

Ponencia 4

Vulnerabilidad social al cambio climático

CREACIÓN DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR EL DESEMPEÑO UNIVERSITARIO EN LA APLICACIÓN DE LA AGENDA 2030

Pablo COTARELO¹, Ariel JEREZ², Celia DIAZ³, Ignacio MARTÍNEZ⁴, Víctor ALONSO ROCAFORT⁵ y Esther DEL CAMPO⁶

¹*Observatorio UCM 2030. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

²*Departamento de Ciencias Políticas y de la Administración (UCM), Área de Sostenibilidad y Transiciones Ecosociales, Instituto Complutense de Ciencias de la Administración (ICCA-UCM). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

³*Departamento de Sociología, metodología y teoría (UCM), Instituto TRANSOC-UCM. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

⁴*Departamento de Ciencias Políticas y de la Administración (UCM), Área de Sostenibilidad y Transiciones Ecosociales, Instituto Complutense de Ciencias de la Administración (ICCA-UCM). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

⁵*Vicedecano de AA. Económicas y Sostenibilidad (FCPS-UCM), Coordinador Aula de Innovación Social y Sostenibilidad (FCPS-UCM). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

⁶*Decana de la Facultad de CCPP y Sociología (UCM), Área de Sostenibilidad y Transiciones Ecosociales, Instituto Complutense de Ciencias de la Administración (ICCA-UCM). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.*

obs2030@ucm.es, ajerezno@ucm.es, celdiaz@ucm.es, imartine@ucm.es,
valons04@ucm.es, delcampo@ucm.es

RESUMEN

El objeto de la investigación era medir y evaluar el grado de desempeño de la Universidad Complutense de Madrid en la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

La metodología empleada se basó en el “Handbook on Constructing Composite Indicators” de la OECD y el JRC para crear un indicador compuesto que permitiera resumir fenómenos complejos de manera simple, comparar entre actores similares con facilidad, y ofrecer información representativa. Las fuentes de los datos empleadas fueron diversas: fuentes online; consultas directas mediante los canales ofrecidos por la Universidad; entrevistas a actores relevantes de la Universidad con diferentes perfiles, experiencias y aproximaciones a la temática; obtención directa de datos mediante la observación *in situ*; y una encuesta dirigida mediante el Observatorio del Estudiante de la Universidad.

Para la definición de los indicadores, un grupo de 30 investigadores e investigadoras de diferentes facultades utilizaron tres niveles de análisis de la actividad universitaria: campus, docencia e investigación, discursos y prácticas institucionales. Como resultado de ello se establecieron indicadores para cada uno de estos tres niveles de análisis referidos a todos los ODS.

Tras el proceso de normalización, ponderación y agregación se consolidó un indicador compuesto de más de 450 indicadores, tanto cuantitativos como cualitativos, divididos

equitativamente en los tres niveles de análisis. Únicamente para una tercera parte de estos indicadores se obtuvieron datos fiables en el primer año de aplicación (2024). El resultado del indicador compuesto en estas condiciones concedió a la Universidad un grado de desempeño medio-bajo.

Palabras clave: Agenda 2030, ODS, indicador compuesto, universidad.

ABSTRACT

The purpose of the research was to measure and evaluate the degree of performance of the Complutense University of Madrid in the implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda.

The methodology used was based on the 'Handbook on Constructing Composite Indicators' of the OECD and the JRC to create a composite indicator that could summarise complex phenomena in a simple way, compare between similar actors easily, and provide representative information. The data sources used were diverse: online sources; direct consultations through the channels offered by the University; interviews with relevant actors at the University with different profiles, experiences and approaches to the subject; direct data collection through on-site observation; and a targeted survey through the University's Student Observatory.

To define the indicators, a group of 30 researchers from different faculties used three levels of analysis of university activity: campus, teaching and research, institutional discourses and practices. As a result, indicators were established for each of these three levels of analysis for all SDGs.

The normalisation, weighting and aggregation process resulted in a consolidated indicator comprising more than 450 indicators, both quantitative and qualitative, divided equally between the three levels of analysis. For only one third of these indicators were reliable data obtained in the first year of implementation (2024). The composite indicator result under these conditions gave the University a medium-low performance rating.

Key words: Agenda 2030, SDG, composite indicator, university.

1. INTRODUCCIÓN

Naciones Unidas ha destacado el papel de la Universidad en la promoción e implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos en la Agenda 2030. La educación e investigación universitarias, su capacidad de innovar, liderazgo social y posición privilegiada para trenzar alianzas intersectoriales, la sitúan como un actor esencial de la transición ecosocial. De ahí que Naciones Unidas la emplace a incorporar los ODS tras un diagnóstico previo (SDSN, 2017: 2-3).

Por otra parte, desde la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) se ha señalado que "las universidades deben de reflexionar de manera colectiva sobre qué implicaciones tienen los ODS y ser capaces de abordar, de forma conjunta, qué cambios se necesitan introducir en el sistema universitario para poder incorporar la Agenda 2030" (Gómez y Solana, 2016: 4; ver también: CRUE, 2021).

La reconocida capacidad de transformación de la Universidad sobre la sociedad implica una gran responsabilidad en este momento histórico. Los ODS se han erigido ya como un marco sociopolítico ineludible a la hora de guiar el futuro de la institución (Alcaraz y Alonso, 2019: 34-35). Contar con universidades plenamente ecosociales se convierte hoy en una “una utopía factible” que precisa de iniciativas concretas y recursos para ello (Barnett, 2018).

Resulta así necesario, en primer lugar, contar con unos indicadores que nos muestren dónde estamos y cómo avanzamos. La Universidad Complutense de Madrid (UCM) es la mayor en cuanto a enseñanza presencial entre las españolas. Sin embargo, y a pesar de los avances emprendidos, carece aún de estas valiosas herramientas de medición cuya aparición, bien es cierto, resulta reciente (UPV, 2020).

Por todo ello, en el contexto de un proyecto de creación y desarrollo de un observatorio universitario de seguimiento de la aplicación de los ODS de la Agenda 2030 en la UCM, se realiza la investigación objeto de esta comunicación. Consiste en la creación de un sistema de medición del desempeño de la universidad en dicha aplicación de la Agenda 2030, en coherencia con las inquietudes sociales, las preocupaciones de la comunidad universitaria y las declaraciones institucionales de las personas representantes de la propia entidad.

En este sentido, el equipo investigador elaboró un plan de trabajo cuyo esquema se refleja en la siguiente figura.

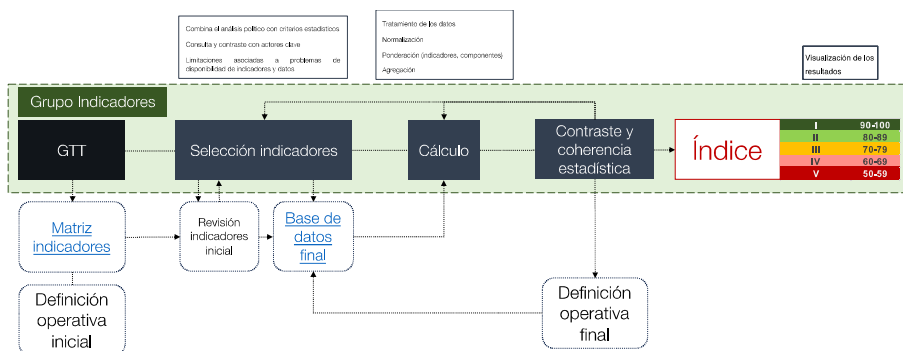


Fig. 1: esquema del proceso. Fuente: elaboración propia.

El primer paso consistió en realizar el análisis de las opciones metodológicas para la definición del método más idóneo para medir el desempeño de la universidad en la aplicación de la Agenda 2030, combinando la adecuación teórica, la representatividad estadística y la disponibilidad de datos.

Posteriormente, se realizó la definición de las categorías de indicadores, su ponderación, y el establecimiento de los estándares vinculados a su normalización.

De manera paralela, se puso en marcha el trabajo de definición detallada de los métodos de recolección de datos, su organización y la ejecución efectiva de la recolección de los datos.

Más adelante, se pasó al procesamiento y agregación de los datos resultantes de los procesos de recolección según el formato del sistema de indicadores definido.

Finalmente, se dio lugar a la obtención de los resultados de la evaluación basada en el sistema de indicadores a partir de la agregación de los datos recogidos.

2. MÉTODOS

El marco metodológico toma como referencia los recientes libros blancos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), concretamente el primero, en el que se presentan los grandes desafíos para promover unas nuevas bases para una sociedad global sostenible en los diversos programas de investigación de cara al 2030. Se trata de un marco orientado por la necesidad de avanzar en la colaboración transdisciplinar y en las perspectivas aplicadas para la sostenibilidad de la vida, procesos en los que las ciencias sociales deben jugar un activo rol intermediador. En particular, la orientación principal se encuentra en el Desafío A del primer libro, centrado en las relaciones entre la ciencia, la innovación y el conocimiento para modelos sostenibles de desarrollo, que necesitan amplios diálogos teóricos y epistemológicos para una comprensión holística de los valores y las contribuciones de la naturaleza a las personas y lograr ir más allá del determinismo tecnológico. Gracias a que el equipo investigador cuenta con profesionales de siete facultades de la Universidad Complutense, se asume el primer reto metodológico para “el desarrollo de marcos de investigación orientados a la transformación hacia la sostenibilidad socio-ecológica” (Cañibano y Pavone, 2022), en la línea señalada por el CSIC.

2.1 Elección de la metodología del sistema de indicadores

El resultado de realizar el análisis de las opciones metodológicas para la definición del método más idóneo para medir el desempeño de la universidad en la aplicación de la Agenda 2030 fue la elección de la creación de un indicador compuesto, dado que es la metodología que mejor se adapta a los objetivos de: combinación de adecuación teórica, representatividad estadística y disponibilidad diversa de datos.

Un indicador compuesto consiste en la combinación de diferentes indicadores con el objetivo de describir el estado y evolución de un determinado fenómeno multidimensional.

Los indicadores compuestos son algo habitual en el mundo de las ciencias sociales. Hay ejemplos diversos, quizás el más conocido es el caso del Producto Interior Bruto (PIB), que es un indicador compuesto de las diferentes actividades económicas combinadas en relación a los precios relativos.

Tal como se explica en la guía “Handbook on Constructing Composite Indicators” (OECD y JRC, 2008), que es el documento básico utilizado en el trabajo de creación del indicador compuesto resultante del sistema de indicadores, este tipo de metodologías tienen los siguientes aspectos positivos:

- Permiten resumir fenómenos económicos complejos de manera simple.
- Permiten interpretar rápidamente mucha información.
- Permiten la comparación entre actores con facilidad.
- Dan información sin tener que introducir muchos datos.

