueda de fuentes de datos contrastadas y de calidad servidas por organismos públicos (open data) para poder consumirlas en el trabajo que aquí se desarrolla y hacer uso de los datos para su análisis.

En cuanto a las técnicas y software usado, se detallan a continuación:

- **Planificación del proyecto:** se utilizará la herramienta ClickUp para marcar las fechas y hacer un seguimiento planificado de las tareas pendientes en cada momento.

- **Data cleansing / Data wrangling** de la información: se utilizará el software Rstudio aplicando código con el lenguaje R, también se usará Power BI (según corresponda) para el preprocesado necesario que facilite la representación gráfica de los datos.
- **Algoritmos predictivos**: se implementará código en R, mediante el uso de Rstudio, para la implementación de algoritmos predictivos y la obtención de valores futuros.
- **Informe de visualización de datos**: Power BI será el programa con el que se reflejarán visualmente los resultados a modo de navegación interactiva en un informe.
- **Redacción de la memoria**: Microsoft Word es la herramienta elegida para la redacción de la memoria. Igualmente, se hará uso de Markdown creando un notebook en Rstudio para la explicación de las aplicaciones que sean ejecutadas en R, así como para reflejar gráficos resultantes del análisis en un informe.

5. Planificación o plan de investigación del proyecto

La planificación del proyecto se ha realizado teniendo en cuenta la complejidad de cada tarea, según la cual se ha ido asignando un tiempo determinado a cada una de las mismas.

Se cumplirá cada una de las fases establecidas para poder conseguir la finalización del TFM en su totalidad para la fecha acordada.

La fecha de comienzo será el 27 de septiembre de 2023, y la elaboración del TFM, incluyendo todas las fases incluso de presentación y defensa, finalizará el 4 de febrero de 2024.

A continuación se representa la planificación marcada en un diagrama de Gantt elaborado con la herramienta de gestión de proyectos ClickUp (figuras 1, 2 y 3).

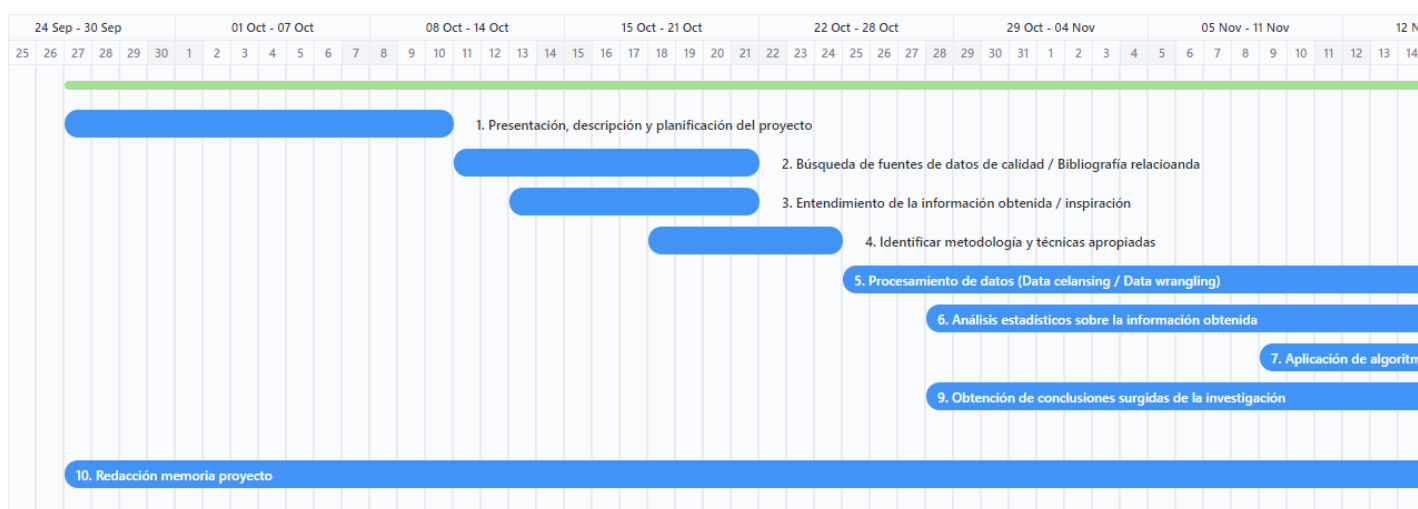


Figura 1. Planificación TFM. Parte 1.

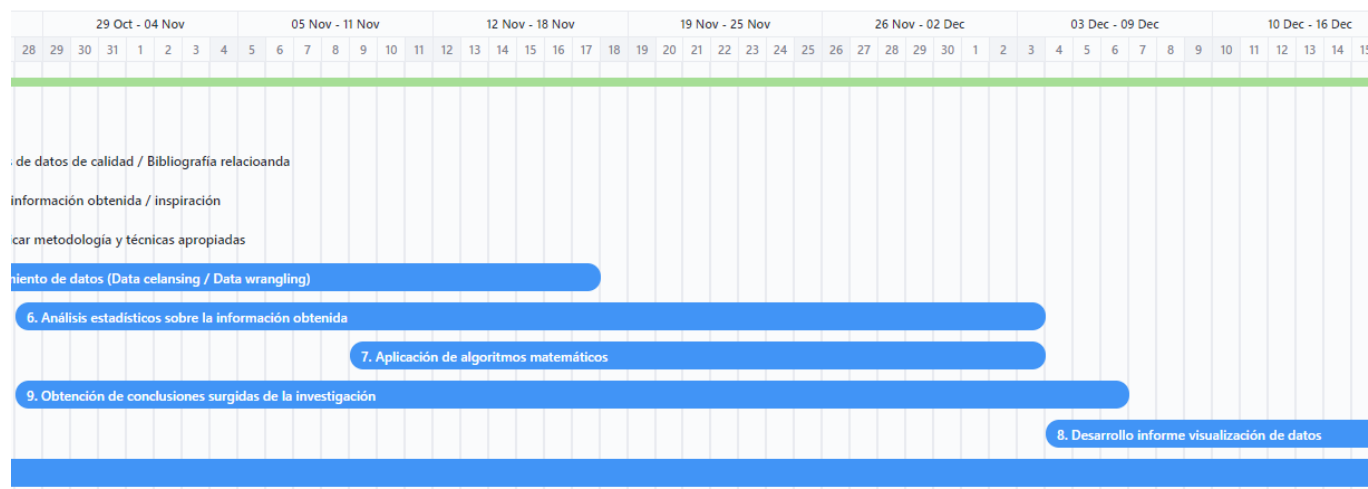


Figura 2. Planificación TFM. Parte 2.

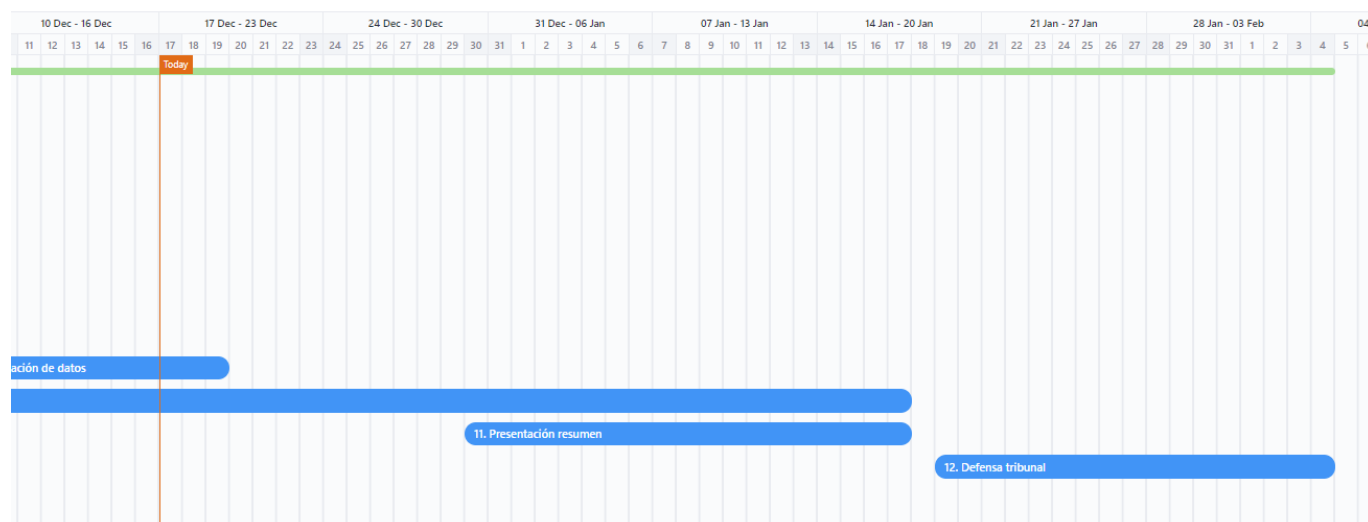


Figura 3. Planificación TFM. Parte 3.

6. Estado del arte

Se ha realizado una búsqueda pormenorizada sobre el tema que se aborda en este TFM, encontrando bastante información que quedará recogida en la bibliografía de este documento.

Además, como resultado de esta investigación realizada, se definen tres vertientes claras a abordar para ahondar en conocimientos necesarios en la elaboración de este TFM.

- En primer lugar, serán interesantes las discusiones y conclusiones sobre la temática que aquí se trabaja: cambio climático y agricultura. Con esto, se empezará a conformar una idea de qué variables se deben elegir en el estudio para obtener información interesante,

además de conocer cómo pueden estar relacionadas las mismas a la hora de llevar a cabo el análisis descriptivo y predictivo.

- En segundo lugar, se investigará sobre qué estudios analíticos se han realizado sobre variables que también se estudiarán en el TFM. Es decir, servirá tanto de inspiración como de ejemplificación de aplicaciones de métodos.
- En tercer lugar, se profundizará en las fuentes de datos que se usan a nivel científico y en ciertas entidades organizativas contrastadas, así como en datos disponibles que sean susceptibles de ser utilizados en este TFM.

A continuación, se desarrollan cada una de las vertientes de nuestro estado del arte con un resumen de los detalles obtenidos en la búsqueda de información realizada para cada una de las mismas.

6.1. Resumen discusiones

Sobre cultivos y climatología existen numerosos artículos científicos, así como discusiones abordadas por organismos e instituciones. De aquí, se puede obtener bastante información valiosa que trata sobre distintas variables que influyen en el comportamiento del clima y de la agricultura.

Se concluye la lectura de la bibliografía encontrada que las principales variables sobre las que encontramos bastante información y sobre las que más se discute en relación con el clima y la agricultura, son las siguientes: emisiones de gases de efecto invernadero, extensión de tierra cultivada, temperatura registrada, precipitaciones registradas, aumento de la población.

De hecho, podemos segmentar la información bien según la temática general, o bien según cada una de las disciplinas en las que impactan las variables a estudiar, lo cual nos ayudará a entender mejor el comportamiento al que nos enfrentamos de cada una de ellas, así como conocer qué podríamos esperar del análisis que llevaremos a cabo en este TFM.

6.1.1. Resumen general

Es conocido que durante los últimos años nos encontramos ante los mayores niveles de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). Precisamente, una de las principales fuentes de estas emisiones la conforman tanto la producción agrícola y como el efecto causado por la misma en la tierra.

La agricultura es culpable de la mayor parte de las emisiones medidas de metano y óxido nítrico a nivel mundial.

Además de estas emisiones directas, hay que mencionar que el sector agrícola utiliza energía para la realización de las actividades relacionadas con el mismo, como cuando hace uso de combustible para hacer funcionar a los vehículos necesarios.

Tras leer varios artículos, fragmentos de libros y algunas webs de información, queda claro que la contaminación del aire puede afectar el clima al alterar la composición de la atmósfera, y que puede afectar los patrones climáticos, incluidos los cambios en las temperaturas y las precipitaciones.

Por lo tanto, se puede deducir que la agricultura influye en gran medida en el cambio climático que estamos viviendo durante nuestra era.

Aun así, cabe cierta esperanza ya que existen acciones con las que podemos mitigar el crecimiento de las consecuencias negativas para el medio ambiente y la calidad de vida del ser humano.

6.1.2. Emisión de gases de efecto invernadero

Además de la emisión de gases de efecto invernadero derivados del uso de la energía, la industria, el transporte y la gestión de residuos, también la gestión del uso de la tierra afecta claramente en este ámbito. Se estudiará ahora con detalle cómo la agricultura es causante de la emisión de algunos de ellos.

- **Emisión de Metano:**
Cuando hablamos de emisión de metano, esta se produce por las siguientes principales fuentes en la agricultura:
 - Vegetales: que sirven de alimentación a los rumiantes. Se produce una fermentación entérica y produce metano.
 - Gestión de estiércol: el estiércol de los animales, en su gestión para usar como fertilizante del suelo, produce metano.
 - Cultivo del arroz: debido a las inundaciones que se producen, se generan emisiones de metano.
- **Emisión de Óxido Nitroso:**
Para hacernos una idea del peligro al que nos enfrentamos, tengamos en cuenta que el óxido nitroso (N_2O) es un gas de efecto invernadero unas 300 veces más potente que el dióxido de carbono. Este gas se produce por los siguientes aspectos:
 - Aplicación de fertilizantes (fertilizantes nitrogenados).
 - Gestión estiércol animal, que puede ser usado como fertilizante, y en el suelo, puede ser convertido en óxido nitroso por las bacterias.

- Producción de cultivos de secano: porque requieren de fertilizantes nitrogenados para favorecer su rendimiento, además de la práctica de la labranza, que puede aumentar las emisiones de óxido nitroso al exponer el suelo al oxígeno.