2.2 Proceso de selección de indicadores

Para proceder a la selección de los indicadores que formasen parte del sistema de indicadores del que resultaría el indicador compuesto, en primer lugar, el grupo de investigadores e investigadoras dividió los ODS en cinco grupos siguiendo criterios de afinidad y relación entre sectores o temáticas. Estos grupos se llamaron Grupos de Trabajo Temáticos (GTT), y se organizaron según se observa en la figura siguiente.

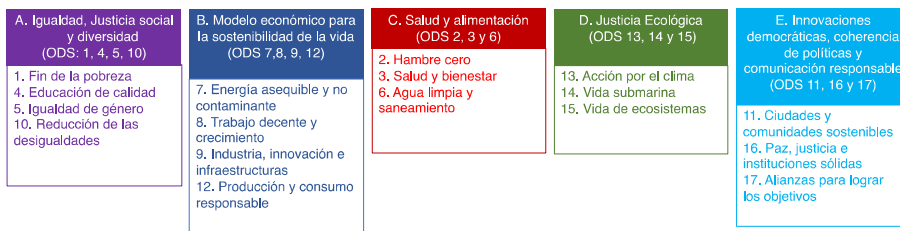


Fig. 2: Grupos de Trabajo Temáticos. Fuente: elaboración propia.

Estos GTT, a partir de una revisión crítica de los ODS y la elaboración de documentos base de reflexión sobre ello, definieron una serie de indicadores que consideraron necesarios para comprobar el desempeño de la universidad en la aplicación de la Agenda 2030 a su actividad. Para ello, se definieron asimismo tres niveles de análisis de la actividad de la universidad, como se muestra en la siguiente figura.

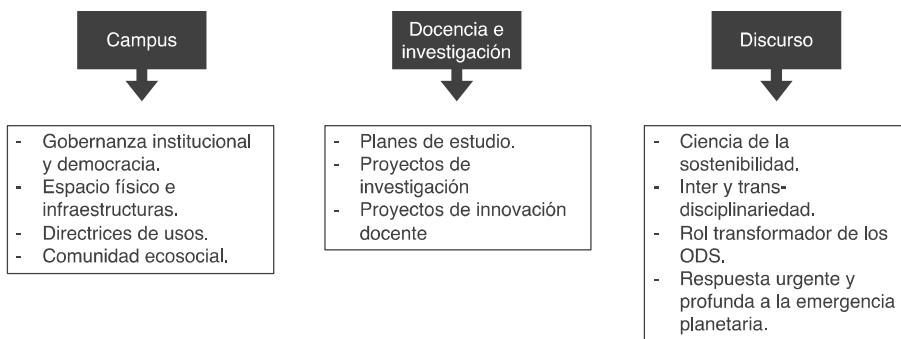


Fig. 3: niveles de análisis. Fuente: elaboración propia.

La selección de indicadores se caracterizó porque combina el análisis teórico-político con criterios estadísticos, derivados de los GTT:

- Parten de una aproximación teórica
- Responden a un análisis político (o político-científico)
- Responden a criterios estadísticos

Tras la fase de trabajo autónomo de los GTT en la reflexión teórica y la definición inicial de indicadores, se realizó el trabajo conjunto del grupo de 30 personas investigadoras de: resolver las intersecciones entre indicadores de diferentes GTT, la fijación de los estándares del proceso de normalización, las decisiones sobre las

ponderaciones y la agregación de datos, y el resto de trabajos estadísticos que figura en el esquema inicial del documento.

En esta fase se definieron también los indicadores para los que se consideraba imprescindible obtener datos desde el primer momento. Para ello, se eligieron 25 indicadores del total del sistema que cumplieran con las siguientes condiciones: estuvieran equitativamente repartidos entre las temáticas de la Agenda 2030, fueran muy importantes para la medición del desempeño de la universidad en su aplicación, y no se tuviera constancia de la existencia de datos públicos sobre ellos.

2.3 Desarrollo metodológico del indicador compuesto

A partir de la definición de los indicadores, se procedió al desarrollo de la metodología según la guía de OECD y JRC, comenzando con la normalización de los indicadores. El proceso de normalización consiste en crear una única unidad de medida para todos los componentes de los indicadores, a partir de la diversidad de unidades de medida de cada uno de ellos.

Las ponderaciones, por otra parte, son el instrumento principal para determinar el peso relativo de los indicadores.

Las ponderaciones tienen que cumplir esta restricción:

$$\alpha + \dots + \beta + \alpha' + \dots + \beta' + \alpha'' + \dots + \beta'' = 1$$

Donde “ $\alpha + \dots + \beta$ ” son la suma del total de ponderaciones de los indicadores de un determinado nivel de análisis. “ $\alpha' + \dots + \beta'$ ” son la suma del total de ponderaciones de los indicadores de otro determinado nivel de análisis. Y, “ $\alpha'' + \dots + \beta''$ ” son la suma del total de ponderaciones de los indicadores de un tercer determinado nivel de análisis.

Asimismo, como resultado del proceso de reflexión y deliberación del grupo investigador, y para obtener una representación fiel de la realidad universitaria, se consideró que las ponderaciones entre los tres niveles de análisis fueran equitativas, con lo que cada una de ellas representa una tercera parte del resultado final.

Una vez determinada el método de normalización y las ponderaciones se procede a la agregación de acuerdo con esta fórmula:

$$\text{Calificación} = \sum \text{AH1N} * \alpha + \dots + \text{AV2N} * \beta + \sum \text{SL1N} * \alpha' + \dots + \text{SR2N} * \beta' + \sum \text{GG1N} * \alpha'' + \dots + \text{GT3N} * \beta''$$

Donde “ $\text{AH1N} + \dots + \text{AV2N}$ ”, “ $\text{SL1N} + \dots + \text{SR2N}$ ”, “ $\text{GG1N} + \dots + \text{GT3N}$ ” son la suma de todos los indicadores.

Para mostrar la evolución por niveles de análisis del indicador compuesto, a las calificaciones desagregadas se aplican estas fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Calificación A} &= \sum (\text{AH1N} * \alpha + \dots + \text{AV2N} * \beta) \\ \text{Calificación B} &= \sum (\text{SL1N} * \alpha' + \dots + \text{SR2N} * \beta') \\ \text{Calificación C} &= \sum (\text{GG1N} * \alpha'' + \dots + \text{GT3N} * \beta'') \end{aligned}$$

Conviene señalar que algunos de los indicadores utilizados podrían tener un efecto

negativo sobre el desempeño de la universidad en la aplicación adecuada de la Agenda 2030, por lo que a dichos indicadores se les asignó valor negativo en el proceso de agregación.

Asimismo, del proceso de reflexión y deliberación del grupo investigador resultó la necesidad de ponderar de manera diferente (mayor) a aquellos indicadores que se consideraran con mayor importancia sobre la media. Esta medida se tomó en mayor proporción para indicadores con efecto negativo sobre el resultado de la aplicación de al Agenda 2030 a la universidad.

Una vez hecha la agregación y dependiendo del método de normalización usado, se aplican las calificaciones.

2.4 Métodos de recopilación de datos

Los datos para alimentar el sistema de indicadores que dan lugar al indicador compuesto tienen diferentes orígenes con el objeto de abarcar el mayor número posible de dimensiones de la realidad de la actividad de la universidad.

Las fuentes de datos online fueron, fundamentalmente: la página web institucional de la universidad, su portal de transparencia, el Sistema Integrado de Datos Institucionales (SIDI), y el portal de datos abiertos de educación superior (UniversiDATA).

Por otra parte, el estudio cualitativo de imaginarios sobre la transición ecosocial de la comunidad complutense consistió en lo siguiente:

- Objetivo: 1) explorar el imaginario de la comunidad universitaria sobre la transición ecosocial; 2) identificar barreras y facilitadores para la realización de acciones para la consecución de los ODS en la universidad
- Técnica: 3 grupos triangulares (GT) y 6 entrevistas en profundidad
- Diseño muestral: 1 GT con estudiantes sensibles, 1 GT con PDI mujeres sensibles; 1 GT con sindicatos; 6 entrevistas con: PDI no sensibles, PTGAS
- Guion con 3 grandes bloques temáticos y se adaptará a cada tipo de perfil:
 - ¿Qué es para vosotras la transición ecosocial?
 - ¿Qué piensas sobre temas específicos de la transición ecosocial?
 - ¿Qué barreras y facilitadores identificas para llevar a cabo acciones relacionadas con la consecución de los ODS en la universidad?

El análisis de coherencia de políticas institucionales de la universidad se realizó de la siguiente manera: analizar una serie de documentación de la UCM para detectar potenciales incoherencias de aquellas acciones, decisiones, acuerdos, encuentros, colaboraciones, etc., de la Universidad Complutense con los ODS.

Los documentos analizados para dicho estudio de coherencia de políticas fueron:

- Páginas web institucionales de la universidad
- Análisis de documentos vigentes rectores del funcionamiento institucional de la UCM (acuerdos de gobierno, PRL, protocolos de sostenibilidad, acoso, transparencia, etc.).
- Información de las Cátedras Extraordinarias
- Documentación del Portal de Transparencia de la UCM
- Notas de prensa e información del gabinete de prensa de la UCM.

La recopilación de datos in situ se dirigió a obtener datos a través de la observación directa de 25 de los indicadores definidos inicialmente por los GTT y para los cuales se había detectado un grado de importancia mayor para los resultados que la media de los indicadores.

Finalmente, se diseñó una encuesta dirigida a toda la comunidad complutense a través del Observatorio del Estudiante sobre percepción y actitudes respecto al cambio climático.

El conjunto de datos recopilados mediante esta diversidad de métodos se trasladó al sistema de indicadores que dio lugar al indicador compuesto. Para ello, se definieron los indicadores en su nivel de análisis correspondiente.

3. RESULTADOS

El indicador compuesto resultante del proceso de definición del sistema de indicadores para medir el desempeño de la Universidad Complutense de Madrid incluye 470 indicadores, divididos entre los tres niveles de análisis definidos, de la manera en la que se muestra en la siguiente tabla.

| Nivel de análisis | Campus | Docencia e investigación | Discursos y prácticas institucionales | Total |
|--|---------------|---------------------------------|--|--------------|
| Número de indicadores totales | 170 | 150 | 150 | 470 |
| Número de indicadores con datos | 55 | 55 | 50 | 160 |

Tabla 1: Indicadores por cada nivel de análisis. Fuente: elaboración propia.

Se consiguió limitar el porcentaje de indicadores que sólo pueden ofrecer dos resultados (indicadores binarios) a menos de un 30% del total de los indicadores, con el objetivo de evitar un deterioro en la calidad de la información obtenida a través del indicador compuesto.

Del proceso de recopilación de datos a través de los diferentes métodos utilizados se obtuvieron resultados de 160 indicadores en primera instancia, porque hay que considerar que el proceso de recopilación y actualización de datos es constante. Su reparto fue relativamente equitativo entre los tres niveles de análisis definidos.

4. DISCUSIÓN

La calificación del indicador compuesto resultante de los datos obtenidos para el número de indicadores señalado anteriormente fue, siguiendo la metodología elegida, que la UCM durante 2024 tuvo un desempeño en la aplicación de la Agenda 2030 medio-bajo.

Si bien el número de indicadores utilizados para la construcción del indicador compuesto es suficiente para dar valor a la calificación media-baja de la universidad, estos resultados deben ser corroborados en años sucesivos con el trabajo de recopilación de datos para alcanzar grados de representatividad más cercanos al 100% (470 indicadores).

Por otra parte, es necesario señalar que, tanto el número de indicadores que conforman el indicador compuesto como sus estándares, también forman parte de un proceso vivo que se alimentará cada año a partir de estos primeros resultados. En el primer caso de definición de nuevos indicadores o perfeccionamiento de los mismos, se alimentará a partir del trabajo colaborativo entre el grupo investigador del año 2024 y otros grupos de universidades colaboradoras y por entidades sociales. En el segundo caso de revisión de los estándares de los indicadores del sistema, en el que participarán los mismos actores que en la definición de potenciales nuevos indicadores, se establecerán objetivos progresivamente más ambiciosos hasta alcanzar el óptimo para cada uno de ellos y en conjunto en 2030.

Esto último implica una mayor implicación universitaria para, en primera instancia, cubrir el desfase entre desempeño y estándares de 2024 y, en segundo término, prepararse convenientemente para el progresivo aumento de la ambición de los estándares para los años posteriores hasta 2030, y más allá.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo investigador le gustaría agradecer al Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030 por la concesión de la subvención que ha hecho posible el desarrollo de la investigación objeto de la presente comunicación al Congreso.

También agradecemos a todas las personas que han participado en la recopilación de los datos de los indicadores, sin las cuales no habría sido posible obtener los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS

Alcaraz, A. y Alonso, P. (2019). La contribución de las Universidades a la Agenda 2030, València: Universitat de València.

Barnett, R. (2018), *The Ecological University. A Feasible Utopia*. London and New York: Routledge.

Cañibano, C. y Pavone, V. (2022). Desafío A. Ciencia, innovación y conocimiento para modelos sostenibles de desarrollo, en E. Moyano y T. García Azcárate (eds.) *Nuevas bases para una sociedad global sostenible (Volumen 1)*, en J. Marco y M. Victoria Moreno-Arribas (coords.) *Desafíos Científicos del CSIC: Rumbo al 2030* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2022. http://libros.csic.es/product_info.php?products_id=1626

CRUE (2021). *Universidad 2030. Propuesta para el debate*. Disponible en: https://www.crue.org/wp-content/uploads/2021/11/CRUE_UNIVERSIDAD2030_VERSION-DIGITAL.pdf (junio de 2022).

Gómez, M. Ll. y Solana, J. (2016). Documento de Partida para el proceso para la modificación de la Estrategia de Cooperación Universitaria al Desarrollo, CRUE y Observatorio CUD.

OECD y JRC (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators https://www.oecd-ilibrary.org/economics/handbook-on-constructing-composite-indicators-methodology-and-user-guide_9789264043466-en

SDSN, Sustainable Development Solutions Network Australia/Pacific (2017). Cómo empezar con los ODS en las Universidades. Una guía para las Universidades, los centros de educación superior y el sector académico, Melbourne. Edición en español disponible en: <https://reds-sdsn.es/wp-content/uploads/2017/02/Guia-ODS-Universidades-1800301-WEB.pdf> (junio de 2022).

Universitat Politècnica de València (2020). Los ODS en las Universidades españolas: una propuesta de la UPV para medir su grado de cumplimiento. València: UPV.

¿UNA CIENCIA NEUTRAL PARA LA CRISIS CLIMÁTICA? DIMENSIONES POLÍTICAS Y CIENTÍFICAS DEL NEGACIONISMO CLIMÁTICO

Carolina CUADRADO BASTOS

Facultad de Filosofía. Universidad Complutense de Madrid.

carocquad@ucm.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la influencia de los valores sociales y políticos en la investigación científica del cambio climático. Para ello, tomamos como estudio de caso la investigación de científicos negacionistas, que cuestionan el alcance del cambio climático antropogénico. Mostraremos cómo las investigaciones que, en teoría, refutan la hipótesis del calentamiento global no solo son cuestionables desde un punto de vista científico, sino que además tienen consecuencias problemáticas en los planos político y epistémico. Con esto, tratamos de llamar la atención sobre el hecho de que la ciencia no es una actividad neutral, sino que en muchas ocasiones está influida por factores políticos y sociales. Esto no es problemático *per se*: la influencia de valores en la ciencia es inevitable y, bajo ciertas circunstancias, puede incluso ser deseable, pues permite generar conocimientos socialmente relevantes. Sin embargo, el caso del negacionismo muestra cómo ciertas decisiones científicas están apoyadas en juicios de valor implícitos que reproducen desigualdades sociales y regionales. El reto para las ciencias del clima, por tanto, no es eliminar las influencias políticas y sociales de la investigación, sino garantizar que las decisiones científicas toman en consideración a los actores más vulnerables frente a la crisis climática.

Palabras clave: epistemología, valores, crisis climática, justicia climática, negacionismo

ABSTRACT

The aim of this paper is to discuss the influence of social and political values on climate change science. For this purpose, we take as a case study the research of denialist scientists, who question the extent of anthropogenic climate change. We will show how research that, in theory, refutes the global warming hypothesis is not only questionable from a scientific point of view, but also has problematic consequences at the political and epistemic levels. In doing so, we try to draw attention to the fact that science is not a neutral activity but is often influenced by political and social factors. This is not problematic *per se*: the influence of values in science is unavoidable and, under certain circumstances, may even be desirable, since it allows the generation to acquire socially relevant knowledge. However, the case of denialism shows how certain scientific decisions are supported by implicit value judgments that reproduce social and regional inequalities. The challenge for climate science, therefore, is not to eliminate political and social influences from research, but to

ensure that scientific decisions take into consideration the actors most vulnerable to the climate crisis.

Key words: epistemology, values, climate denialism, climate crisis, climate justice

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar la influencia de los valores sociales y políticos en la investigación científica del cambio climático. Con “valores” nos referimos en general a las razones por las que uno evalúa algo como deseable o indeseable (Tuana et al., en prensa). Los valores epistémicos o cognitivos son aquellos aspectos de la investigación que se consideran deseables porque promueven la creación de conocimiento, que es uno de los fines centrales de la ciencia (Tuana et al., en prensa), aunque no el único. Los valores epistémicos tradicionales son: adecuación empírica, simplicidad, coherencia interna y externa, amplitud de alcance y fecundidad (Longino, 1996). Los valores sociales y éticos son las estimaciones acerca de lo que consideramos deseable o indeseable por razones éticas y sociales (Parker y Winsberg, 2018), como la protección del medio ambiente o la justicia intergeneracional. En este trabajo, a no ser que indique lo contrario, utilizaré el término “valores” para referirme a valores no epistémicos, de tipo ético, social, económico, político o pragmático.

En particular, en las ciencias del cambio climático las científicas deben tomar numerosas decisiones -acerca de qué propiedades deben tener los modelos, qué hipótesis investigar, cómo interpretar y comunicar los resultados...-, que en muchas ocasiones están influidas por juicios de valor (Intemann, 2015; Parker y Winsberg, 2018). Esto no significa necesariamente que la ciencia esté sesgada ideológicamente, o que los resultados de la investigación no sean rigurosos. Bajo las condiciones adecuadas, la influencia de los valores éticos y sociales puede incluso contribuir a hacer una mejor ciencia, que responda a las necesidades y prioridades de la sociedad en su conjunto.

Sin embargo, constatar que la ciencia no está libre de valores exige determinar en qué casos esta influencia puede ser ilegítima o indeseable (Resnik y Elliott, 2023). En el caso que nos ocupa, la influencia de los valores puede resultar problemática cuando las prácticas científicas no tienen en cuenta a los actores más vulnerables frente a la crisis climática, de manera que el conocimiento generado que no es relevante para sus necesidades, o incluso tiene un impacto negativo. En este trabajo analizaremos esta cuestión a partir del caso de la ciencia “escéptica”, que trata de refutar la hipótesis del calentamiento global antropogénico.

1. Marco teórico. El rol de los valores en las ciencias del clima

1.1. La neutralidad científica en disputa

Tradicionalmente, nuestra comprensión de la ciencia se ha regido por el paradigma de la “ciencia libre de valores”, también conocido como “ideal de la neutralidad axiológica”. Este ideal establece que los científicos deben abstenerse de hacer juicios de valor en el curso de su investigación, y los valores no pueden desempeñar ningún rol aceptable en la justificación de una hipótesis (Gundersen, 2020). Este ideal

cumplía una doble función, epistémica y democrática. En el plano epistémico, la neutralidad axiológica nos garantiza que los resultados de la investigación son fiables y están basados únicamente en la evidencia disponible, sin estar distorsionados por los juicios personales de las científicas. En el plano democrático, este ideal evita que los investigadores ejerzan un poder desproporcionado frente al resto de la sociedad, al impedir que sus juicios o sesgos personales influyan en la investigación (de Melo-Martin e Intemann, 2016).

En las últimas décadas, la filosofía de la ciencia, y especialmente las epistemologías feministas, han cuestionado el ideal de la neutralidad axiológica, al constatar que muy pocas disciplinas científicas, por no decir ninguna, están en condiciones de cumplirlo. Esto es especialmente significativo en el caso de las ciencias reguladoras, como la epidemiología, las ciencias ambientales o la climatología, cuyo fin no es únicamente generar conocimiento sino también orientar políticas públicas. En este tipo de disciplinas, la selección de ciertas hipótesis, metodologías o prácticas científicas tiene un impacto político, pues estas decisiones científicas condicionan la información con la que se tomarán decisiones políticas. A continuación presentamos algunos ejemplos, sin ánimo de ser exhaustivos, de situaciones en que las ciencias del cambio climático pueden estar influidas por juicios de valor más o menos explícitos.