6.1.3. Temperatura y precipitaciones

En primer lugar, el calentamiento global se ve acrecentado debido a que los gases de efecto invernadero absorben y retienen el calor en la atmósfera. Como consecuencia, pueden producirse cambios en los patrones climáticos, incluidos cambios en las temperaturas y en las precipitaciones.

En segundo lugar, se puede decir que la agricultura requiere de la deforestación para disponer de tierras en las que producir. Esto también provocará modificaciones en las temperaturas y precipitaciones, ya que los árboles intervienen en la regulación climática, absorbiendo dióxido de carbono y liberando oxígeno en la atmósfera.

Por último, el cambio del uso de la tierra derivado de la agricultura influye en la capacidad de la tierra para absorber y almacenar agua, lo cual afectará al clima. A esto contribuye también la erosión del suelo derivada de la alteración de la cobertura vegetal y el aumento de la escorrentía por las prácticas agrícolas.

6.1.4. Crecimiento poblacional

El crecimiento de la población lleva de la mano un crecimiento de la agricultura, ya que a medida que aumenta la población, aumenta la demanda de alimentos.

Por un lado, se puede hablar entonces de una intensificación agrícola, para incrementar la producción de alimentos en una unidad de tierra determinada. Por otro lado, tal y como hemos visto en los puntos anteriores, esto influirá en el comportamiento climático.

Y es que la esperanza de vida mundial ha estado aumentando desde la década de 1950. En 1950, la esperanza de vida mundial era de unos 45 años, mientras que, en 2023, la esperanza de vida mundial es de unos 73 años. Se espera que la esperanza de vida mundial siga aumentando en las próximas décadas y se estima que la esperanza de vida mundial sea de unos 77 años en 2050 y de unos 81 años en 2100.

En cuanto a la tasa de mortalidad mundial también ha estado disminuyendo desde la década de 1950. En 1950, la tasa de mortalidad mundial era de unas 20 muertes por cada 1.000 habitantes, mientras que, en 2023, la tasa de mortalidad mundial es de unas 8 muertes por cada 1.000 habitantes.

Si hablamos de la tasa de mortalidad mundial, se espera que siga disminuyendo en las próximas décadas. Se estima que la tasa de mortalidad mundial será de unas 7 muertes por cada 1.000 habitantes en 2050 y de unas 6 muertes por cada 1.000 habitantes en 2100.

Debemos este cambio de comportamiento gracias a factores como el desarrollo de la medicina o la mejora de las condiciones de vida.

6.2. Estudios analíticos existentes

La mayor parte de estudios que existen sobre los cultivos y el clima son descriptivos de la situación histórica y actual. En ellos es habitual la combinación del texto con gráficos que ayudan al entendimiento de los datos gracias a la visualización de los valores.

Estos estudios aportan conclusiones claras, que ya hemos abordado en el punto denominado “Resumen discusiones”, gracias a demostraciones descriptivas basándose en el análisis de los datos.

El uso de diagrama de barras (figura 4), gráficos de líneas (figura 5) y mapas de calor (figura 6) son recursos reiterados para abordar la temática que aquí se estudia.

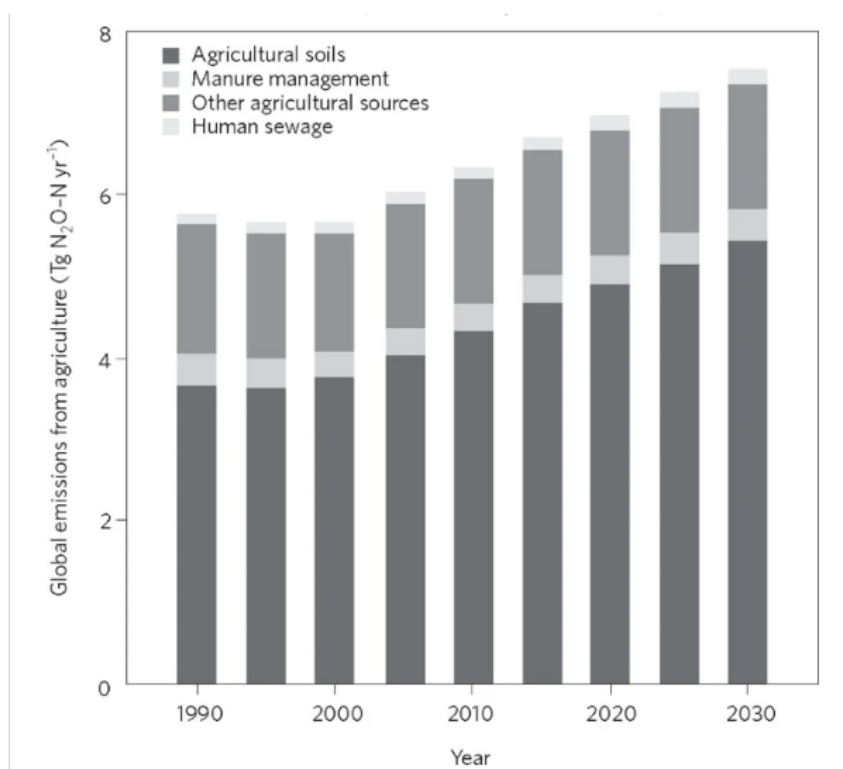


Figura 4. Gráfico de barras. Emisiones globales de N₂O procedentes de la agricultura entre 1990 y 2030 (Reay, Davidson, E., Smith, K. , & et al., 2012)

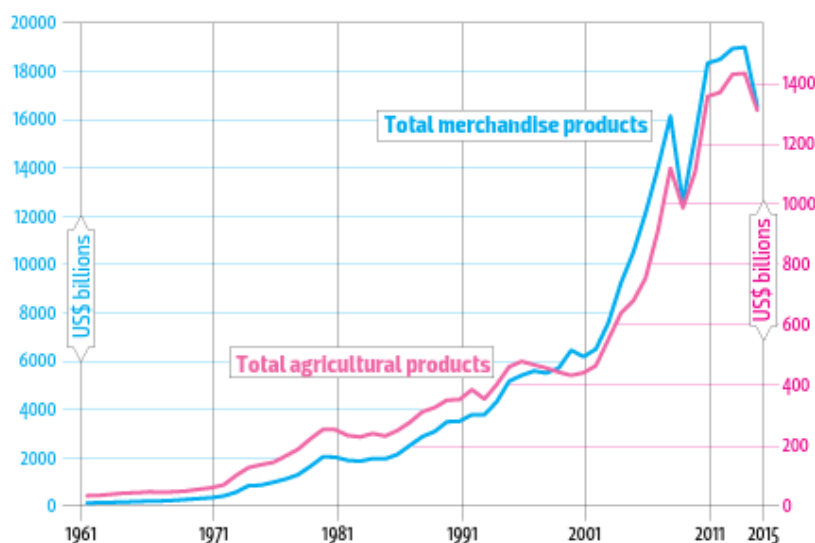
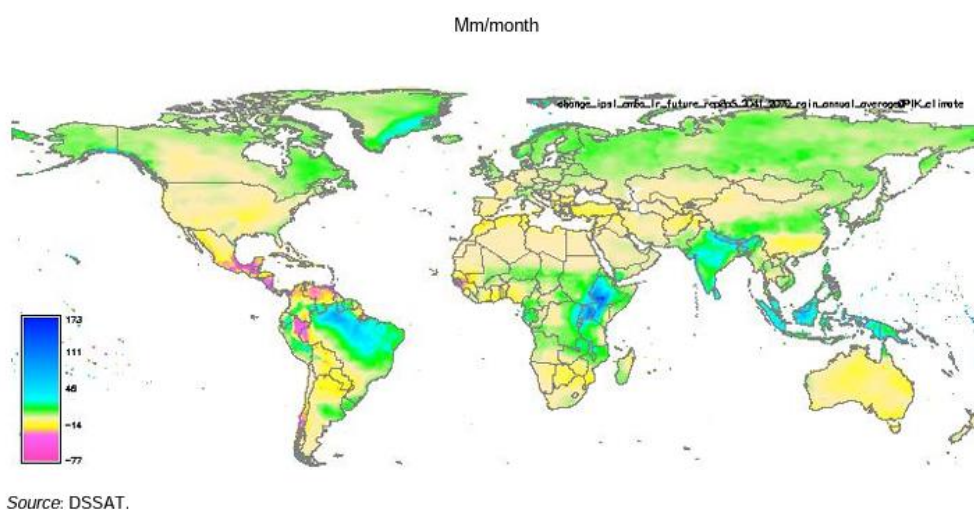


Figura 5. Volumen de mercado de agricultura y total internacional, 1961-2015. (Calicioglu, Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R., 2017)



Source: DSSAT.

Figura 6. Precipitaciones – cambios en las medias mensuales durante todo el año en comparación con el valor de referencia – modelo IPSL RCP8.5. (Ignaciuki & Mason-D'Croz, 2014)

También existen varios estudios, aunque aislados y sin relacionarse, sobre tendencias futuras del crecimiento de la temperatura, o el crecimiento de la población. Para ello, bien se representa la tendencia sobre una función lineal de predicción, o bien aplican algún método de cálculo para determinar valores en los años venideros, como por ejemplo ARIMA, The memory in memory (MIM) model y variational mode decomposition (VMD) (figura 7).

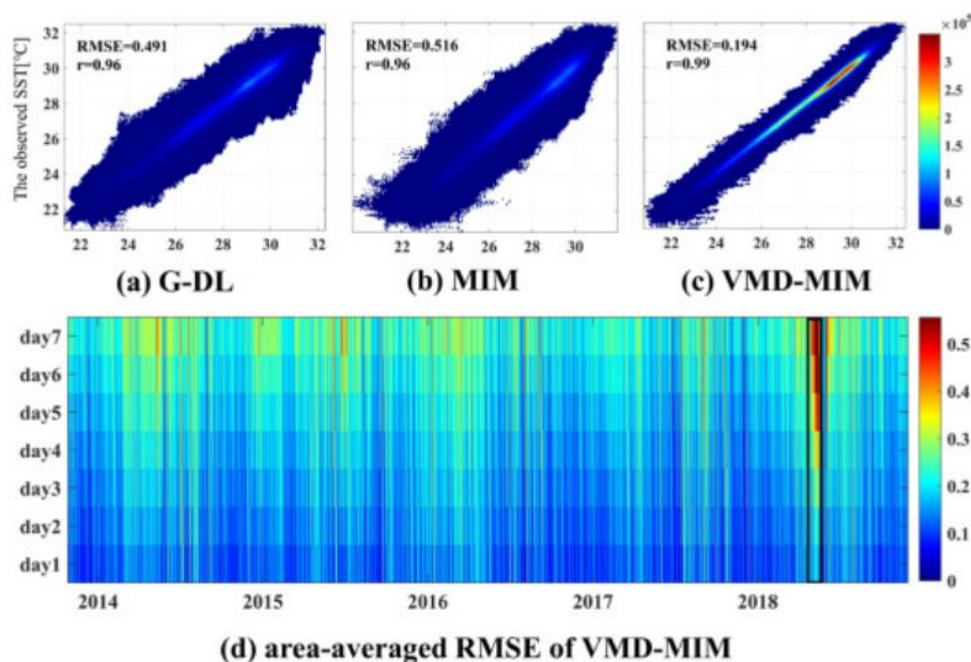


Figura 7. Ejemplo ARIMA en tendencia de temperaturas. (Shuang Xu, y otros, 2023)

6.3. Fuentes de datos

Gracias a la búsqueda de información, se contará con varias fuentes de datos fiables y contrastadas de las cuales se podrá hacer uso para el estudio que se llevará a cabo en este TFM. Se citan estas fuentes a continuación:

- Berkeley Earth. Url: <https://berkeleyearth.org/>

Berkeley Earth es una organización estadounidense, independiente, sin fines de lucro focalizada en la ciencia y en el análisis de datos ambientales.

- Grupo Banco Mundial. Url: <https://www.bancomundial.org/es/home>

Se trata de una organización compuesta de varias instituciones internacionales, en concreto: El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), La Asociación Internacional de Fomento (AIF), La Corporación Financiera Internacional (IFC), El Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones (MIGA) y El Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones (CIADI).

- Eurostat. Url: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>

Eurostat es una entidad que produce estadísticas europeas en asociación con institutos nacionales de estadística y otras autoridades nacionales de los Estados miembros de la UE. Esta asociación se conoce como Sistema Estadístico Europeo (SEE). También incluye las autoridades estadísticas de los países del Espacio Económico Europeo (EEE) y Suiza.

- Climate Change Knowledge Portal. Url: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>
El Portal de Conocimiento sobre el Cambio Climático (CCKP) facilita datos globales relacionados con el clima, las vulnerabilidades y los impactos históricos y futuros.
- Dryad. Url: <https://datadryad.org/stash>
Dryad es una plataforma “open data” sobre datos útiles para investigación en varios ámbitos. Está conformada por varias instituciones académicas y de investigación.
- OECD. Url: <https://www.oecd.org/>
OCDE son las siglas de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Es una organización internacional que se esfuerza por construir políticas para mejorar la vida de las personas.

6.4. Enfoque y herramientas tecnológicas

Según el enfoque que se quería abordar inicialmente en este TFM, haciendo una búsqueda exhaustiva y profunda sobre estudios que tratan el mismo tema, se observa que la línea de trabajo a seguir es la correcta.

Desde un principio se pretende establecer patrones de comportamiento relacionando distintas variables sobre el clima y los cultivos que parecen tener alguna dependencia entre ellas.

Incluso, acertadamente hay intención de predecir valores futuros sobre el comportamiento de algunos aspectos que según hemos comprobado sería interesante conocer para una mejor gestión de los recursos en La Tierra, así como para mejorar la calidad de vida del ser humano.