Riesgo inductivo. El “argumento del riesgo inductivo” (ARI) establece que, en algunas circunstancias, el grado de evidencia necesario para aceptar o rechazar una hipótesis depende de las consecuencias prácticas de cometer un error. Dado que es imposible demostrar una teoría científica en términos absolutos, se debe tomar una decisión acerca de *cuánta evidencia es suficiente* para aceptarla como verdadera. Y para tomar esta decisión, en muchas ocasiones es necesario *valorar* la gravedad de las consecuencias potenciales del error. Para ello, no podemos recurrir únicamente a la evidencia empírica, sino que debemos realizar un juicio de valor acerca de qué riesgos consideramos aceptables (Rudner, 1956). Así, aunque no exista una certeza total acerca de la hipótesis del calentamiento global antropogénico, podemos aceptar que la evidencia disponible resulta *suficiente* en vistas de los riesgos que esta teoría plantea en caso de ser cierta. En este caso, consideramos preferible enfrentar las consecuencias de un posible error de tipo I (falso positivo), a un error de tipo II (falso negativo). En situaciones de riesgo inductivo, la aceptación de una teoría científica no depende únicamente de la evidencia empírica, sino de juicios éticos acerca de las consecuencias prácticas de un posible error.

Decisiones metodológicas. A la hora de construir un modelo climático, los científicos del clima muchas veces deben tomar decisiones acerca de qué variables y parámetros debe representar el modelo con mayor exactitud. Algunos parámetros son más propensos que otros a errores de tipo I o tipo II en ciertas variables, lo que requiere de nuevo valorar el riesgo inductivo de cada decisión (Mauritsen et al., 2012; Parker y Winsberg, 2018; Tuana, en prensa). Estas decisiones no siempre suponen un juicio de valor explícito, pero tienen un impacto político, pues de ellas depende la información disponible para diseñar políticas climáticas.

Un ejemplo de este tipo de decisiones son los parámetros que representan la formación de nubes en los modelos climáticos. Se trata de un proceso muy complejo, que aún no se conoce bien, y existe una gran incertidumbre acerca de su rol en el comportamiento global del sistema climático (Parker, 2018). Por este motivo, no hay consenso entre

los científicos del clima acerca de la mejor manera de parametrizar esta variable (Parker, 2018). Se ha demostrado que este parámetro influye en la sensibilidad de la simulación a los forzamientos antropogénicos. Esto significa que, dependiendo de cómo el científico decida parametrizar la formación de nubes, los modelos climáticos pueden ser más propensos a infraestimar o sobreestimar la sensibilidad del sistema climático (Intemann, 2015). Esto, a su vez, puede condicionar decisiones políticas en materia de mitigación y adaptación.

Conceptos científicos con carga ética. En las distintas disciplinas científicas implicadas en la investigación de la crisis climática, muchas veces operan conceptos que tienen una fuerte carga ética, y que no es posible definir únicamente a partir de observaciones empíricas. Un ejemplo es “vulnerabilidad” o “impacto climático”: para predecir los posibles impactos del cambio climático, antes debemos haber hecho un juicio de valor acerca de qué bienes ambientales, sociales, culturales, etc. consideramos importante proteger. En este caso, los juicios éticos contribuyen a determinar qué tipo de evidencia es relevante para nuestras hipótesis acerca de la crisis climática. Por otra parte, muchos IAM (*Integrated Assessment Model*) asignan automáticamente un valor inferior a los impactos climáticos que ocurrirán en un futuro más lejano, lo cual también es una decisión moral acerca de la importancia que damos a los daños sufridos por las generaciones futuras (Intemann, 2015).

Los ejemplos presentados anteriormente demuestran que, en el curso de una investigación, muchas veces es necesario tomar decisiones que no pueden ser resueltas apelando a la evidencia o al método científico. Es importante señalar que en estas situaciones las consideraciones éticas o políticas determinan qué tipo de observaciones son relevantes, o cuánta evidencia necesitamos para aceptar una hipótesis, pero nunca ocupan el lugar de la evidencia. Es decir, los valores de científicos y políticos nunca pueden ser motivo para aceptar o rechazar una hipótesis. Este sería un caso de ciencia “corrupta” (cfr. Oreskes y Conway, 2011), donde los valores sí han comprometido la integridad científica.

En las situaciones descritas anteriormente, los juicios de valor no han condicionado directamente los resultados de la investigación, sino que han contribuido a tomar decisiones científicas que de otra manera no se habrían podido resolver (Parker y Winsberg, 2018). En estos casos, la influencia de factores políticos, sociales o éticos en la investigación no solo es inevitable, sino incluso deseable. Bajo las condiciones adecuadas, estos valores pueden contribuir a generar predicciones climáticas que, además de verídicas, sean útiles, y respondan a las necesidades de la sociedad a la hora de enfrentar la emergencia climática. Para que esto sea posible, los juicios de valor deben hacerse explícitos en la investigación, y se debe garantizar que en las decisiones científicas se han tenido en cuenta los intereses de todos los actores afectados por el sistema climático, de manera que no dependan de los criterios personales de los científicos (Intemann, 2015).

1.2 Dimensiones sociales de la ciencia.

Las consideraciones desarrolladas hasta ahora demuestran que no es necesario eliminar los juicios de valor para cumplir las dos funciones del ideal de la neutralidad axiológica: garantizar el rigor científico y limitar el poder de influencia de las investigadoras (de Melo-Martin e Intemann, 2016). Sin embargo, esto no significa que

la influencia de los valores sea aceptable en todos los casos. Abandonar el paradigma de la neutralidad axiológica requiere también establecer criterios que nos permitan distinguir en qué casos los valores operan de manera legítima o ilegítima en la investigación científica (Resnik y Elliott, 2023).

Por otra parte, reconocer el rol de los valores en la ciencia significa aceptar que la ciencia es una actividad humana, hecha por seres humanos, y por tanto no puede mantenerse aislada de la esfera social. Pero esto implica también la posibilidad de que la ciencia también se vea afectada por las desigualdades que atraviesan a la sociedad en su conjunto, y que se han visto intensificadas por la crisis climática (Dolšak y Prakash, 2022). En este sentido, las decisiones científicas que se toman a la hora de investigar y predecir el cambio climático podrían no tener en cuenta las necesidades de las poblaciones más vulnerables frente al cambio climático, algo que se ha reconocido en informes recientes del IPCC: “Sectors or groups whose interests do not influence research and modelling priorities may thus receive less information in support of their climate-related decisions” (Chen et al., 2021, p. 172). En la siguiente sección analizaremos un estudio de caso relacionado con el negacionismo climático, para mostrar de qué manera las prácticas científicas pueden reproducir las desigualdades sociales existentes. Con esto, tratamos de señalar que la pregunta acerca de cuándo es legítima la influencia de los valores en la investigación va más allá de si ha habido una influencia directa en los resultados de la investigación.

2. Estudio de caso. El desafío del negacionismo científico

En esta sección analizaremos el caso de climatólogos “escépticos” con la hipótesis del calentamiento global antropogénico, para mostrar algunas de las problemáticas relacionadas con la influencia de la política en las ciencias del clima. En concreto, nos centraremos en el artículo más reciente de John Christy y Richard Lindzen (2024), quienes desde los años 90 han tratado de desmentir por diversas vías la hipótesis del calentamiento global antropogénico (Lloyd, 2012). Hablamos de científicos “escépticos” en lugar de negacionistas porque Christy y Lindzen no niegan que las emisiones de CO₂ y otros gases producen un efecto invernadero en la atmósfera. Sin embargo, afirman que la comunidad científica ha exagerado sus dimensiones, pues la sensibilidad del sistema climático es mucho menor de lo que calculan los modelos climáticos actuales (cfr. McKittrick y Christy, 2020).

2.1. Las hipótesis de la “ciencia escéptica”

En su artículo de investigación más reciente, Christy y Lindzen (2024) distinguen entre los regímenes tropicales, más estables y afectados por el efecto invernadero, y regímenes extratropicales (de trópicos a polos), influidos principalmente por eddies convectivos que transportan calor de los trópicos a los polos. Estos eddies determinan el gradiente de temperatura entre los trópicos y los polos (ΔT). Christy y Lindzen sostienen que, mientras que las temperaturas tropicales han permanecido relativamente constantes a lo largo del tiempo, se han producido fluctuaciones sustanciales en ΔT .

La distinción entre regímenes climáticos tropicales y extratropicales constituye la base de su comparación entre los principales cambios climáticos del pasado y las

tendencias climáticas actuales. Los cambios climáticos históricos están estrechamente asociados a fluctuaciones de ΔT , que dependen de las condiciones de la superficie terrestre fuera de los trópicos y no se ven afectadas por el efecto invernadero (Lindzen & Christy, 2024 p. 3). El cambio climático actual, sin embargo, está vinculado a un aumento de temperatura en los Trópicos debido al efecto invernadero, que según estos autores no es necesariamente indicativo de un calentamiento global. El desajuste entre las temperaturas observadas y las predicciones de los modelos climáticos significa que estos últimos tienden a sobreestimar el aumento de la temperatura debido al efecto invernadero. Esta discrepancia entre modelos y observaciones se debería, en parte, a que los modelos climáticos actuales no tienen en cuenta el enfriamiento provocado por las nubes, que según Christy (2009) podrían contrarrestar el efecto invernadero.

2.2. Dimensiones políticas del negacionismo climático

El análisis de Christy y Lindzen tiene una consecuencia política directa: si la actividad humana no tiene un impacto significativo en el sistema climático, las políticas de mitigación no solo son innecesarias, sino que no tendrán efecto alguno en la temperatura media de la atmósfera. Christy (2009; 2012; 2017) defiende que reducir las emisiones de GEI, además de ser una medida inefectiva, tendría un coste demasiado elevado en términos sociales y económicos, pues requeriría reducir drásticamente nuestro consumo de energía. Esto perjudicaría especialmente a los países “en vías de desarrollo” (sic), pues no podrían alcanzar los mismos niveles de crecimiento económico que las regiones más ricas del planeta.

Pese a que Christy (2011; 2017) afirma aplicar estrictamente el método científico, y acusa a instituciones como el IPCC de tener un sesgo ideológico, su investigación también se apoya en juicios de valor implícitos, como mostraremos a continuación. El principal reto de casos como este no es eliminar la influencia de los valores en las ciencias del clima, pues esto no siempre es posible y, como hemos mostrado anteriormente, puede resultar indeseable. La cuestión aquí es, en primer lugar, si estos valores eran legítimos desde un punto de vista epistémico y político, y en segundo lugar, preguntarnos si en las decisiones científicas se han tenido en cuenta a todos los actores afectados por la crisis climática. Mi tesis es que el diseño de la investigación de Christy y Lindzen no solo promueve el negacionismo climático, sino que además oculta los efectos desiguales de la crisis climática en las distintas regiones del globo. Esto se debe a que Christy y Lindzen solo evalúan la gravedad del efecto invernadero por su contribución al aumento de la temperatura *global*. Aun cuando fuera cierta la tesis de que el efecto invernadero *solo* produce subidas de temperatura en los Trópicos, este análisis no tiene en cuenta las posibles consecuencias del aumento de temperaturas en las regiones tropicales. Esta afirmación se apoya en un juicio de valor implícito: la crisis climática solo es relevante en la medida en que afecta a las regiones del Norte global, y que mantener nuestro nivel de vida es más importante que prevenir catástrofes climáticas en estas regiones.

Aquí podemos identificar algunas de las dimensiones en que los valores pueden haber influido la investigación científica. En primer lugar, la variable “temperatura media global” adquiere aquí una carga ético-política, pues desempeña un rol homogeneizador que oculta las desigualdades geográficas y sociales que atraviesan la crisis climática (Lam y Rousselot, 2024). Aunque las ciencias climáticas requieren

hacer predicciones globales, un foco excesivo en el impacto del efecto invernadero en la temperatura media global puede crear puntos ciegos respecto a los impactos climáticos específicos en las distintas regiones del planeta.

En segundo lugar, aquí encontramos una situación de riesgo inductivo. Christy y Lindzen (2024, p. 5) señalan que las discrepancias entre las predicciones de los modelos y las temperaturas observadas en los polos son «claras y pronunciadas». Sin embargo, los estándares para aceptar o rechazar una hipótesis suelen ser más estrictos cuando un error potencial puede tener consecuencias graves. Concluir que el calentamiento global no es un problema grave basándose únicamente en las discrepancias entre los modelos y las predicciones podría violar el principio precautorio, según el cual las inferencias científicas deben proceder con cautela cuando existe el riesgo de provocar daños a seres humanos, a la salud pública o al medio ambiente (Steel, 2014). Christy (2009), por ejemplo, plantea que los modelos climáticos deberían tener en cuenta el posible enfriamiento provocado por las nubes para corregir su tendencia a sobreestimar la subida de temperaturas. Sin embargo, esto supone introducir en los modelos un parámetro más propenso a errores de tipo II, lo que obliga a considerar sus posibles consecuencias prácticas.

3. Discusión

Como hemos planteado anteriormente, la cuestión de los valores en la investigación científica va más allá de si éstos han influido directamente en los resultados de la investigación. En el caso de Christy y Lindzen, no hay evidencia de que los datos se hayan manipulado; la investigación ha sido sometida a revisión por pares y publicada en una revista científica, por lo que podemos asumir que se han cumplido unos estándares mínimos desde el punto de vista científico. Sin embargo, esta investigación tiene consecuencias indeseables, tanto en el plano político como en el científico. En el plano político, este tipo de investigaciones se han utilizado para obstaculizar o eliminar políticas de mitigación. Esto tiene como consecuencia directa intensificar la gravedad de la crisis climática, y aumentar los daños sufridos por las poblaciones más vulnerables. En el plano científico, el papel homogeneizador de la variable “temperatura media global” impide analizar los impactos específicos de la crisis climática en las distintas regiones del planeta. De esta manera, los actores y regiones más afectados por la crisis climática no tienen acceso a predicciones relevantes que les permita hacer frente a sus efectos. Christy (2009) afirma actuar por los intereses de los países que él considera “subdesarrollados”, llegando a afirmar que lo mejor para estas regiones es continuar quemando combustibles fósiles. Sin embargo, su práctica científica refleja sesgos que reproducen injusticias climáticas existentes.

Más allá de la problemática del negacionismo, este análisis muestra que uno de los riesgos de que la ciencia esté “cargada de valores” es precisamente la reproducción de desigualdades sociales y geográficas, que puede comprometer tanto nuestra comprensión científica de la crisis climática, como la capacidad de los agentes más vulnerables para enfrentar sus efectos. La manera de evitar esto no es aspirar a una ciencia totalmente libre de valores, sino incorporar los valores en la ciencia de manera transparente y democrática, de manera que se tengan en cuenta los diversos valores e intereses de los principales actores implicados en la crisis climática. Para ello, no basta

con garantizar que los valores no han influido directamente en los resultados de la investigación.

Si ciertas formas de hacer ciencia reproducen desigualdades políticas y regionales, podemos preguntarnos en cambio qué tipo de ciencia podría promover la justicia climática. Una ciencia políticamente comprometida con la igualdad y la justicia no corre el riesgo de estar sesgada ideológicamente, sino que está en condiciones de generar conocimientos genuinamente relevantes, como han argumentado las epistemologías feministas desde hace varias décadas (cfr. Haraway, 2013).

Aunque los trabajos al respecto aún son escasos (cfr. Zimm et al., 2024) implicaría desarrollar nuevas metodologías que reflejen mejor los impactos climáticos regionales, ampliar la participación democrática en la fijación de los objetivos de investigación y crear mecanismos institucionales que garanticen la integración de la justicia climática en la ciencia y la política climáticas. Al incorporar esta dimensión política, la ciencia podría contribuir de manera más equitativa y eficaz a prepararnos para los retos que deberemos enfrentar en las próximas décadas.

AGRADECIMIENTOS

Laura Nuño de la Rosa (UCM)

María Jiménez Buedo (UNED)

Astrid Wagner (IFS-CSIC)

REFERENCIAS

Chen, X., Zhou, Y., Zhang, Y., & Wu, Z. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Christy, J. (2009). Written testimony, House Ways and Means Committee, February 25, 2009.

Christy, J. (2012). Written testimony, Senate Environment and Public Works Committee, 1 August 2012.

Christy, J. (2017). Written testimony, U.S. House Committee on Science, Space & Technology, March 29, 2017.

de Melo-Martín, I., & Intemann, K. (2016). The Risk of Using Inductive Risk to Challenge the Value-Free Ideal. *Philosophy of Science*, 83(4), 500–520.

<https://doi.org/10.1086/687259>

Dolšák, N., & Prakash, A. (2022). Three faces of climate justice. *Annual Review of Political Science*, 25(1), 283-301.

Gundersen, T. (2020). Value-Free yet Policy-Relevant? The Normative Views of Climate Scientists and Their Bearing on Philosophy. *Perspectives on Science*, 28(1), 89–118. https://doi.org/10.1162/posc_a_00334

Haraway, D. (2013). Situated knowledges: The science question in feminism and the privilege of partial perspective 1. In *Women, science, and technology* (pp. 455-472). Routledge.

- Intemann, K. (2015). Distinguishing between legitimate and illegitimate values in climate modeling. *European Journal for Philosophy of Science*, 5(2), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s13194-014-0105-6>
- Jebeile, J., & Crucifix, M. (2021). Value management and model pluralism in climate science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 88, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2021.06.004>
- Lam, V., & Rousselot, Y. (2024). Anthropocene, planetary boundaries and tipping points: Interdisciplinarity and values in Earth system science. *European Journal for Philosophy of Science*, 14(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s13194-024-00579-4>
- Lindzen, R. S., & Christy, J. R. (2020). The Global Mean Temperature Anomaly Record. CO2 Coalition. <https://co2coalition.org/wp-content/uploads/2021/08/Global-Mean-Temp-Anomalies12.08.20.pdf>
- Lloyd, E. A. (2012). The role of ‘complex’ empiricism in the debates about satellite data and climate models. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 43(2), 390–401. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2012.02.001>
- Mauritsen, T., Stevens, B., Roeckner, E., Crueger, T., Esch, M., Giorgetta, M., ... & Tomassini, L. (2012). Tuning the climate of a global model. *Journal of advances in modeling Earth systems*, 4(3).
- McKittrick, R., & Christy, J. (2020). Pervasive warming bias in CMIP6 tropospheric layers. *Earth and Space Science*, 7(9), e2020EA001281. <https://doi.org/10.1029/2020EA001281>
- Oreskes, N., & Conway, E. M. (2011). *Merchants of doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*. Bloomsbury Publishing USA.
- Parker, Wendy, "Climate Science", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2023 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/fall2023/entries/climate-science/>.
- Resnik, D. B., & Elliott, K. C. (2023). Science, Values, and the New Demarcation Problem. *Journal for General Philosophy of Science*, 54(2), 259–286. <https://doi.org/10.1007/s10838-022-09633-2>
- Steel, D. (2014). *Philosophy and the Precautionary Principle*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/philosophy-and-the-precautionary-principle/FB666B607B8A87E3075A235F2F1530AB>
- Rudner, R. (1953). The Scientist Qua Scientist Makes Value Judgments. *Philosophy of Science*, 20(1), 1–6.
- Tuana, N., Parker, W., & Helgeson, C. (en prensa). How uncertainty interacts with ethical values in climate change research. In *Uncertainty in Climate Change Research: An Integrated Approach* (O. Means et. al.). Springer. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21550085.2012.685557>

APROXIMACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR VITIVINÍCOLA DE LA REGIÓN DEL DUERO (CASTILLA Y LEÓN)

Astrid MARCOS SANZ

Facultad de Humanidades y Comunicación. Universidad de Burgos (UBU)

astridms@ubu.es

RESUMEN

En el contexto del cambio climático, la Región del Duero en Castilla y León –de gran tradición e importancia vitivinícola con doce Denominaciones de Origen Protegidas (DOP), está experimentando cambios en las condiciones ambientales y en los ritmos agroecológicos que revelan un potencial efecto distorsionador en la producción y calidad de la uva y del vino. Los índices bioclimáticos, entre los que se encuentran el Índice de Winkler o grados día crecimiento (GDD) (1944) y el Índice Heliotérmico de Huglin (1978) constituyen una herramienta eficaz para detectar posibles alteraciones en las condiciones climáticas de un área vitícola. En este sentido, el análisis, mediante estos índices bioclimáticos de las temperaturas diarias y de las precipitaciones anuales de un número representativo de estaciones meteorológicas del área de estudio, ha evidenciado cambios de tendencia que parecen consolidarse. El incremento de las temperaturas y la reducción de los recursos hídricos disponibles por el aumento de la evapotranspiración potencial plantean desafíos que repercutirán en el sector vitivinícola, afectando a todos los agentes implicados, tanto en los procesos de producción/elaboración, como en las actividades de la cadena de valor asociadas al sector. Estos retos van desde los cambios en la evolución fenológica de la vid e incremento de las necesidades hídricas, hasta el posible desplazamiento en altitud de los viñedos hacia las zonas climáticamente menos adversas para el cultivo, todo ello con posibles efectos sobre las características de los vinos.

Palabras clave: Cambio ambiental, índices bioclimáticos, adaptación, mitigación, viñedo, Duero.