En cuanto a los métodos, así como a las herramientas tecnológicas que se proponen, son similares a las utilizadas por algunos de los estudios que aquí se han descubierto.

Comenzar con una descripción de la situación, tanto histórica como actual, analizándola a la vez que representándola gráficamente, es una tónica común en la temática del presente TFM. La predicción de datos se podrá aplicar para evidenciar hacia dónde nos dirigimos. Y finalmente, las conclusiones extraídas del estudio servirán para entender cómo habrá que actuar si queremos mejorar el futuro.

Por último, hay que indicar que este desarrollo se podrá llevar a cabo usando el software que ya se había elegido. Microsoft Word, Lenguaje R, Power BI.

7. La CCEG y los ODS

La competencia de compromiso ético y global (CCEG) queda definida en el máster al que corresponde este trabajo final como:

“Actuar de manera honesta, ética, sostenible, socialmente responsable y respetuosa con los derechos humanos y la diversidad, tanto en la práctica académica como en la profesional, y diseñar soluciones para mejorar estas prácticas.”

En el tema que aquí se aborda podría encuadrarse en los siguientes ODS que se visualizan y que se detallan a continuación.

7.1. Sostenibilidad

✓ **ODS 7 - Energía asequible y no contaminante:**

Con los datos aquí trabajados sobre precipitaciones y temperaturas, podríamos aportar conclusiones sobre las posibilidades potenciales de generación de energía renovable que evitarían emitir gases de efecto invernadero (por ejemplo, la solar).

Se podría estudiar la cantidad de energía solar que podría generarse a partir de las altas temperaturas, por ejemplo, y los días de no lluvia.

✓ **ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura:**

Las emisiones estudiadas, así como el uso de fertilizantes, y la extensión de tierra cultivada será información útil para evaluar el impacto de la agricultura y la industria en el medio ambiente.

Esto ayudará a decidir optar por tecnologías más limpias y eficientes, así como promover nuevos y modernas técnicas tanto para el cultivo de tierras como para la captación de agua.

✓ **ODS 11 - Ciudades y comunidades sostenibles:**

La urbanización que se está produciendo puede ser evidenciada mediante datos de población y uso de fertilizantes, lo cual nos llevará a valorar el desarrollo de ciudades sostenibles que será posible gracias al estudio de los valores observados.

Se podrán tomar decisiones sobre la urbanización y cómo se está produciendo esta para que afecte lo menos posible al medio ambiente.

✓ **ODS 12 - Producción y consumo responsables:**

Se podrá valorar el modelo de producción y consumo mediante el estudio de datos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de fertilizantes que hay a lo largo de los años.

Conociendo cuál es la tendencia de comportamiento se podrían proponer mejoras para llegar a conseguir modelos responsables de producción y consumo.

✓ **ODS 13 - Acción climática:**

La información referente al clima, como las temperaturas o las precipitaciones, servirán de guía para medir el impacto del cambio climático y las políticas que se están aplicando.

Se podrá analizar la situación estimada, concluyendo si es la adecuada o no, y en este último caso, intentar adoptar medidas que hagan que los modelos de predicción arrojen datos más coherentes.

✓ **ODS 14 - Vida submarina:**

Con datos de lluvia y temperatura se podría medir el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos.

Se podrían usar los datos de lluvia para conocer los cambios en los niveles del mar, así como los datos de temperatura para estimar cambios que pueden producirse en la temperatura del mismo.

✓ **ODS 15 - Vida en la tierra:**

Todos los datos aquí abordados están relacionados sobre todo con la vida en la tierra. Serían útiles para abordar el impacto de las acciones humanas en los ecosistemas terrestres.

7.2. Comportamiento ético y responsabilidad social (RS)

✓ **ODS 1 – Fin de la pobreza:**

La información que aquí abordamos nos muestra el crecimiento poblacional, inundaciones posibles, contaminación que se puede producir en el agua por el uso de fertilizantes y cuál sería el escenario futuro sobre el riesgo de pobreza.

✓ **ODS 2 – Hambre cero:**

De manera análoga al ODS 1, se puede tratar la inseguridad alimentaria debido a condiciones climatológicas adversas. Se corre el riesgo de destruir cultivos, sobre

todo en zonas no tan “tecnológicamente” avanzadas y con menos desarrollo económico.

Si se habla de las comunicaciones, también puede que los desastres naturales impidan la llegada de alimento a las zonas más desfavorecidas de nuestro planeta.

✓ **ODS 6 – Agua limpia y saneamiento:**

Según los valores de uso de fertilizantes se puede detectar si hay mayor riesgo de contaminación del agua. Además, la gestión de los recursos hídricos estará íntimamente relacionada con los datos de precipitaciones.

✓ **ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico:**

Podría abordarse la problemática de las condiciones del trabajo en la agricultura, ya que cada vez habrá más exposición a productos químicos.

✓ **ODS 16 – Paz, justicia e instituciones sólidas:**

Se puede notar en la información estudiada cambios en el comportamiento de la población que nos alerten sobre posibles conflictos que pueden surgir y que serán un reto por superar para el desarrollo sostenible.

7.3. Diversidad (género entre otros) y derechos humanos

✓ **ODS 10 – Reducción de las desigualdades:**

La vulnerabilidad del cambio climático será inevitable para los grupos más pobres, que contarán con recursos más limitados, tanto para la adaptación al mismo como para la recuperación ante los desastres naturales a los cuales puedan verse sometidos por grandes sequías o lluvias torrenciales.

✓ **ODS 5 – Igualdad de género:**

La agricultura, que cada vez juega un papel más fundamental en la economía de muchos países por ser cada vez más necesaria gran cantidad de alimentos, es una industria dominada por hombres actualmente. Los datos que aquí se manejan, podrían usarse para establecer qué oportunidades laborales existirán en la agricultura, e intentar insertar a la mujer en un mercado en crecimiento, para que no haya discrepancias de género.

Además, tengamos en cuenta que cada vez son más comunes las catástrofes naturales producidas por el cambio climático, lo cual puede provocar situaciones de

menos seguras, con escasez de recursos y servicios, y esto generaría situaciones de más violencia, ya que sería más complicado amparar la protección a los más vulnerables, que desgraciadamente aún en nuestro siglo, en la mayoría de culturas, sigue siendo la mujer.

8. Datos y variables a estudiar

En las fuentes de datos elegidas se encuentra disponibilidad variada en cuanto a variables y a años de datos registrados. Es por ello, que para el estudio de algunos datasets se han tenido en cuenta periodos distintos.

Para un estudio inicial de la variación en las temperaturas anómalas registradas en la Tierra, por ejemplo, se ha contado con valores desde el año 1850 hasta el 2023.

Sin embargo, la mayoría de los datos están disponibles para el periodo que abarca los años desde el 1990 hasta el 2023. Por lo tanto, para dotar de homogeneidad al estudio y a la representación se ha optado por visualizar, en el informe de Power BI aquí realizado una línea temporal común donde aparece precisamente este periodo.

Para la predicción de datos, se ha decidido extraer valores hasta el año 2050, ya que es un horizonte bastante usado como punto de referencia para la consecución de medidas, tanto europeas como mundiales.

Se puede mencionar la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, que establecen una serie de metas para 2030, aunque reconocen que algunas que necesitarán más tiempo para lograrse. El ODS 13, por ejemplo, referente a la acción por el clima, establece el objetivo de "lograr un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero y la capacidad de la biosfera para absorberlos" en el año 2050.

También se puede hablar del Pacto Verde Europeo, que fija una serie de objetivos para el 2050, como la neutralidad climática, el uso de energías renovables y la reducción de la contaminación.

En cuanto a las zonas geográficas a las que corresponden los valores estudiados, la mayoría apuntan a nivel mundial, sin embargo, para el estudio de precipitaciones, se ha decidido escoger algunos países de manera que fueran representativos de lugares distintos de la Tierra. Esto es porque los datos disponibles venían registrados para cada uno de los países existentes, y se necesitaba elegir algunos determinados para que fuera posible el estudio en un tiempo razonable de implementación.

En referencia a las variables, las escogidas son aquellas que arrojan la información que se pretendía analizar y predecir, sobre todo en relación con el estado del arte y con el propósito de este TFM. Estas variables son las siguientes:

- **Emisiones de gases** medidas en mil toneladas métricas de equivalente de CO₂. Los gases elegidos han sido el óxido nitroso (N₂O) y el Metano (CH₄).
- **Uso de fertilizantes** medido en miles de toneladas de nutrientes. Los fertilizantes elegidos han sido los Potásicos (K₂O), los Nitrogenados (N) y los Fosfatados (P₂O₅).
- **Anomalía de Temperatura de la Tierra**, medida en grados Celsius (°C), y usando como referencia la temperatura media global de la Tierra durante el período 1880-1899, ya que hemos usado el indicador Global Average Temperature Anomaly (GAT) de Berkeley Earth.
- **Población**, medida en cantidad de personas.
- **Extensión de tierra cultivada**, medida en kilómetros cuadrados (sq. Km).
- **Precipitaciones**, medidas en litros por metro cuadrado, es decir, milímetros (mm).

9. Predicción de variables

Aunque se ha intentado introducir todas las variables aquí estudiadas para que intervinieran en la deducción de la temperatura de los próximos años, era de esperar, tras el estudio de las variables, que no fuera posible, ya que se ha observado una fuerte correlación entre todas ellas, presentándose entonces un escenario de multicolinealidad entre las variables predictoras.

Por ello, se ha trabajado en el método de predicción de valores con una variable en cada caso, calculando los valores esperados en el futuro para cada una de ellas.

Para los métodos de predicción usados se ha llevado a cabo un estudio pormenorizado de sus parámetros correspondientes para conocer en todo momento si se estaba realizando un buen ajuste.

En esta memoria se resumen los modelos aplicados. Si se quieren revisar con detalle los mismos, habría que consultar el notebook de este TFM donde se ha desarrollado el código en R con todos los pasos necesarios.

Además, si se quisieran visualizar los resultados, estos vendrán reflejados de manera más amigable en el informe de Power BI que pertenece a este TFM.

9.1. Regresión lineal

Tal y como se observa en el análisis realizado en este TFM, el comportamiento de todas las variables aquí estudiadas puede explicarse mediante un modelo de regresión lineal, que

además es creciente en todos los casos según se concluye. Si bien es cierto que algunas se ajustan mucho mejor que otras a la recta correspondiente, todas presentan un buen ajuste ante la aplicación de este modelo.

Incluso, se ha comprobado que las variables están fuertemente relacionadas en cuanto a su tendencia en el comportamiento, lo cual ya se adelantaba al hablar de la multicolinealidad (figura 8). Por lo tanto, los datos tenderán a crecer de manera conjunta, aunque cada variable a su ritmo correspondiente, según sus pendientes obtenidas.

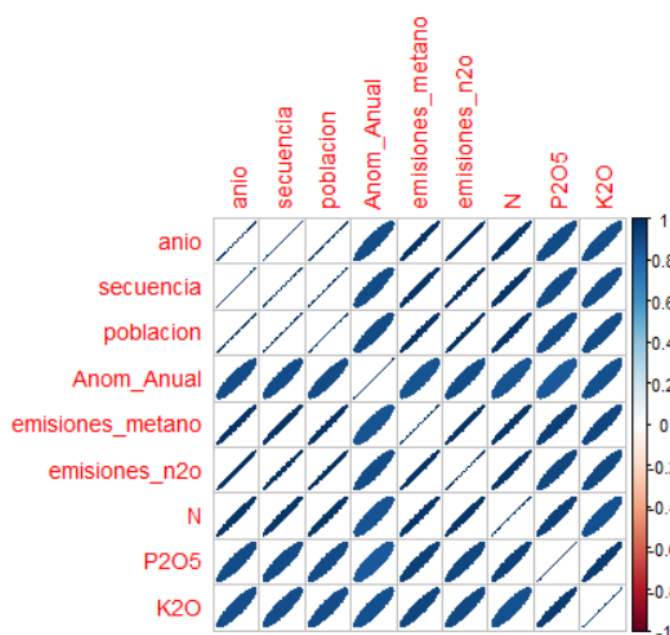


Figura 8. Matriz de correlación de las variables estudiadas.

Se ha ido aplicando para cada variable la correspondiente regresión lineal, y se han obtenido los resultados de valores predichos hasta el año 2050 (figura 9).

	anio	poblacion	Anom_Anual	emisiones_metano	N	K2O	P2O5	emisiones_n2o	tipo
18	2037	9246628014	1.381187	9558968	135823.7	46026.49	56105.78	3516294	pred
19	2038	9330578683	1.402403	9623061	137191.6	46619.10	56680.05	3543829	pred
20	2039	9414529352	1.423619	9687154	138559.6	47211.70	57254.31	3571365	pred
21	2040	9498480020	1.444835	9751247	139927.5	47804.31	57828.57	3598901	pred
22	2041	9582430689	1.466051	9815340	141295.5	48396.91	58402.84	3626436	pred
23	2042	9666381358	1.487267	9879433	142663.4	48989.52	58977.10	3653972	pred
24	2043	9750332027	1.508483	9943526	144031.3	49582.12	59551.37	3681508	pred
25	2044	9834282696	1.529699	10007619	145399.3	50174.73	60125.63	3709043	pred
26	2045	9918233365	1.550915	10071712	146767.2	50767.33	60699.89	3736579	pred
27	2046	10002184034	1.572131	10135805	148135.2	51359.94	61274.16	3764115	pred
28	2047	10086134703	1.593347	10199898	149503.1	51952.54	61848.42	3791651	pred
29	2048	10170085372	1.614563	10263991	150871.1	52545.15	62422.68	3819186	pred
30	2049	10254036041	1.635779	10328084	152239.0	53137.75	62996.95	3846722	pred
31	2050	10337986709	1.656995	10392177	153606.9	53730.36	63571.21	3874258	pred

Showing 18 to 31 of 31 entries, 9 total columns

Figura 9. Visualización tabla resultado de valores predichos según regresiones lineales aplicadas a cada variable.