ABSTRACT

In the context of climate change, the Duero Region in Castilla y León - a region with a great wine-growing tradition and importance with twelve Protected Designations of Origin (PDO) - is experiencing changes in environmental conditions and agro-ecological rhythms that reveal a potential distorting effect on grape and wine production and quality. Bioclimatic indices, including the Winkler Index or Growing Degree Day (GDD) (1944) and Huglin's Heliothermal Index (1978), are an effective tool for detecting possible alterations in the climatic conditions of a viticultural area. In this sense, the análisis by means of these bioclimatic indices of the daily temperatures and annual rainfall of a representative number of weather stations in the

study area, has revealed changes in trends that appear to be consolidating. The increase in temperatures and the reduction in available water resources due to the increase in potential evapotranspiration pose challenges that will have an impact on the wine sector, affecting all the agents involved, both in the production/processing processes and in the value chain activities associated with the sector. These challenges include changes in the phenological evolution of the vine and increased water requirements, to the possible shift in altitude of the vineyards towards climatically less adverse areas for cultivation, with possible effects on the characteristics of the wines.

Keywords: Environmental change, bioclimatic indices, adaptation, mitigation, vineyard, Douro

1. INTRODUCCIÓN.

Los efectos del cambio climático en los cultivos han sido ampliamente estudiados, tanto en los aspectos fenológicos (Zahradníček et al., 2024) como en los fisiológicos (Forkel et al, 2016). No obstante, sigue existiendo una gran incertidumbre respecto a sus consecuencias dada la complejidad y posibles cambios de tendencia de las variables que influyen en el comportamiento de las plantas bajo unas condiciones climáticas cambiantes y sus interacciones por el aumento de los gases de efecto invernadero de origen antrópico (Lesk et al., 2022).

La producción vitivinícola se ve afectada de manera directa por el calentamiento global. Las cada vez más cálidas temperatura medias y extremas, junto con los cambios en los regímenes de precipitación, entre otros factores, hacen a este sector especialmente vulnerable al cambio climático por la potencial variabilidad de la producción en cantidad y calidad (Jägermeyr et al., 2021). Además, los riesgos relacionados con el clima, como olas de calor, sequías o inundaciones, que, bien de manera aislada o combinada, ocurren con cada vez mayor frecuencia en el tiempo y en el espacio, plantean nuevos retos que solo podrán solventarse, y quizá en parte, a través de una correcta adaptación (IPCC, 2021; Lesk et al., 2022).

El viñedo, uno de los cultivos de mayor importancia económica a nivel mundial (Costa et al., 2020), tiene en el clima la razón principal de su territorialización (Biasi et al., 2019). La literatura científica señala como uno de los efectos más preocupantes derivados del cambio climático las limitaciones en la aptitud productiva de amplias zonas de distribución clásica de la vid (Schultz, 2010; Van Leeuwen y Destrac-Irvine, 2017). Y es que las regiones vitícolas, clasificadas tradicionalmente por índices bioclimáticos en función de su potencial climático para la producción de uva de vinificación (Winkler, 1962; Huglin 1978; Jones y Davis, 2000; Monteverde y De Sales, 2020), están experimentando cambios que ya están siendo registrados. Hasta el momento, las principales regiones vitivinícolas se encontraban ubicadas en las latitudes medias bajas, donde el clima favorece la producción de vino de calidad, que cuenta con gran salida en los mercados nacionales e internacionales (Lasanta et al., 2022). Sin embargo, amplias zonas, especialmente de la región mediterránea, pueden ver limitada, para finales de siglo, su idoneidad productiva debido a unas condiciones climáticas cada vez más cálidas y a sequías más extremas en beneficio de otras regiones situadas en latitudes más altas, con climas más fríos, como el sur de Reino

Unido, donde el incremento térmico global permite ya una mejor maduración de la uva y una menor afección de algunas enfermedades de la vid relacionadas con una humedad elevada (Mora et al., 2015; Van Leeuwen et al., 2024). Asimismo, las temperaturas elevadas favorecen unas mayores concentraciones de azúcar en la uva y, por tanto, mayor potencial alcohólico, además de niveles desequilibrados en acidez, color y aroma, comprometiendo la calidad de los vinos y su estabilidad (Costa et al., 2020; Van Leeuwen et al., 2019).

Los ritmos fenológicos de las plantas, y por tanto de la vid, están fuertemente ligados a la temperatura (Hufkens et al., 2012). El incremento térmico, que ha propiciado un inicio más temprano de los tipos de tiempo primaverales, adelanta los estados fenológicos durante todo el ciclo de desarrollo y acorta los intervalos de crecimiento (Cook y Wolkovich, 2016; Menzel et al., 2006; Jones y Davis, 2000). Este hecho, que puede afectar al rendimiento, supone potencialmente un problema adicional, ya que el desarrollo temprano y acelerado de los cultivos aumenta la magnitud de los daños por episodios de heladas tardías, cuya afección es especialmente peligrosa cuando las plantas se encuentran en las primeras etapas del ciclo biológico tras el periodo de latencia (Hufkens et al., 2012, Zahradníček et al., 2024).

La aparición más temprana de la brotación, además de por la temperatura, también se ve amenazada por unas condiciones de sequía más extremas (Cook y Wolkovich, 2016; Van Leeuwen et al., 2009). Y es que la cantidad y distribución de la precipitación anual también influye en la calidad de la uva; mientras que el estrés hídrico moderado propio del clima mediterráneo permite una acumulación óptima de los niveles de azúcar en la baya, un estrés hídrico excesivo limita la fotosíntesis y reduce su desarrollo (Van Leeuwen et al., 2009). Por tanto, y según las proyecciones del IPCC (2021), el descenso “probable” de las precipitaciones en las regiones secas de latitud media y subtropical, incluida España, supondrá un riesgo para la producción y los estilos del vino.

El estrés hídrico y el térmico severo también afectan a la productividad de la vid (Fraga et al., 2013). Además, cada una de las variedades tiene diferentes demandas de luz, calor y agua. En este sentido, con los cambios en las condiciones climáticas previstos, no todas las variedades cultivadas tradicionalmente en cada una de las zonas vitícolas van a poder adaptarse, por lo que verán alterada su capacidad productiva (Ghantous et al., 2024; Parker et al., 2011). Por ejemplo, mientras que la variedad Garnacha resiste unas condiciones más secas, la variedad Merlot es más sensible a estas (Van Leeuwen et al., 2009).

Según el IPCC (Bezner et al., 2022), la viabilidad de las regiones vitivinícolas y su capacidad productiva dependerá del conocimiento de la variabilidad climática local y de la puesta en marcha de medidas de mitigación y adaptación. Prácticas de gestión de los viñedos como la poda más tardía o el adelantamiento de la cosecha, u otras como la selección de material vegetal más resistente a las temperaturas más cálidas y a las sequías, la incorporación de regadío, o la propia reubicación del viñedo hacia altitudes más elevadas, son algunas de las estrategias que ya se plantean con frecuencia (Van Leeuwen et al., 2024).

1.1. Objetivos-hipótesis

Considerando este marco general, la presente aportación tiene por objeto mostrar los resultados del análisis climático llevado a cabo en la Región vitivinícola del Duero, como ámbito de estudio en el que se constatan cambios de tendencia en las variables climáticas con potenciales efectos en el sector vitivinícola. Es un punto de partida necesario para estudiar la viabilidad del cultivo en nuevos contextos ambientales en una región vinatera de gran importancia en España, así como las posibles estrategias de adaptación/mitigación para hacer frente y/o moderar los impactos del cambio ambiental en curso.

Las hipótesis que se plantean son:

- El calentamiento global, y específicamente regional en el área de estudio, tendrán un impacto significativo en el cultivo de la vid.
- Metodológicamente, los índices bioclimáticos son buenos indicadores para estudiar el impacto del cambio climático en la vid.

2. ÁREA DE ESTUDIO, DATOS Y MÉTODOS

El área de estudio es la Región vitivinícola del Duero en Castilla y León. Se toman como base territorial para el estudio de las variables climáticas las provincias de Soria, Burgos, Valladolid, Zamora y Salamanca por las que discurre el Duero. Con larga tradición vitivinícola, la zona de estudio incluye doce Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) en torno al Duero: las Denominaciones de Origen (DO) «Ribera de Duero», «Arlanza», «Cigales», «Rueda», «Toro», «Tierra del Vino de Zamora» y «Arribes»; los Vinos de Calidad (VC) de «Valtiendas» y «Valles de Benavente»; y, los Vino de Pago (VP) de «Abadía de Retuerta», «Dehesa Peñalba» y «Uruña». En esta zona, con una superficie de viñedo total aproximada de 65.383 ha, la mayor parte del viñedo es de secano.

Las condiciones climáticas de este sector central de la cuenca sedimentaria castellanoleonesa se corresponden con un clima mediterráneo de interior, de inviernos largos y rigurosos, y veranos cortos, secos, con días calurosos y contrastados diariamente, con matices en los Arribes del Duero, donde la menor altitud y configuración geomorfológica de abrigo favorece unos inviernos más suaves y unos veranos más largos y calurosos (Calonge, 1990). En el resto de la cuenca, son habituales las advecciones muy frías, con episodios de heladas tardías en los meses de marzo y abril, altamente dañosas para los cultivos (Gil y Olcina, 2017). En relación a las precipitaciones, no son muy abundantes, aunque con diferencias apreciables entre unos sectores y otros, entre 325 y 600 mm.

Para determinar la magnitud de los cambios en las condiciones climáticas, se analizaron las temperaturas diarias y anuales, además de las precipitaciones anuales, de 10 estaciones meteorológicas durante el período de 1950 a 2022. Los datos fueron extraídos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Para la selección de las estaciones meteorológicas se realizó una búsqueda de las que, siendo representativas del área de estudio, tuvieran series climáticas largas y superasen el período de 30 años de registro recomendado por la Organización Meteorológica Mundial. Algunas series climáticas presentaban una ausencia de datos

en determinados períodos. Para solventar dicho problema, se procedió a su reconstrucción mediante correlación lineal tomando para ello la estación con datos más próxima a la estudiada.

Con la finalidad de observar la tendencia de las temperaturas y los posibles cambios en la idoneidad climática para el cultivo de la vid en la región vitivinícola del Duero, se utilizaron índices bioclimáticos, como el índice de Winkler o grados días de crecimiento (GDD) (Winkler, 1962), y el índice Heliotérmico de Huglin (Huglin, 1978), que permiten evaluar la idoneidad zonal para el cultivo de la vid. Ambos índices se basan en el cálculo de los grados-día por encima de 10°C a partir de 1 de abril. Se estudiaron también las temperaturas y precipitaciones medias anuales para examinar su evolución. A las series obtenidas se les aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall a fin de comprobar si la tendencia apreciada era estadísticamente significativa. Con los datos obtenidos, y a fin de observar la tendencia a futuro, se realizaron proyecciones lineales a 2050 utilizando, para ello, la recta de regresión lineal ofrecida por el mismo test estadístico:

$$f(\text{year}) = Q * (\text{year} - \text{firstDataYear}) + B$$

Donde:

(Q) es la magnitud de la pendiente por año. Si este valor es positivo, indica una tendencia creciente. Si el valor es negativo, indica una tendencia decreciente (Jiqin et al., 2023).

(B) es una constante

(firstDataYear) es el primer año de la serie climática estudiada. En este caso, 1950.

Una vez calculados los índices y las proyecciones climáticas, se procedió a la representación cartográfica de los resultados. Para ello, se descargó la capa Shapefile de estaciones climatológicas de la AEMET. Tras la selección de los observatorios objeto de estudio, se asignó, a cada uno de los años de la serie temporal 1950-2022, los resultados de cada índice y se realizó una interpolación inversa a la distancia (IDW). Se incorporó, además, el modelo digital del terreno (MDT) (200 metros), extraído del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

3. RESULTADOS

Partiendo de la caracterización climática indicada anteriormente, el estudio de la evolución de las variables climáticas mediante los índices de Winkler y de Huglin, dio resultados evidentes de una tendencia de incremento de las temperaturas diarias en nueve de los diez observatorios analizados. Esta tendencia térmica al alza es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99,9%, mientras que, en el restante, lo es con un nivel de confianza del 95%. Del mismo modo, el análisis de la temperatura media anual, así como las proyecciones a 2050, muestran una clara tendencia creciente en la totalidad del territorio analizado (Figura 1). Los datos obtenidos de los índices dan lugar, además, a cambios en la categorización vitivinícola seguida por ambos índices, de manera que es probable que en el futuro se produzcan cambios en la aptitud agroecológica de las variedades a cultivar.

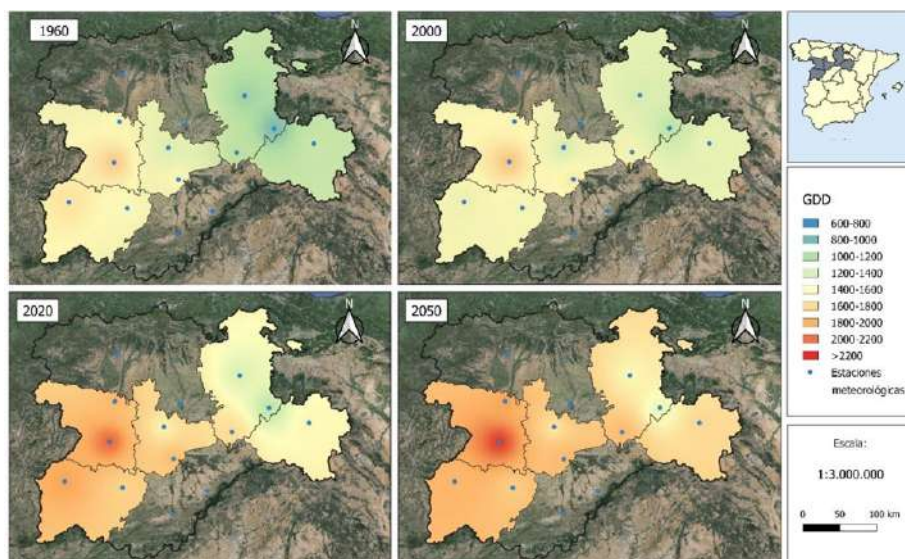


Fig.1: Evolución del índice bioclimático GDD en la Región vitivinícola del Duero en Castilla y León. Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos de la AEMET.

El análisis de las temperaturas ha evidenciado, también, un aumento de las denominadas por algunos autores “temperaturas negativas para la vid”, esto es, temperaturas superiores a los 35°C a la sombra, que, en función de su duración y frecuencia, pueden tener efectos perjudiciales en la fisiología del cultivo e, incluso, inhibir de manera parcial o total las funciones de la planta (Monteverde y De Sales, 2020). Como ejemplo, en el observatorio climatológico de Burgos aeropuerto se registraron, para el período 1950-1999, un total de 60 días con temperaturas iguales o superiores a los 35°C, mientras que, para el período 2000-2022, el número de días asciende a 114. Lo mismo ocurre en otros observatorios como el de Salamanca, donde para el período 1950-1999, 231 días registraron temperaturas iguales o superiores a los 35°C, dato que asciende a 252 días para el período 2000-2022.

En el caso de las precipitaciones, los resultados del mismo test muestran que prácticamente llueve lo mismo que hace 50 años, a excepción de León y Ávila, que presentan un descenso, pero solo con un nivel de confianza del 90%. No obstante, sí puede observarse, en todos los casos, una cierta reducción.

4. DISCUSIÓN

La Región vitivinícola del Duero ha experimentado un incremento paulatino de las temperaturas desde el año 1950. Teniendo en cuenta los cambios observados en los propios índices bioclimáticos, donde se ha registrado un aumento de los días con temperaturas superiores a 10°C, y de cumplirse tanto las proyecciones climáticas del IPCC como las tendencias lineales a 2050 analizadas en el área de estudio, la idoneidad zonal productiva, la superficie apta para el cultivo, el rendimiento de la vid

y la viabilidad de las variedades cultivadas tradicionalmente pueden verse gravemente afectados. Como ejemplo, un estudio desarrollado por Ghantous et al. (2024) demostró que, para la zona del Líbano, la variedad Cabernet Sauvignon, cultivada también en el área de estudio del Duero, ha experimentado unos descensos drásticos en los rendimientos y en la calidad de la uva bajo unas condiciones cada vez más cálidas. En otras zonas, como en Burdeos, donde ya se han observado cambios en el estilo del vino, se han adelantado sustancialmente las fechas de vendimia.

La tendencia al alza de las temperaturas, con una cuantía de precipitaciones que no varía en gran medida, provocará un incremento del déficit hídrico fruto del aumento de la evapotranspiración potencial. Todo ello, junto con el descenso de la humedad del suelo, derivará en una mayor demanda de agua por parte de la agricultura en general, y del cultivo de la vid en particular.

Para hacer frente a unas condiciones climáticas cada vez más cálidas y secas, y dada la sensibilidad de la vid a los cambios en las condiciones climáticas e importancia socioeconómica del sector, es fundamental la puesta en marcha de medidas de mitigación y adaptación que minimicen el impacto del cambio climático. Técnicas como una poda más tardía o la propia cobertura del suelo con material vegetal, pueden favorecer una maduración más controlada y, por tanto, un fruto más equilibrado. Sin embargo, y dadas las proyecciones, es probable que sea necesario implantar otras medidas como la cobertura de regadío para paliar las situaciones de estrés hídrico, cambios en las variedades o en la propia ubicación del viñedo. De hecho, todas ellas, que serán analizadas en investigaciones futuras poniendo en valor la capacidad de respuesta de los diferentes agentes implicados en torno a la producción vitícola y elaboración de vinos de calidad con identidad de origen Duero, ya se están efectuando en algunas zonas, como en La Rioja, donde la superficie de viñedo en regadío se ha incrementado de manera considerable, desde 1990 hasta 2018, y donde también se ha extendido el viñedo cultivado a mayor altitud (Lasanta et al., 2022). No obstante, la capacidad de adaptación dependerá no sólo del ritmo de adopción de las medidas, sino también del ajuste reglamentario de las Denominaciones de Origen y de la propia capacidad de los diferentes agentes del sector para responder a los retos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada en el marco del contrato predoctoral de personal investigador de la Junta de Castilla y León (convocatoria 2022), cofinanciado con el Fondo Social Europeo Plus (FSE+).

REFERENCIAS

- Biasi, R., Brunori, E., Ferrara, C., Salvati, L. (2019): Assessing Impacts of Climate Change on Phenology and Quality Traits of *Vitis vinifera* L.: The Contribution of Local Knowledge, *Plants* (Basel), 8(5):121. doi: <https://doi.org/10.3390/plants8050121>
- Bezner Kerr, R., T. Hasegawa, R. Lasco, I. Bhatt, D. Deryng, A. Farrell, H. Gurney-Smith, H. Ju, S. Lluch-Cota, F. Meza, G. Nelson, H. Neufeldt, and P. Thornton (2022): Food, Fibre, and Other Ecosystem Products. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 713–906. doi: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.007>
- Calonge, G. (1990): La excepcionalidad climática de los Arribes del Duero, *ERIA*, 21, 45-59. <https://doi.org/10.17811/er.0.1990.45-60>
- Cook, B., Wolkovich, E.M. (2016): Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France, *Nature Climate Change*, 6, 715-719. doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate2960>
- Costa, C., Graça, A., Fontes, N., Teixeira, M., Gerós, H., Santos, J. (2020): The Interplay between Atmospheric Conditions and Grape Berry Quality Parameters in Portugal, *Applied sciences*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/app10144943>
- Forkel, M., Carvalhais, N., Rödenbeck, C., Feeling, R., Heimann, M., Zaehle, S., Reichstein, M. (2016): Enhanced seasonal CO₂ exchange caused by amplified plant productivity in northern ecosystems. *Science*, 351(6274), 696–699. doi: <https://doi.org/10.1126/science.aac4971>
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J.A. (2013): An overview of climate change impacts on European viticulture, *Food and Energy Security*, 1, 94-110. doi: <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
- Ghantous, G., Popov, K., El Sebaaly, Z., Sassine, Y.N. (2024): Changes in Cabernet Sauvignon yield and berry quality as affected by variability in weather conditions in the last two decades in Lebanon, *Scientific Reports*, 14(6992). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57665-z>
- Gil, A., Olcina, J. (2017): *Tratado de climatología*. Publicaciones Universitat d'Alacant.
- Hufkens, K., Friedl, M., Keenan, T.F., Sonnentag, O., Bailey, A., O'Keefe, J., Richardson, A. (2012): Ecological impacts of a widespread frost event following early spring leaf-out, *Global Change Biology*, 18(7). doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02712.x>
- Huglin, P. (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 64, 1117-1126. [CR_Académie_agriculture_1978_64_Huglin.pdf](https://doi.org/10.17811/er.0.1990.45-60) (univ-brest.fr)
- IPCC (2021): Resumen para responsables de políticas. En: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb,