9.2. Random Forest

Random Forest ha sido uno de los modelos de predicción usado para el cálculo de temperaturas en los años futuros.

Una de las causas que ha llevado a elegir este modelo es su capacidad para realizar predicción a largo plazo, ya que se esperaban resultados para varios años posteriores.

Otro motivo ha sido que, aunque la evolución de temperaturas pudiera ajustarse a un patrón lineal creciente, es cierto que en algunos tramos de los datos históricos puede no detectarse una relación completamente lineal, y este algoritmo precisamente es capaz de capturar estas relaciones no lineales para obtener más precisión en las predicciones.

De manera análoga a los otros modelos usados, se han calculado los parámetros idóneos para poder evaluar su aplicación.

- MSE (error cuadrático medio) bajo.
- Coeficiente de determinación alto.
- No hay indicativo de sobreajuste, porque el error en el conjunto de prueba es más alto que en el conjunto de entrenamiento.
- Se han modificado los hiperparámetros, si bien, se han ido obteniendo los mismos resultados.

Se ha comprobado una coincidencia entre los valores existentes y los predichos para esos mismos años (figura 10).

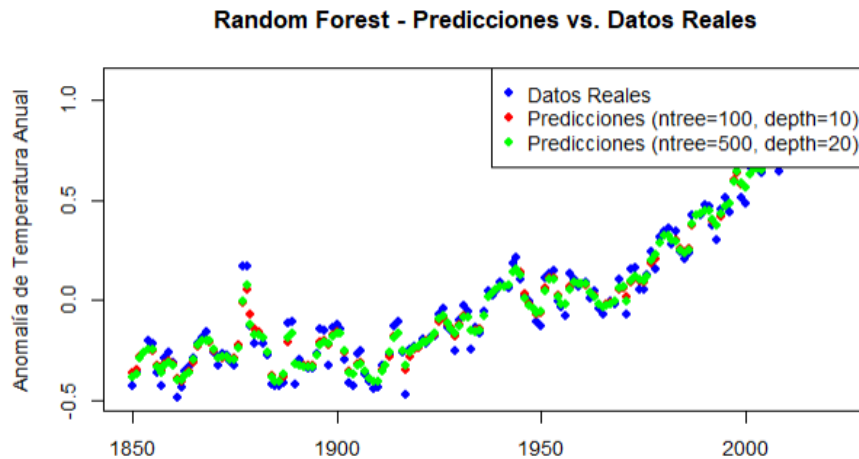


Figura 10. Gráfico resultados aplicación modelo Random Forest. Datos reales vs predicciones para los mismos años.

Sin embargo, la variable predictora utilizada ha sido la propia temperatura, con lo cual, han aparecido problemas que han hecho que no se represente la tendencia creciente en los valores estimados para el futuro de las temperaturas. Esto es porque, al usar la misma variable de la que obtendremos los resultados como variable predictora, la precisión del modelo se puede ver bastante disminuida (figura 11).

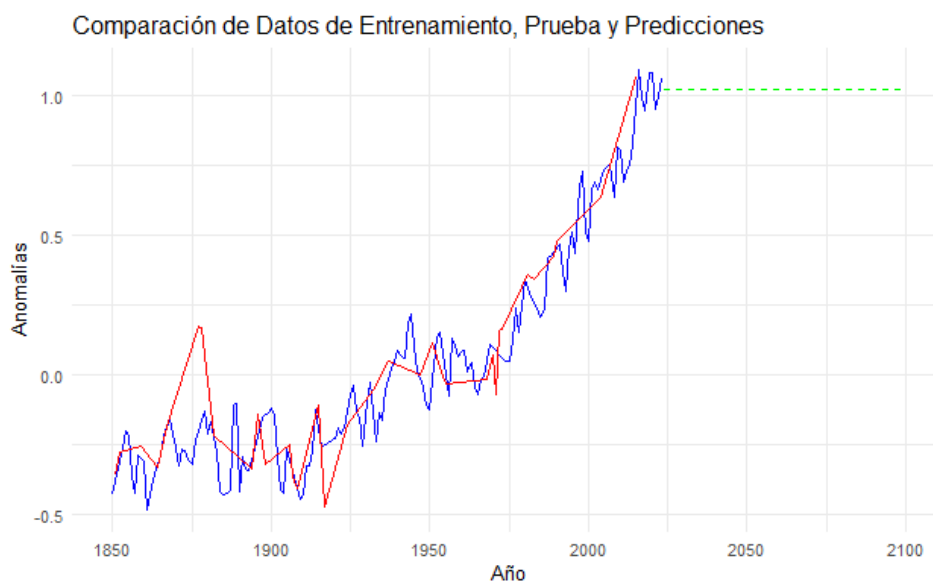


Figura 11. Comparación datos de entrenamiento, prueba y predicciones en la aplicación del modelo Random Forest.

Por lo tanto, este modelo finalmente no ha resultado ser representativo de la realidad tal y como se ha aplicado.

Podría probarse a realizar la estimación usando otras variables disponibles, como por ejemplo, las emisiones de ciertos gases o la utilización de fertilizantes, que influyen en los aumentos de la temperatura de la tierra.

9.3. ARIMA

Otro modelo de predicción utilizado, ha sido el ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) para el cálculo de la variable “Anomalía de Temperatura Anual”.

Este método se ha escogido porque se había observado su aplicación en algunos de los estudios descubiertos durante el “estado del arte” del presente TFM. Por supuesto, también se ha elegido debido a la idoneidad de su aplicación para el caso que aquí estudiamos, ya que este modelo se usa para predecir valores futuros de una variable que presenta una tendencia creciente o decreciente.

Aunque en este caso no se ha tenido en cuenta para aplicar ARIMA su característica de ser modelo robusto (ya que no se encuentran outliers en los datos), otro de los factores que ha conducido a la aplicación de este algoritmo es que es relativamente sencillo de implementar y extraer valores futuros.

En este modelo se puede hablar de tres componentes principales que se explican a continuación:

- Que se trata de un modelo autorregresivo (AR) implica que los valores pasados de la variable influyen en los valores futuros.
- Que sea integrado (I), significa que la variable se ha diferenciado una o más veces para eliminar la tendencia (calcular la diferencia entre valores consecutivos de la variable) de tal forma que el modelo pueda predecir los valores futuros de la variable de manera más precisa y para asegurarse de que la variable es estacionaria (es decir, su media, varianza y autocorrelación no varían con el tiempo).
- Por último, que use medias móviles (MA) hace que los valores pasados de los errores de predicción influyen en los valores futuros de la predicción.

Y precisamente por cada una de las componentes explicadas, ARIMA suele ser muy eficaz para predecir series temporales.

Así, en la aplicación de este algoritmo se han realizado una serie de pasos previos necesarios para lograr los mejores resultados, como el orden de los datos crecientemente según año, así como convertir el data frame a una serie temporal.

Se han ido estudiando los parámetros concretos que han indicado en todo momento la bondad del ajuste que se había realizado. Por ejemplo, tras haber calculado los residuos, se han graficado contra los valores ajustados (figura 12).

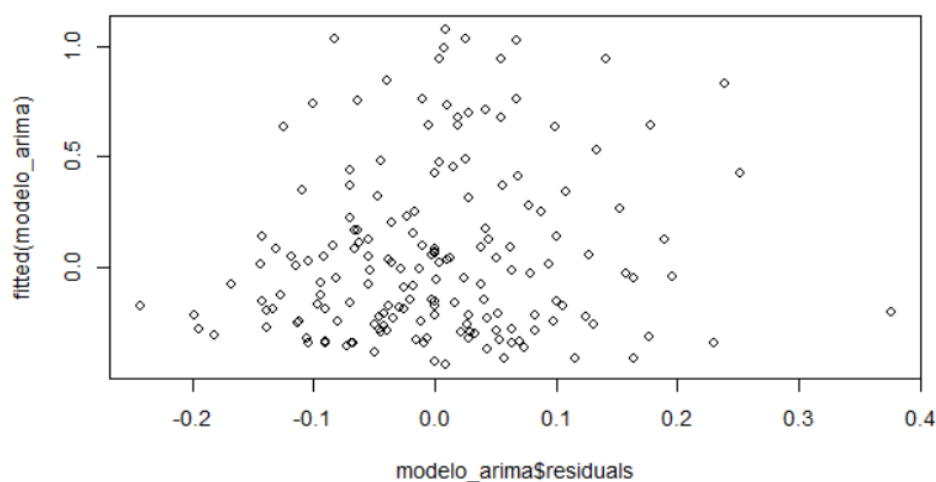


Figura 12. Gráfica de los residuos contra los valores ajustados en la aplicación del modelo ARIMA.

Finalmente, se han obtenido valores para los próximos años, llegando hasta el 2100 el cálculo realizado en el código desarrollado (figura 13).

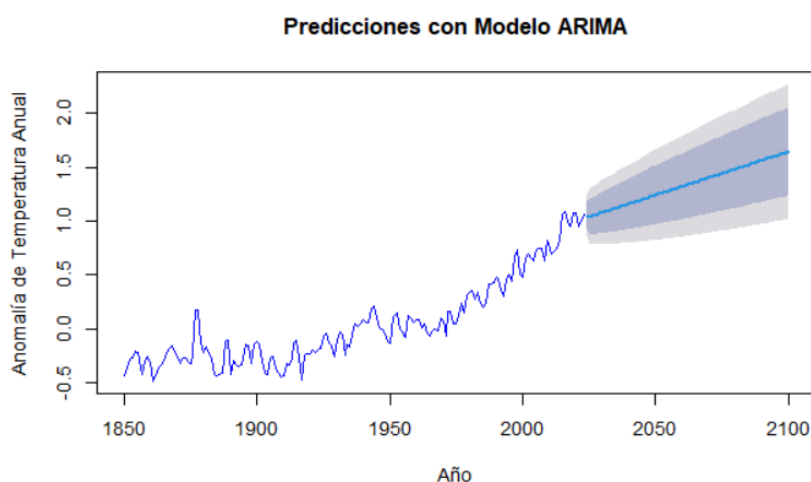


Figura 13. Predicción datos de temperatura aplicando modelo ARIMA.

10. Conclusiones y acciones futuras propuestas

Tras haber realizado el estudio correspondiente a los datos analizados en este TFM, y usando la información adquirida durante el estado del arte, se concluyen numerosos comportamientos que desarrollaremos en este punto.

10.1. Precipitaciones

Una de las conclusiones más llamativas, quizás por la idea que se está generando durante los últimos años sobre la sequía y la falta de lluvia. Y es que en verdad se comprueba aquí que no existe falta de lluvia como tal, ya que no hay variaciones a penas en cuanto a la cantidad de agua que se recibe en los países estudiados (figura 14).

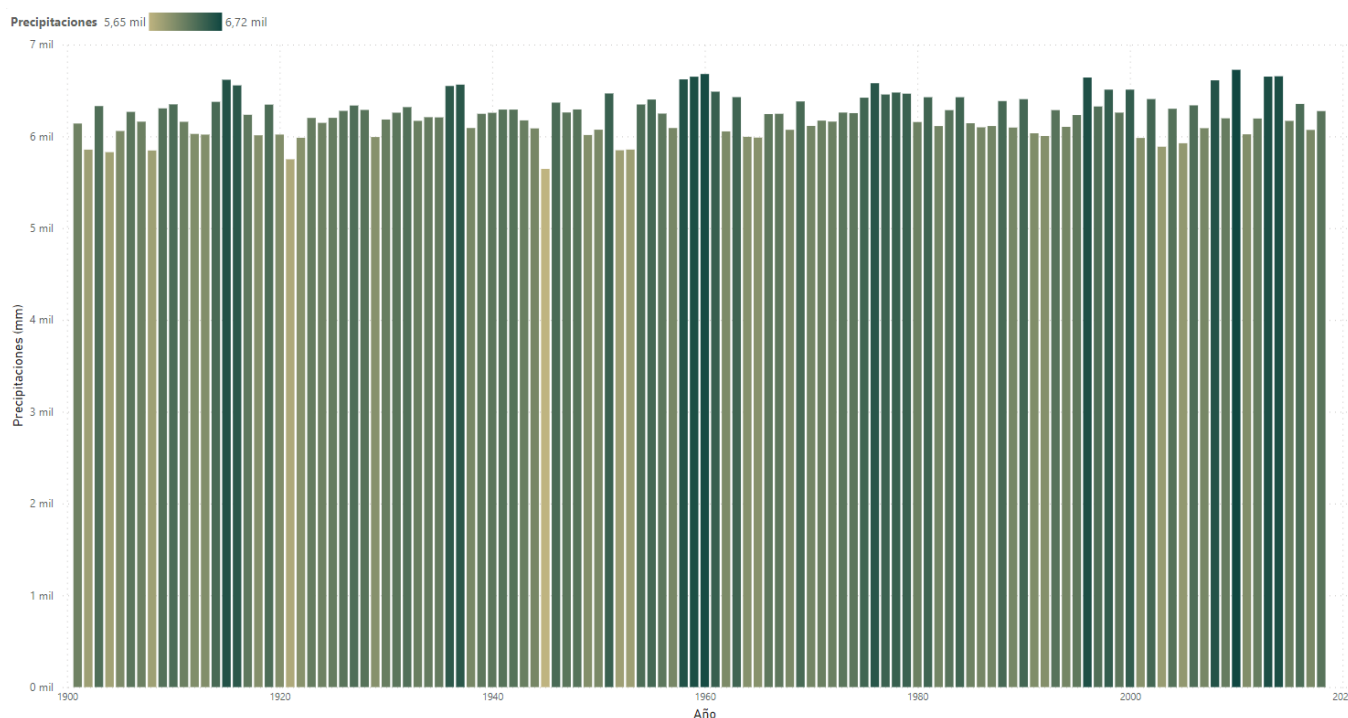


Figura 14. Precipitaciones (mm) totales anuales para los países estudiados.

Sin embargo, el cambio climático está teniendo impacto en el comportamiento de las precipitaciones, sobre todo, en lo relacionado a la intensidad, duración y estacionalidad. Las lluvias están siendo más intensas y concentradas en el tiempo. Hay entonces más predisposición a la ocurrencia de lluvias torrenciales que pueden causar inundaciones y daños.

En Reino Unido, por ejemplo, para el mes de febrero, se observa incluso un aumento de los picos altos de cantidad de precipitaciones (figura 15). Ocurre lo mismo con EE. UU. (figura

16). También en España, en marzo de las últimas décadas es cuando se visualizan los picos más altos de cantidad de lluvia (figura 17).

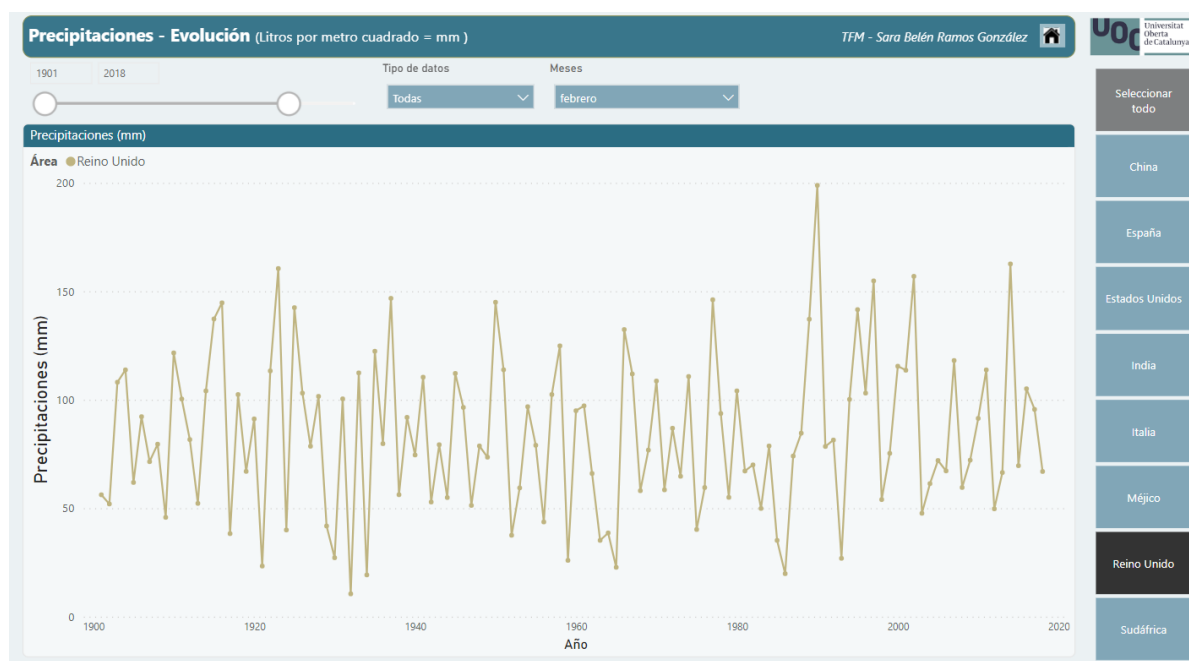


Figura 15. Precipitaciones (mm) en Reino Unido para el mes de febrero a lo largo de los años.

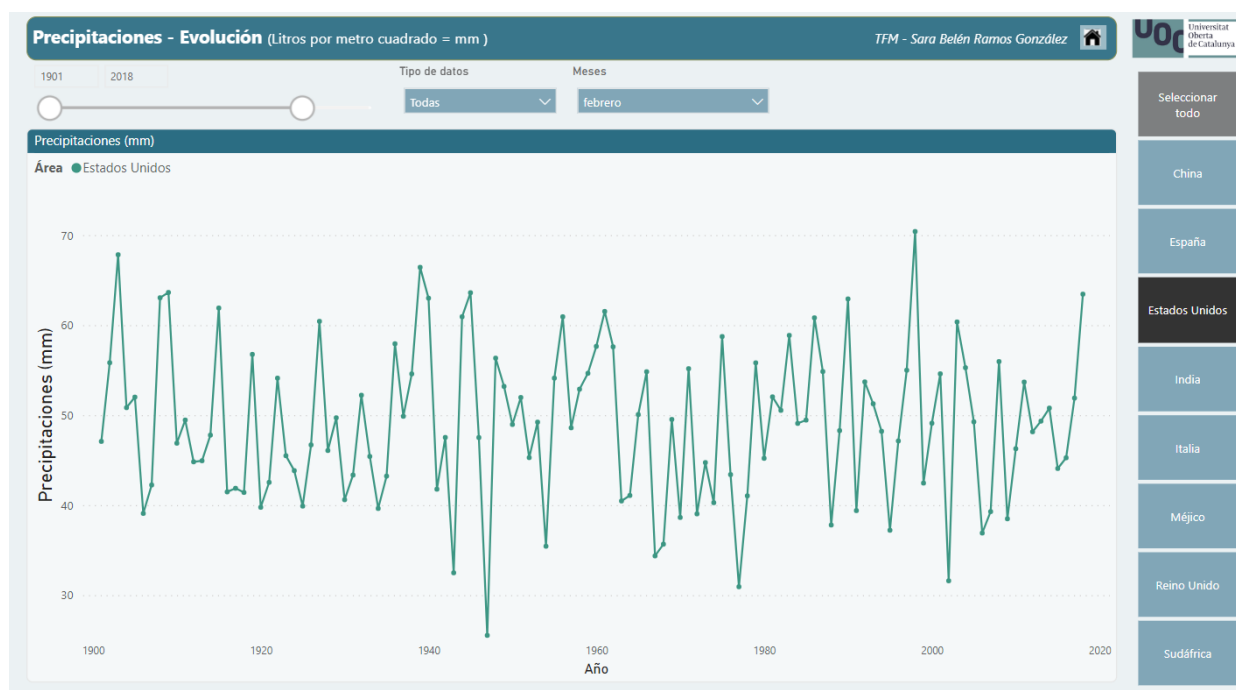


Figura 16. Precipitaciones (mm) en Estados Unidos para el mes de febrero a lo largo de los años.

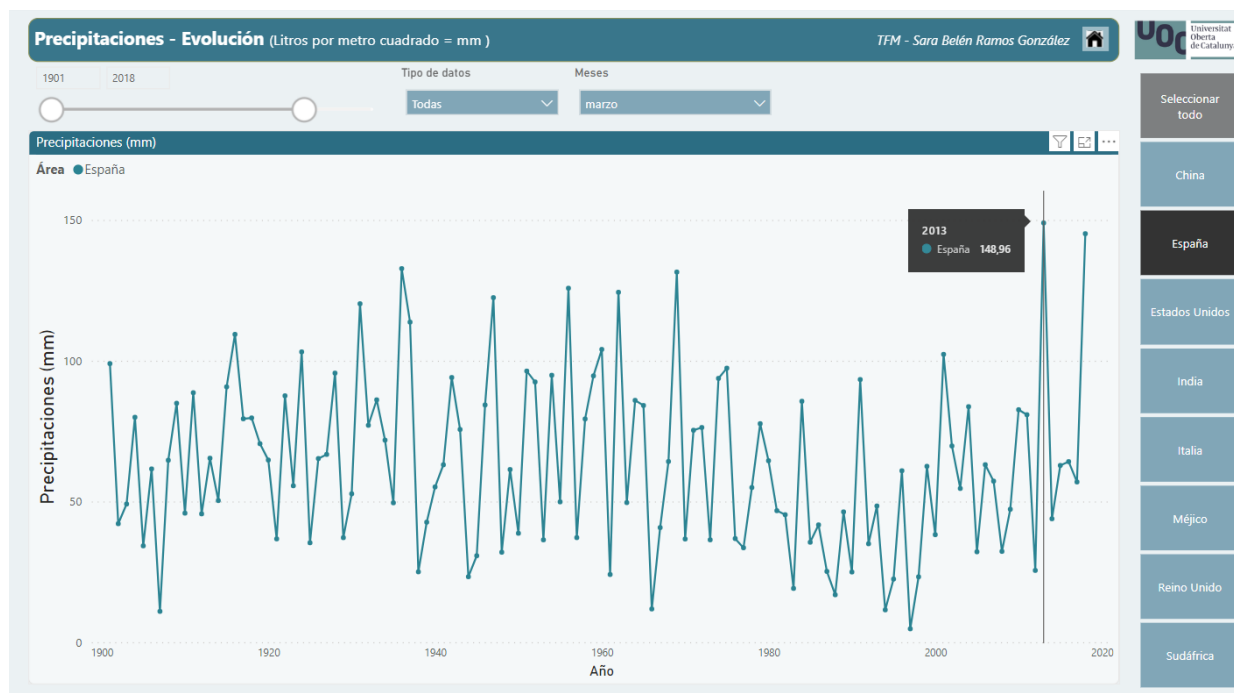


Figura 17. Precipitaciones (mm) en España para el mes de marzo a lo largo de los años.

Los bosques están siendo talados para destinar el uso de la tierra a la agricultura, y está demostrado que afecta al comportamiento climático, sobre todo en la producción y regulación de las temperaturas, los vientos y las precipitaciones.

Estos cambios identificados tienen implicaciones importantes para la gestión del agua. Por lo tanto, habrá que prestar especial atención al comportamiento en cuanto a la intensidad y la duración de la lluvia. Se propone, en la medida de lo posible, intentar construir y adaptar infraestructuras para poder captar la mayor cantidad de agua posible y poder utilizarla. Gracias a ello se lograría reducir el riesgo de inundaciones y se garantizaría el suministro de agua en períodos de sequía.

Sería también una buena idea actuar sobre el uso de la tierra destinada a la agricultura, intentando revertir efectos mediante la reforestación.

Otra labor importante, será la educación y sensibilización ciudadana, para que entiendan los riesgos asociados a los cambios en el patrón de las precipitaciones, con lo que sería menor el impacto producido por las inundaciones y la escasez de agua.

10.2. Emisiones de gases y usos de fertilizantes

Se ha demostrado en numerosos estudios que la agricultura es responsable de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre los que destacan el Metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O)

En este estudio se observa cómo se ha producido un incremento constante en el uso de fertilizantes (tanto potásicos, como nitrogenados, así como fosfatados) que ha venido acompañado, consecuentemente, de un crecimiento de la emisión de gases (tanto óxido nitroso como de metano).

Además, los crecimientos de estas variables se intuyen acompasados en el gráfico que se visualiza (figura 18).

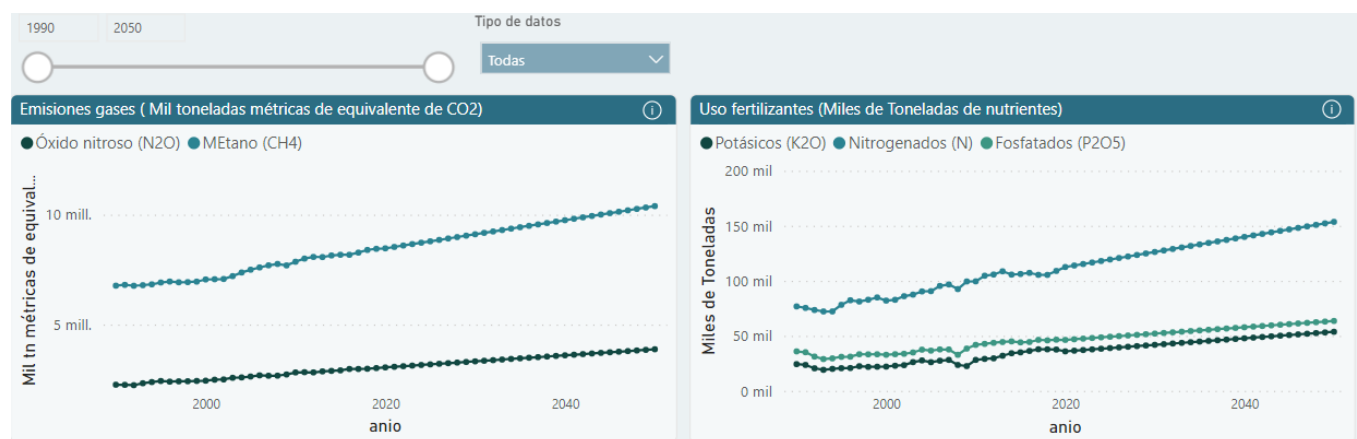


Figura 18. Evolución emisión de gases y uso de fertilizantes (derivados de la actividad agrícola).

Hay una clara tendencia al alza, que viene siendo casi constante desde los primeros años estudiados. Y se espera que continúe. Por lo tanto, habrá que modificar conductas de comportamiento adquiridas en el sector de la agricultura en la producción de alimentos si se espera un cambio de situación ante las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por el uso de fertilizantes.

10.3. Crecimiento poblacional

Se sabe que la población mundial ha estado creciendo a un ritmo acelerado desde el siglo XVIII. En este estudio, se evidencia el crecimiento de la población desde el año 1960 hasta nuestros días.

Aunque la tendencia del crecimiento poblacional está clara que es creciente, se evidencia cierta desaceleración en el ritmo de crecimiento (figura 19).

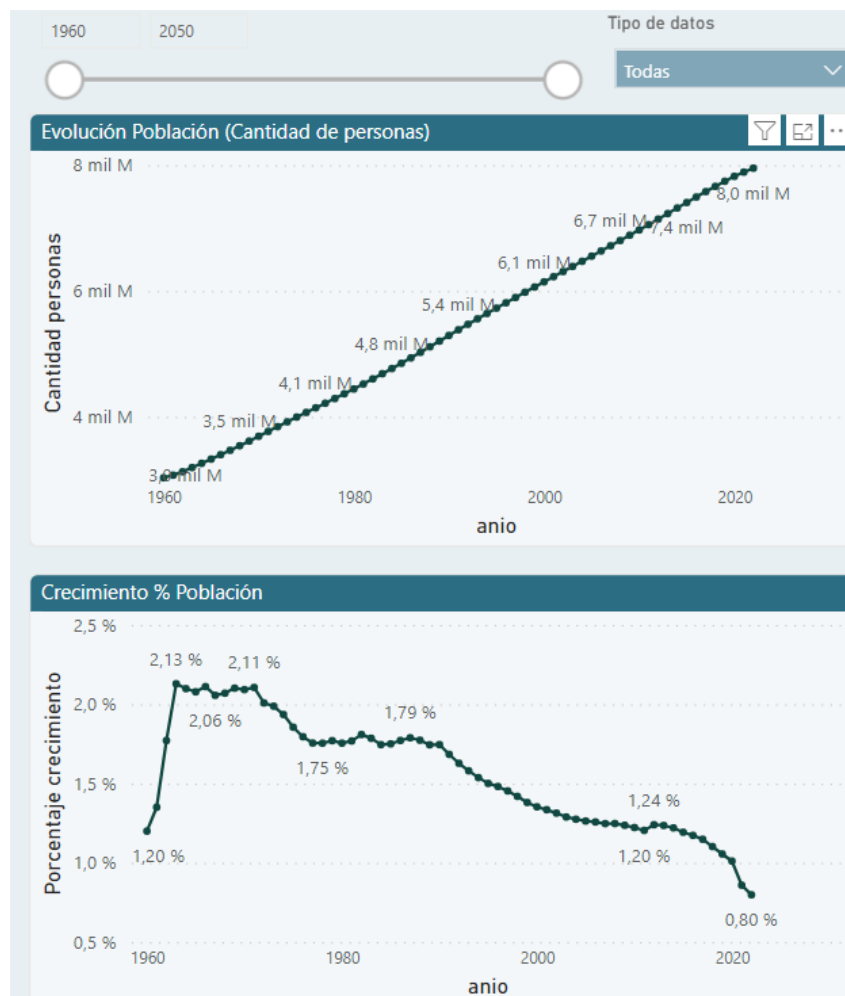


Figura 19. Evolución población (cantidad de personas) a lo largo de los años.

Por un lado, parece lógico el crecimiento puesto que la esperanza de vida mundial no deja de aumentar, y la tasa de mortalidad no deja de disminuir, tal y como se comentaba en el estado del arte.

Por otro lado, aunque la tasa de natalidad mundial tienda a disminuir según numerosos estudios, aún son bastantes los países subdesarrollados, donde la figura de la mujer sigue siendo la de una persona cuyo objetivo es meramente reproducirse y encargarse de la familia.

Los mejores mecanismos para poder llegar a controlar esta situación de crecimiento poblacional sería la educación, enseñando a las personas a tomar decisiones más informadas sobre el tamaño de su familia. También será importante el acceso a los servicios de salud, como los anticonceptivos, para ayudar a controlar su fertilidad.

Muy relacionado con la educación también estará el desarrollo económico, ya que la educación fomentará la ocupación de las mujeres en distintos ámbitos de la sociedad donde son igualmente válidas que los hombres, ayudándoles a salir de la pobreza, y con la consecuente disminución de la tasa de natalidad.

10.4. Extensión de tierra cultivada

Queda claro también el aumento poblacional que requiere una mayor producción de la agricultura, ya que, a más población, más demanda de alimentos. Y precisamente, son los fertilizantes los que capacitan a tierra de una mayor producción.

De hecho, esto queda evidenciado en la extensión de tierra cultivada ha disminuido lejos de aumentar, a pesar de que aumente la población (figura 20).

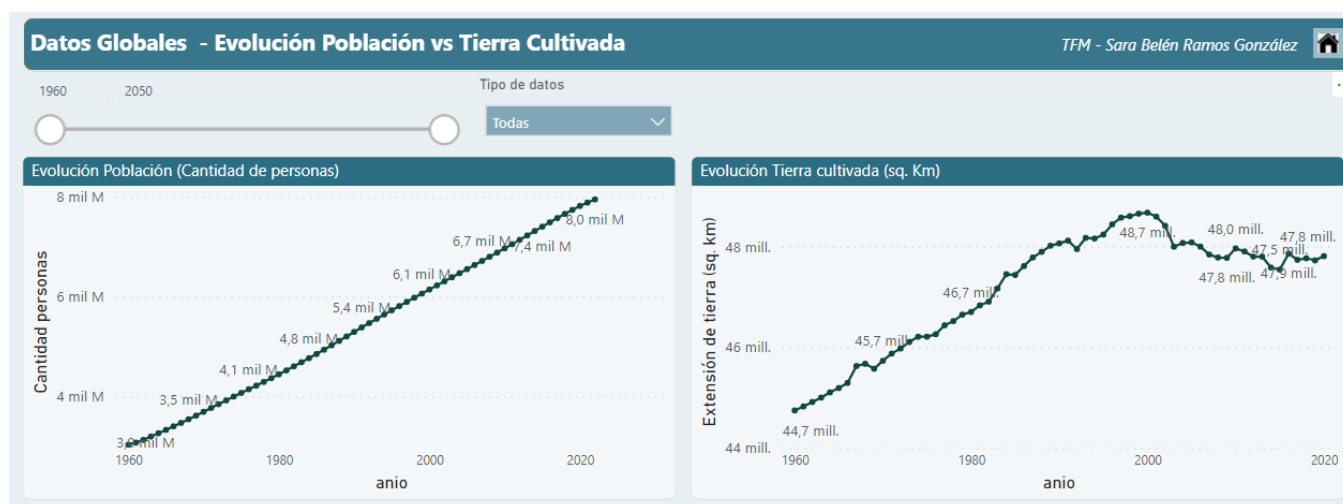


Figura 20. Evolución de población (cantidad de personas) y extensión de tierra cultivada (sq. km) a lo largo de los años.

Es la primera consecuencia del aumento incesante que se observaba anteriormente en el uso de fertilizantes con el fin de mejorar la productividad de los cultivos.

10.5. Temperatura

Hay numerosos estudios del año 2000 que concluyen que habrá un aumento de temperatura media mundial de entre 2°C y 3°C hasta el año 2050. En el TFM que aquí se desarrolla, se evidencia que la temperatura de la Tierra presenta una clara tendencia al alza, con una pendiente bastante pronunciada, y se denota un crecimiento a un ritmo muy alto a partir del año 1975 (figura 21).

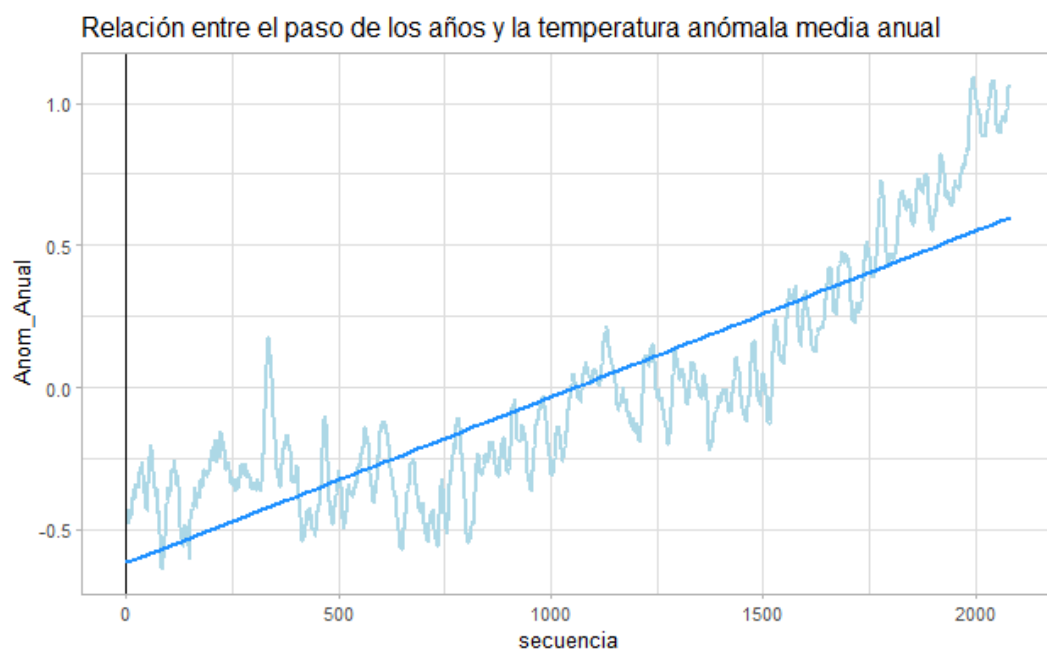


Figura 21. Relación entre el paso de los años (1850 - 2023) y la temperatura anómala media anual.

Además, se ha predicho que la temperatura de entre el año 2000 (anomalía registrada real de 0.48°C) y el año 2050 (anomalía predicha de 1.66°C) variará en más de 1°C de temperatura (figura 22).

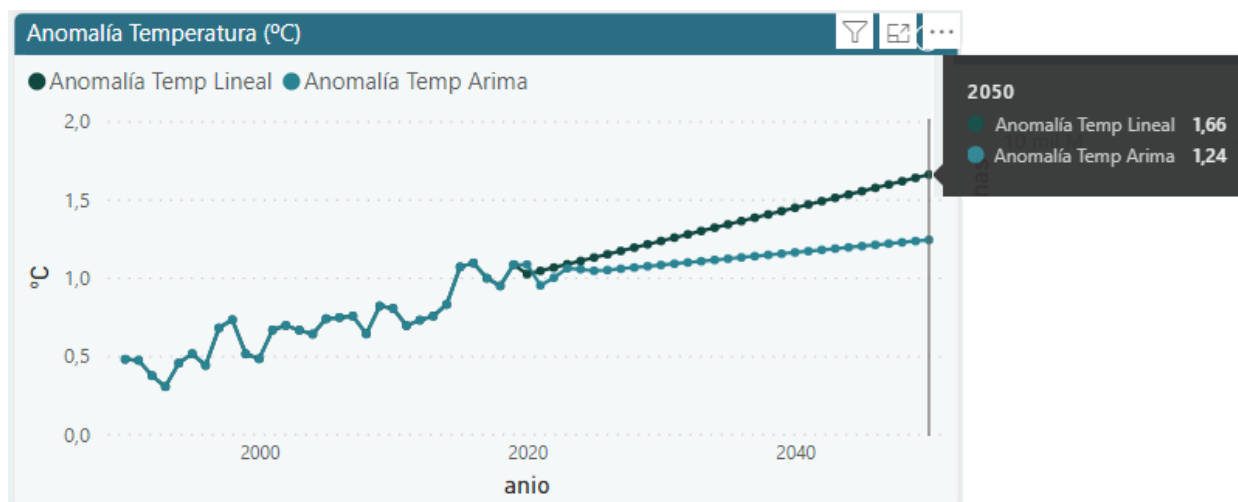


Figura 22. Anomalía Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) real y predicha. Años 1990 - 2050.

Está demostrado que la temperatura afecta a las precipitaciones y a la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, en consonancia con lo que se concluía en el apartado de precipitaciones.

Con el aumento de temperatura, además, se espera entonces que haya una modificación en el comportamiento del uso del suelo, ya que las zonas frías tienden cada vez a ser más cálidas; a la vez que las cálidas tienden igualmente a registrar temperaturas más altas. Por lo tanto, los cultivos verán aumentado su rendimiento en las zonas templadas, mientras de disminuirán en los trópicos.

De hecho, en el estudio aquí llevado a cabo, se denota un aumento considerable de temperatura en los meses más fríos del año, siendo marzo el mes que está experimentando mayor crecimiento de temperatura. En el top 5 se encuentran también los meses de diciembre, enero, febrero, abril. Por lo tanto, queda demostrado que tendemos a un cambio de clima en el que predominarán los días cálidos sobre los más fríos.

Las acciones para disminuir las temperaturas están relacionadas con todas las conclusiones que se han visto anteriormente, tal y como se han explicado.

10.6. Conclusiones globales

- ✓ Por causas antropogénicas, tales como el rápido crecimiento demográfico, la industrialización, y la forma de cultivar la tierra en el sector agrícola, se está produciendo una degradación ambiental creciente.
- ✓ La intensificación de la agricultura en los últimos años es una realidad. Las técnicas modernas han logrado aumentar la productividad de la tierra a través del uso de nuevas tecnologías, como la mecanización, la fertilización y el control de plagas. Esto ha permitido a los agricultores producir más alimentos con menos tierra.
- ✓ Aunque haya disminuido la extensión tierra cultivada, hay que atender a los métodos usados, ya que actualmente se obtienen más alimentos incluso con menos extensión de tierra dedicada a la agricultura a nivel mundial. De hecho, la producción mundial de alimentos ha aumentado un 70% desde 1961, mientras que la superficie agrícola ha aumentado solo un 12%. Hay una producción de más alimentos por unidad de tierra gracias a que con los nuevos métodos se obtienen mayores rendimientos.
- ✓ El uso de nuevas tecnologías también ha permitido a los agricultores cultivar en zonas que antes eran improductivas. Por ejemplo, el desarrollo de variedades de cultivos resistentes a la sequía ha permitido a los agricultores cultivar en zonas más secas.

- ✓ La mejora de las prácticas agrícolas también ha contribuido al aumento de la productividad. Por ejemplo, la rotación de cultivos ayuda a mantener la fertilidad del suelo y reduce la necesidad de fertilizantes.
- ✓ Aunque haya habido un aumento de población constante, la agricultura ha podido satisfacer la creciente demanda de alimentos adaptándose con las técnicas que se han mencionado.
- ✓ Sin embargo, no todo es positivo. Es importante señalar que la intensificación de la agricultura puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas ha quedado evidenciado en el estudio que aquí se desarrolla. Esto deriva en la emisión masiva de gases de efecto invernaderos como los estudiados en este TFM, provocando contaminación atmosférica.
- ✓ Estas emisiones de gases conducen a temperaturas más elevadas y modificaciones en el comportamiento de los vientos, así como de las precipitaciones. A su vez, estas modificaciones y cambios se influyen mutuamente, ocasionando alteraciones incontrolables en los patrones climáticos de nuestro Planeta.
- ✓ El aumento de la incertidumbre climática y la variabilidad hidrológica parece imparable. Será entonces de vital importancia, no sólo que la sociedad se adapte, sino encontrar formas de aumentar la productividad de la agricultura con técnicas sostenibles, estabilizar el crecimiento de la población en la medida de lo posible y conseguir recuperar nuestro Planeta Tierra evitando llegar a un punto de no retorno y en el que sólo quede opción al arrepentimiento.
- ✓ No hay que olvidar además que, las acciones que permitirán la reducción del impacto ambiental son complejas y hacen necesarias que todos los sectores y organismos de la sociedad participen y se impliquen tanto como así se requiera. Solo de esta forma será posible conseguir que el cambio sea efectivo y, sobre todo, real.

11. Bibliografía

- (s.f.). *Herramientas para elaborar tu trabajo final*. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Obtenido de <https://biblioteca.uoc.edu/export/sites/biblio/.galleries/documents/tabla-periodica-tfes.pdf>
- (s.f.). *¿Qué es un Trabajo Final en los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación?*. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Obtenido de <https://biblioteca.uoc.edu/es/estudiantes/supera-con-exito-las-actividades-y-los-trabajos-finales/haz-un-trabajo-final/index.html>
- (2007). "World Bank. 2007. *World Development Report 2008: Agriculture for Development*. World Bank, Washington, DC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10986/5990>
- (March 2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Switzerland. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Berkeley Earth*. (s.f.). Obtenido de <https://berkeleyearth.org/>
- Bloom, D. E., Canning, D., & Sevilla, J. (2012). The global fertility transition and its implications. *Nature*, 486(7401), 591-595. doi:10.1038/nature11060
- Bongaarts, J., Greenhalgh, S. C., & Bulatao, R. A. (2014). Global Fertility Declines in the 21st Century: Drivers, Consequences, and Policy Implications. *Population and Development Review*, 40(1), 1-45. doi:10.1111/j.1728-4457.2014.00681.x
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Climate Change Knowledge Portal*. (s.f.). Obtenido de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>
- Dryad*. (s.f.). Obtenido de <https://datadryad.org/stash>
- Eurostat*. (s.f.). Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>
- (2000–2021). *Food and Agriculture ORganization of the United Nations*. FAOSTAT Analytical Brief, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Obtenido de <https://www.fao.org/3/cc3751en/cc3751en.pdf>
- Grupo Banco Mundial*. (s.f.). Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/home>
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., & Lo, K. (14 de December de 2010). GLOBAL SURFACE TEMPERATURE CHANGE. *Reviews of Geophysics*, 48(4). doi:<https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Hartmann, A., & Niklaus, P. (05 de May de 2012). Effects of simulated drought and nitrogen fertilizer on plant productivity and nitrous oxide (N₂O) emissions of two pastures. *Plant Soil*(361), 411–426. doi:<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1248-x>
- Hartmann, A., Barnard, R., Marhan, S., & al., e. (08 de January de 2013). Effects of drought and N-fertilization on N cycling in two grassland soils. *Oecologia*(171), 705–717. doi:<https://doi.org/10.1007/s00442-012-2578-3>
- Ignaciuki, A., & Mason-D'Croz, D. (2014). Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*(70), 57. doi:<https://doi.org/10.1787/18156797>

- J, L., Cain M, D, F., & R, P. (2021). Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4. doi:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.518039>
- Lucjan Pawlowski, Z. L. (Ed.). (20 May 2020). *The Role of Agriculture in Climate Change Mitigation* (1st Edition ed.). London: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781003002734>
- Malerba, M. E., de Kluyver, T., Wright, N., Schuster, L., & Macreadie, P. I. (2022). Methane emissions from agricultural ponds are underestimated in national greenhouse gas inventories. *Communications Earth & Environment*, 3.
- Murray, C. J., Jha, P., Naghavi, M., Bundy, D. A., Mokdad, A. H., & Horton, R. L. (2021). The global decline in infectious disease mortality. *Science*, 371(6526), 610-614. doi:[10.1126/science.abg3004](https://doi.org/10.1126/science.abg3004)
- Naseem, S., Guang Ji, T., & Kashif, U. (2020). *Asymmetrical ARDL correlation between fossil fuel energy, food security, and carbon emission: providing fresh information from Pakistan*. Environmental Science and Pollution Research (ESPR). doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09346-3>
- (Noviembre 2021). Discussion Paper, Princeton University and Cornell University. OECD. *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico*. (s.f.). Obtenido de <https://www.oecd.org/>
- Reay, D., Davidson, E., Smith, K. , & et al. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature Climate Change* 2, 2, 410–416. doi:<https://doi.org/10.1038/nclimate1458>
- Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Mathieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J., & Roser, M. (s.f.). *Population Growth*. Obtenido de Our World in Data: <https://ourworldindata.org/population-growth>
- Samantaray, P., & Gouda, K. C. (August de 2023). A review on the extreme rainfall studies in India. *Natural Hazards Research*, ISSN 2666-5921. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.08.005>
- Sanchez, P. (08 de January de 2015). En route to plentiful food production in Africa. *Nature Plants*(1), 14014. doi:<https://doi.org/10.1038/nplants.2014.14>
- Searchinger, T., Herrero, M., Yan, X., Wang, J., Dumas, P., Beauchemin, K., & Kebreab, E. (November 2021). *Opportunities to Reduce Methane Emissions from Global Agriculture*. Discussion Paper, Princeton University and Cornell University. Obtenido de <https://searchinger.princeton.edu/document/46>
- Senent-Aparicio, J., López-Ballesteros, A., Jimeno-Sáez, P., & Pérez-Sánchez, J. (February de 2023). Recent precipitation trends in Peninsular Spain and implications for water infrastructure design. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45(101308), ISSN 2214-5818. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101308>
- Shuang Xu, Dejun Dai, Xuerong Cui, Xunqiang Yin, Shumin Jiang, Haidong Pan, & Guansuo Wang. (February de 2023). A deep learning approach to predict sea surface temperature based on multiple modes. *Ocean Modelling*, 181, 102158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2022.102158>
- Unidas, N. (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- UOC. (s.f.). *Guía transversal sobre la CCEG para estudiantado de TFX-EIMT*. pdf.
- Venterea, R. T., Halvorson, A. D., Kitchen, N., Liebig, M. A., Cavigelli, M. A., Grosso, S. J., . . . Collins, H. (01 de December de 2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. doi:<https://doi.org/10.1890/120062>
- Wang, Y.-R., Hessen, D. O., Samset, B. H., & Stordal, F. (2022). Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*, 280. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>.
- Wei, L., & Guan, L. (2022). Seven-day sea surface temperature prediction using a 3DConv-LSTM model. *Front. Mar. Sci.*, 2. doi:<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.905848>
- Wells, G. J., Ryan, C. M., Artur, L., Ribeiro, N., Bowers, S., Hargreaves, P., . . . Fisher, A. F. (2022). Tree harvesting is not the same as deforestation. *Nature Climate Change*(12), 307-309. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-022-01326-4>
- (1992). *World Development Report 1992 Development and the Environment*. World Bank. New York: Oxford University Press. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10986/5975>
- Yang, X., Shang, Q., Wu, P., Liu, J., Shen, Q., Guo, S., & Xiong, Z. (2010). Methane emissions from double rice agriculture under long-term fertilizing systems in Hunan, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(3-4), 308-316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.001>.

i. ANEXO I – Notebook – Markdown RStudio

Gracias al uso de RStudio, se ha logrado la implementación del análisis pormenorizado de los datos, así como los cálculos necesarios con los mismos, mediante la creación de un Markdown que se entrega en este TFM.

Este archivo se encuentra almacenado en el repositorio de GitHub creado para este TFM.

A continuación, se detallan los pasos seguidos a lo largo del código para la implementación del mismo.

a) Exploración archivos de datos

La primera labor llevada a cabo ha sido una profunda exploración de los datos disponibles, para entender a qué tipo de información había que enfrentarse.

Esta exploración ha servido, en primera instancia, para convertir los archivos de datos disponibles en data frames manejables por RStudio.

b) Instalación de paquetes

Usando de apoyo el primer análisis exploratorio, y según era necesario en cada fase de la implementación del trabajo, se han definido los paquetes necesarios a tener disponibles en R que permitan ejecutar las sentencias del código construido.

c) Data wrangling y data cleansing

Una vez hecho el análisis exploratorio de los datos, se ha procedido a hacer la carga de los mismos en data frames y realizar las primeras labores de limpieza necesarias. Entre ellas, podemos incluir las siguientes que se nombran a continuación:

- Conversión de datos a tipo numérico.
- Corrección de formato, mediante la transformación de comas y puntos en la importación de miles y decimales desde la fuente de datos.
- Estandarización y homogeneización de nombres de variables.
- Sustitución o eliminación de valores según missing data encontrado para que no afectara al análisis realizado.
- Detección de outliers para que no interfieran en la distorsión de los resultados obtenidos.
- Unión y join de datos para análisis completos.

d) Análisis de datos

Se ha realizado una labor de extracción de cálculos estadísticos descriptivos para entender cada una de las variables estudiadas. Gracias a ello se ha podido comprender la distribución y los parámetros fundamentales de cada uno de los campos que tenemos disponibles en las tablas analizadas.

De manera complementaria a estos cálculos, se han representado numerosos gráficos (figura 20), eligiendo el más adecuado en cada caso, que ayudaban a su comprensión de manera visual.

También se ha ido explicando cada fragmento del código para entender qué se realizaba en cada momento y porqué. Incluso, se han ido comentando las observaciones realizadas a lo largo del archivo, aunque las conclusiones más importantes han quedado debidamente recogidas como un apartado en la presente memoria.

Las variables estudiadas han sido las nombradas en el apartado 8 de la presente memoria. Se han llevado a cabo tanto estudios individuales, como estudios en conjunto según era necesario para ir extrayendo las conclusiones en el TFM.

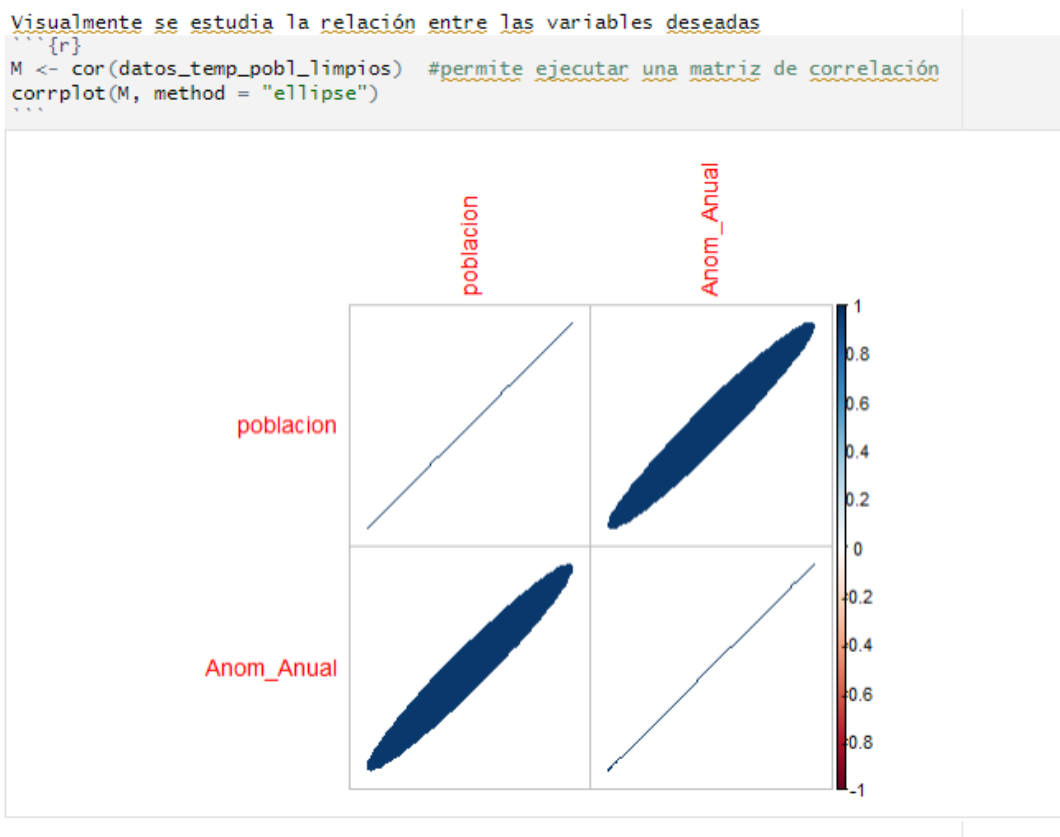


Figura 23. Gráfico de correlación de algunas variables estudiadas.

e) Predicción de datos

Gracias al análisis de datos llevado a cabo, se han elegido los modelos predictivos a aplicar a las variables más relevantes para poder conocer el horizonte al que se enfrenta la sociedad y establecer conclusiones sobre comportamientos futuros.

f) Exportación de datos

De las transformaciones realizadas se han obtenido varios datasets exportados a archivos que luego han sido trabajados en el informe de visualización, aprovechando así las labores de data wrangling y data cleansing para realizar las tareas de representación de manera más ágil y eficaz en el programa Power BI.

g) Conclusión

Gracias a RStudio se ha contado con un entorno de trabajo integrado facilitando el desarrollo de código.

Esta herramienta ha sido de especial importancia en el análisis de la información y en la evaluación de los resultados obtenidos a lo largo del estudio.

ii. ANEXO II – Informe Power BI

En el siguiente anexo se explicará detalladamente cómo se ha llevado a cabo la implementación del informe de visualización de datos desarrollado en la herramienta de Microsoft Power BI.

Una vez los datos han sido tratados y analizados mediante el software RStudio, se ha diseñado un informe para la representación de los mismos.

Se han configurado las conexiones necesarias a los datos para poder trabajarlos. (figura 21).

Configuración de origen de datos

Administre la configuración de los orígenes de datos a los que se ha conectado mediante Power BI Desktop.

☒ Orígenes de datos en el archivo actual ☐ Permisos globales

⌵

c:\users\sara.amos\onedrive -...tf_sbrg\exports\anio_tipo.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...g\exports\datos_real_pred.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...cult_mundial_unpivot_perc.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...oblacion_mundial_sum_perc.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_chn.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_esp.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_gbr.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_ind.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_ita.xlsx

c:\users\sara.amos\onedrive -...monthly_cru_1901-2021_mex.xlsx

Cambiar origen...

Exportar PBIDS

Editar permisos...

Borrar permisos ▾

Cerrar

Figura 24. Conexiones datos Power BI.

a) Modelo y transformación de datos

En cuanto al modelo de datos, se han creado algunas dimensiones que eran necesarias (como, por ejemplo, la dimensión año) y se ha trabajado con algunas tablas de hecho

obtenidas desde el análisis realizado con RStudio. Se ha realizado el modelo Entidad Relación correspondiente para poder representar los datos según lo deseado (figura 22).

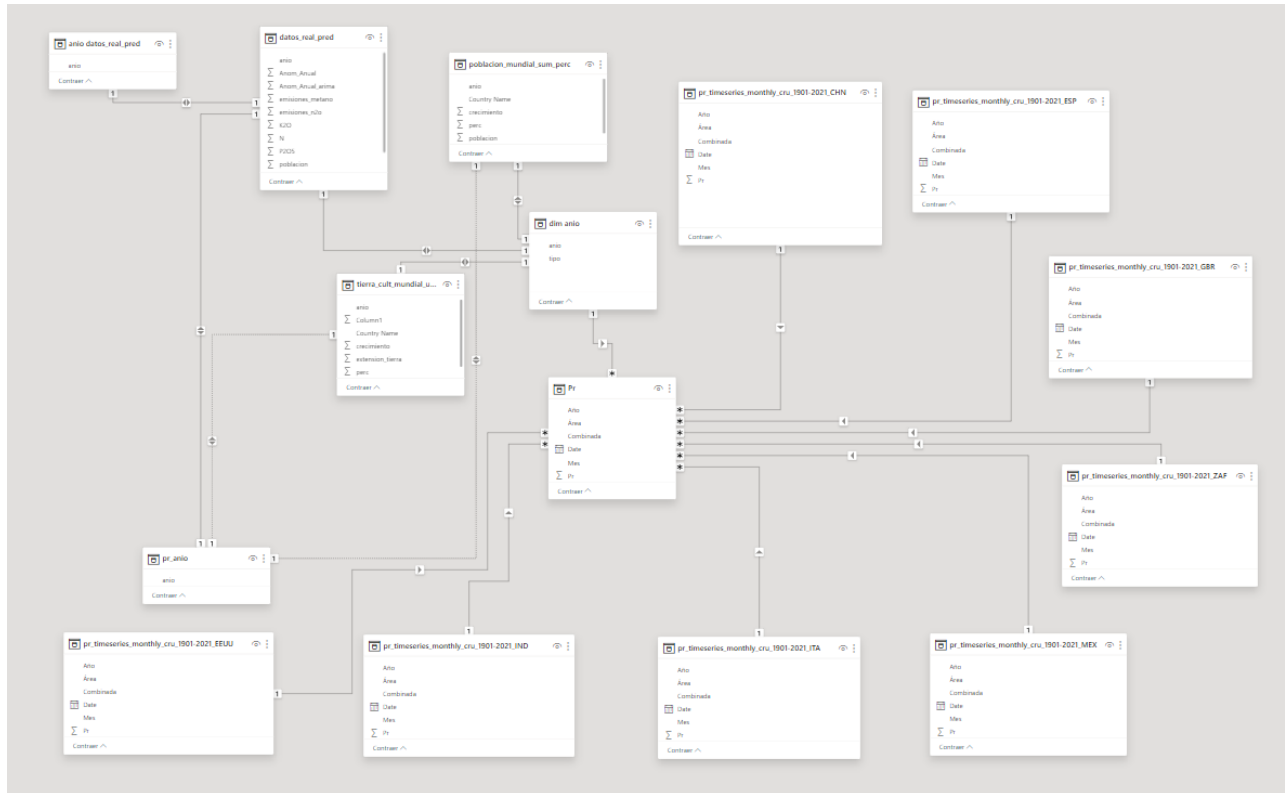


Figura 25. Modelo de datos Power BI

Si se hace referencia las tablas de datos ya importadas a Power BI, hay que nombrar que se han realizado labores de transformación necesarias para disponer de la información de la manera adecuada (figura 23). Por lo tanto, se han ido aplicando pasos:

- Eliminación de encabezados
- Fijación del tipo de datos
- Anulación de dinamización de valores
- Cambio de nombres de columnas
- Pasos para trabajo con fechas según años y meses
- Agregación de columnas personalizadas
- Reordenación de campos
- Combinación de columnas
- Eliminación de duplicados
- Consultas anexadas

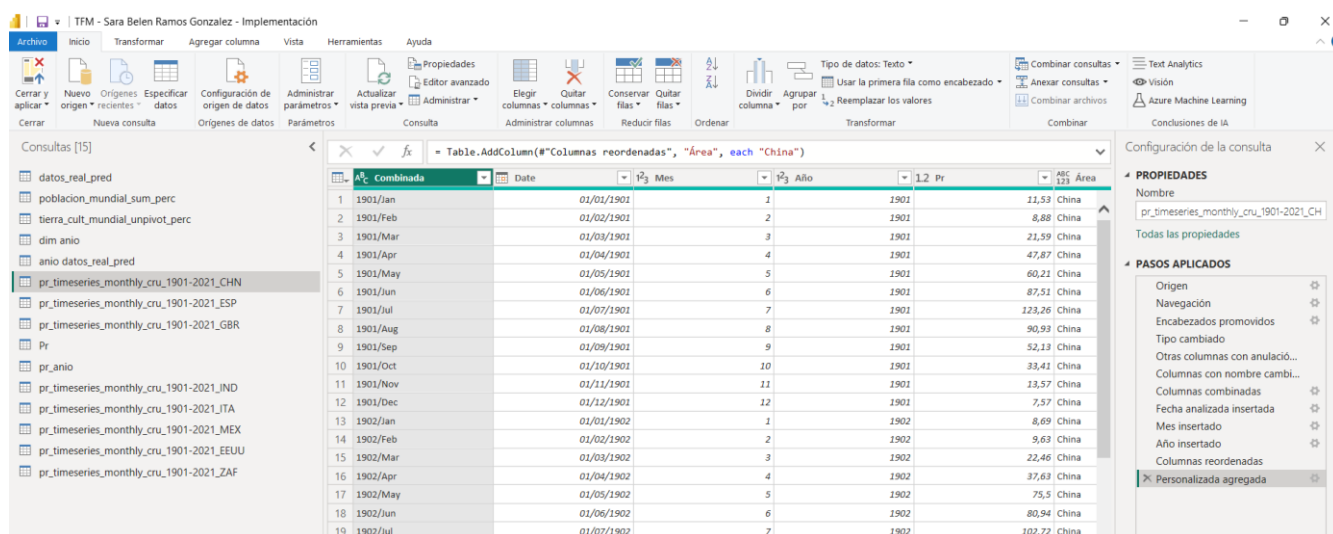


Figura 26. Ejemplo de pasos de transformación aplicados en Power BI.

b) Diseño informe

En el diseño de este informe se han tenido en cuenta los aspectos de estética y lógica visual aprendidos a lo largo del máster en otras asignaturas. Se detallan a continuación.

✓ Colores

Se han tenido en cuenta colores acorde con la temática elegida. Una paleta en tonos azulados y verdosos que nos da la sensación de estar hablando de la naturaleza, el medio ambiente y los cultivos.

✓ Formas y gráficos

En cada caso se ha elegido la mejor forma geométrica y el tipo de gráfico que mejor se adaptaba a cada representación.

Por ejemplo, se han elegido círculos para señalar situaciones geográficas en el mapa. Otro ejemplo lo conforman los gráficos de líneas que han sido elegidos para representar información a lo largo del tiempo, de manera continua. O los pie charts para representar proporciones.

Las etiquetas de resultado nos servirán para representar valores totales que cambian según el dinamismo de la visualización.

Se hallan formas que atienden a botones, que dan sensación de que se puede clicar sobre los mismos.

Se ha optado por incluir ejes temporales a los filtros de fecha que sean bastante intuitivos y gráficos.

✓ Gradientes

A la vez que se han usado colores, se ha optado por representar mediante gradientes de los mismos las cantidades. Así, los colores más oscuros corresponden a cantidades mayores, mientras que los más claros, corresponden a cantidades más pequeñas.

✓ Tamaño

También el tamaño se ha tenido en cuenta a la hora de representar los datos. Tamaños más grandes, hacen referencia a valores mayores, y tamaños más pequeños, a valores menores.

✓ Menú desplegable

A la hora de representar la selección de posibles valores, se han usado menús desplegables que ayudan a aglutinar datos en un espacio de menor tamaño para que no ocuparan mucha superficie dentro del dashboard.

✓ Sensación de unión y/o diferenciación

Se ha intentado guardar la relación entre los objetos cuando interesaba, así como marcar diferencia si era necesario. De esta forma, se consigue una lectura amigable y ágil de los datos.

✓ Uso simbología

Se ha tenido especial cuidado en mostrar los datos numéricos con sus correspondientes símbolos facilitando el entendimiento de los miles y de los decimales.

Incluso, se visualiza el símbolo del porcentaje (%) en los casos en los casos adecuados.

✓ Texto

Se han insertado cuadros de texto para introducir información valiosa.

También se han usado las características de título y las especificaciones de los ejes para indicar qué datos se están visualizando y las unidades de medida correspondientes.

Concretamente en la home page ha sido mayor el uso de los textos porque es una página con un marcado carácter explicativo.

✓ Home page

Se ha incluido una primera página en el informe a modo de “Home page” que servirá de explicación y guía en la navegación de los datos.

✓ Dinamismo y navegación

Se ha intentado en todo momento que el informe fuera dinámico, permitiendo al usuario interactuar mediante el uso de botones, filtrado de datos en seleccionables, o incluso filtrado clicando sobre los gráficos, para que sea más cómoda la visualización de la información concreta que interese en cada momento.

Además, se ha incluido en cada página un botón que enviará al usuario de vuelta a la home page cada vez que lo necesite.

✓ Sincronización

Se ha realizado una sincronización de los objetos de tal forma que, aunque estemos en páginas distintas, veremos la misma información filtrada en cada caso para no perder el foco del análisis.

c) Enlace a la visualización del informe

El informe ha sido publicado en la siguiente url:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieTBiYW11M2ltYjc5Yi00OTY5LWI0ZDMtYjllM2Y4YzRjMTBlliwidCI6IjZiMDEyOGNiLWQ1MjctNDQ3NS1hNmViLTA5M2I2NTQ1OTk2MSIsImMiOiI9>

Si bien, este enlace solo lo podrá consultar el profesor tutor del TFM para su corrección hasta que se aproxime la fecha de defensa del TFM, donde se hará público para consulta por el tribunal o cualquier persona que lo desee. De esta forma, se evitará cualquier plagio por parte de otra persona que no sea el/la autor/a de este TFM.

d) Conclusión

Finalmente, el resultado de haber trabajado los datos y de estudiar el diseño cuidadosamente, ha sido un informe de fácil entendimiento por el usuario, bastante dinámico y que permite analizar la información más importante de este trabajo desde distintos puntos de vista, aportando, además, información valiosa.

iii. ANEXO III – Repositorio GitHub

Con el fin de alojar todos los archivos obtenidos desde las fuentes de datos estudiadas, así como el código implementado, se ha creado un repositorio GitHub en el que se encontrará información detallada sobre este TFM.

El enlace de acceso al mismo es el siguiente: <https://github.com/sbramosg/TFM.git>

Si bien, no será hasta los días previos de la defensa del TFM cuando se habilite el acceso público para consulta por cualquier persona diferente al autor para evitar cualquier posible plagio del estudio que aquí se desarrolla.