- M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (editores)]. Cambridge University Press. Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C., Elliot, J., Balkovic, J., Castillo, O., Faye, B., Foster, I., Folberth, C., Franke, J.A., Fuchs, K., Guarin, J.R., Heinke, J., Hoogenboom, G., Lizumi, T., Jain, A.K., Kelly, D., Khabarov, N., Lange, S., Lin, T.-S., Liu, W., Mialyk, O., Minoli, S., Moyer, E.J. (...) Rosenzweig, C.: (2021): Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, 2, 873–885. doi: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>
- Jiqin, H., Temesgen, F., Chaka, S. (2023): Application of MK trend and test of Sen's slope estimator to measure impact of climate change on the adoption of conservation agriculture in Ethiopia, *Journal of Water and Climate Change*, 14(3), 977-988. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.508>
- Jones, G.V., Davis, R.: (2000): Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition and Wine Production and Quality for Bordeaux, France, *American Journal of Enology and Viticulture*, 51, 249-261. doi: <https://doi.org/10.5344/ajev.2000.51.3.249>
- Lasanta, T., Bardoja, C., Cortijos, M. Nadal, E., Martín, I., García, E. (2022): Estrategias de adaptación al Cambio Climático en el viñedo de la cuenca mediterránea: El caso de la Rioja. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), 133-156. doi: <http://doi.org/10.18172/cig.5062>
- Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A., Coast O., Jägermeyr, J., McDermid, S., Davis, K., Konar, M. (2022): Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change, *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 872-889. doi: <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00368-8>
- Menzel, An., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, E., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briedge, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnell, A., Flella, Y., Jateczak, K., ... Zust, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, 12(10). doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>
- Monteverde, C., De Sales, F. (2020): Impacts of global warming on southern California's winegrape climate suitability, *Advances in Climate Change Research*, 11, 279-293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.08.002>
- Mora, C., Cladwell, I.R., Caldwell, J.M., Fisher, M.R., Genco, B.M., Running, S.W. (2015): Suitable Days for Plant Growth Disappear under Projected Climate Change: Potential Human and Biotic Vulnerability, *PLOS BIOLOGY*, 10, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002167>
- Parker, A.K., de Cortázar-Atauri, I.G., van Leeuwen, C., Chuine, I. (2011): General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L., *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17, 206-216. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x>
- Schultz, H. (2010): Climate Change and Viticulture: Research Needs for Facing the Future, *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 113-116. doi: <https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530093>
- Van Leeuwen, C., Treoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère, J-P. (2009): Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux

wine. how can it be assessed for vineyard management purposes?, *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 43(3), 121-134. doi: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>

Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A. (2017): Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard, *OENO One*, 51(2), 147-154. doi: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1647>

Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., Rességuier, L., Ollat, N. (2019): An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations, *Agronomy*, 9(9), 1-20. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>

Van Leeuwen, C., Sgubin, G., Bois, B., Ollat, N., Swingédouw, D., Zito, S., Gabetta, G. (2024): Climate change impacts and adaptations of wine production, *Nature reviews earth & environment*, 5, 258-275. doi: <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00521-5>

Winkler, A.J. (1962): *General Viticulture* University of California Press, Berkeley
Zahradníček, P., Brázdil, R., Řehoř, J., Trnka, M., Bartošová, L., Rožnovský, J. (2024): Past and present risk of spring frosts for fruit trees in the Czech Republic, *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 965-984. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04671-2>

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LAS ACTUACIONES CASTELLERAS AL CAMBIO CLIMÁTICO: ¿QUÉ ES MÁS PRIORITARIO Y VIABLE?

Òscar SALADIÉ^{1,2}, Anna BOQUÉ-CIURANA^{2,3}, Júlia SEVIL⁴ y Jon Xavier OLANO POZO^{2,3}

¹*Grupo de Investigación en Análisis Territorial y Estudios Turísticos. Departamento de Geografía. Universitat Rovira i Virgili.*

²*Institut Universitari de Recerca en Sostenibilitat, Canvi Climàtic i Transició Energètica. Universitat Rovira i Virgili.*

³*Centre for Climate Change. Departamento de Geografía. URV.*

⁴*Facultad de Turismo y Geografía. Universitat Rovira i Virgili.*

oscar.saladie@urv.cat, anna.boque@urv.cat, juliva.sevil@urv.cat,
jonxavier.olano@urv.cat

RESUMEN

Una de las consecuencias del cambio climático es el incremento de los días con situaciones meteorológicas adversas para la realización de actividades al aire libre, principalmente en verano. Esto incluye los castells, una actividad declarada Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad de la UNESCO en 2010. Por tanto, aumenta la probabilidad de que una de estas situaciones meteorológicas coincida con una actuación castellera (diada). El objetivo de este estudio es analizar las medidas de adaptación de esta actividad al cambio climático, teniendo en cuenta su prioridad y viabilidad. Los resultados son fruto de dos talleres con miembros de la Colla Vella dels Xiquets de Valls y de la Colla Joves Xiquets de Valls. Los resultados permiten establecer ocho tipos de medidas: (i) cambiar el momento del día de la actuación, (ii) cambiar el día de la actuación, (iii) reducir la temperatura/insolación de los espacios, (iv) adaptarse a las características de la plaza, (v) limitar la duración de la diada, (vi) mejorar la equipación, (vii) disponer de agua y (viii) aumentar las dotaciones sanitarias *in situ*. Las aportaciones de los castellers han permitido diferenciar, en el máximo nivel de concreción, 32 medidas. Entre las más prioritarias y viables se encuentra disponer de agua (fresca) y limitar la duración de la actuación. En el otro extremo destacan el cambio en el día de la actuación y en el de la hora del día de aquellas más tradicionales o vinculadas a una fiesta mayor. Una mejora en las camisas (transpirables, resistentes y evitando resbalones) se considera prioritario, pero poco viable.

Palabras clave: cambio climático, adaptación, viabilidad, prioridad, castells.

ABSTRACT

One of the consequences of anthropogenic climate change is the increase in days with adverse weather conditions for outdoor activities, especially in summer. This includes human towers (castells), an activity declared Intangible Cultural Heritage of

Humanity by UNESCO in 2010. As a result, the likelihood of such adverse weather conditions coinciding with the celebration of a human tower exhibition also rises. This study analyzes the adaptation measures for this activity in response to climate change, considering their priority and feasibility. The results are based on two workshops conducted with 32 castellers from the Colla Vella dels Xiquets de Valls and the Colla Joves Xiquets de Valls, held in June 2024. The results allow us to establish eight types of measures: (i) change in the time of the exhibition, (ii) change on the day of the exhibition, (iii) reduce the square temperature/insolation, (iv) adaptation to the square characteristics, (v) limitation of the exhibition duration, (vi) improvement of uniform, (vii) water availability, and (viii) increase in health resources. The contributions of the castellers make it possible to differentiate, at the highest level of concretion, 32 measures. Water availability and limiting the duration of the exhibitions are among the more priority and feasible. On the other hand, changing the time of the exhibition and the day of the exhibition when it is linked to a festivity are less feasible. An improvement in the uniform (shirts that are breathable, resistant, and avoid slips) is considered a priority, but not very feasible.

Key words: climate change, adaptation, priority, feasible, human towers.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades al aire libre están condicionadas por la meteorología (Wolff y Fitzhugh, 2011; Bean et al., 2021). El cambio climático es responsable de una mayor frecuencia de situaciones meteorológicas adversas para la realización de actividades al aire libre, especialmente en verano. El calentamiento global plantea un importante desafío para la regulación de la temperatura corporal y la salud humana (Lim, 2020), especialmente durante la realización de esfuerzos de alta intensidad (Bernard et al., 2021; Schneider et al., 2024). Por lo tanto, se requieren medidas de adaptación a la variabilidad y al cambio del clima (Orr y Inoue, 2019).

Los castells son una actividad cultural en que la mayoría de las actuaciones (diada castellera) se realizan al aire libre. El objetivo es construir torres humanas a diferentes pisos de altura, que adoptan estructuras variadas, todas ellas con una columna central (tronco), que tiene al menos un casteller por piso (pilar). Las estructuras completadas más elevadas son de diez pisos. Un grupo denso de castellers (pie) rodea la base del tronco para estabilizarlo.

Una diada castellera tiene lugar en espacios urbanos relativamente cerrados, principalmente plazas. La construcción de castells requiere de una elevada exigencia física y psicológica. El confort térmico en las plazas de las ciudades ha sido ampliamente estudiado (Santos Nouri y Costa, 2017; Aljawabra y Nikolopoulou, 2018). El entorno construido modifica las condiciones meteorológicas (He et al, 2023; Su et al., 2024). Durante las actuaciones, las plazas se llenan de castellers y espectadores (Figura 1).

Los castells fueron declarados Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad de la UNESCO en 2010. El impacto del cambio climático en el patrimonio cultural está poco explorado en comparación con otras actividades, y más aún en el caso del

inmaterial. Sin embargo, el número de publicaciones ha aumentado en los últimos años (Orr et al., 2021; Sesana et al., 2021).



Fig. 1: Diada Castellera en Valls (7/8/2024). Fuente: Oscar Saladié.

Tras realizar una exhaustiva revisión bibliográfica, los resultados muestran que la mayoría de la exigua literatura académica existente sobre los castells analiza las lesiones físicas a causa del derrumbe de la estructura y medidas protectoras (Godoy et al., 2010; Rovira-Ricart y Rosset-Llobet, 2008), así como su simbolismo en tanto que parte de la identidad catalana (Vaczi, 2023; Weig, 2015). El estudio de Olano Pozo et al. (2024) fue el primero en el ámbito académico que ha analizado los castells en relación al cambio climático y el confort térmico durante las actuaciones. Los resultados muestran un aumento significativo de la temperatura en el horario en que tienen lugar cuatro de las más destacadas diadas castelleras durante el período 1951-2023 y un empeoramiento de las condiciones meteorológicas para hacer esta actividad (Índice de Calor). Se han celebrado dos mesas redondas para abordar los potenciales impactos del cambio climático. La primera en el marco del *XI Simposi Casteller* (octubre 2023) y la segunda durante el *XXVIII Jornada de Prevenció de Lesions en el Món Casteller* (marzo 2024).

Asumiendo que, como consecuencia del aumento de la temperatura atribuible al cambio climático, aumenta la probabilidad de que una situación meteorológica adversa para hacer castellers (temperatura elevada + humedad alta) coincida con la celebración de una diada castellera, el objetivo de esta comunicación es determinar las posibles medias para adaptar esta actividad al cambio climático, teniendo en cuenta la mayor o menor prioridad y viabilidad de las mismas.

2. MÉTODOS

Los castells son una actividad en equipo. Una *colla castellera* es un conjunto organizado de personas (castellers), bajo un mismo nombre y un mismo color de camisa. Los resultados de este estudio son fruto de los talleres realizados con miembros de la Colla Vella dels Xiquets de Valls y de la Colla Joves Xiquets de Valls. Dos de las actuaciones castelleras más importantes de la temporada tienen lugar en Valls (Tarragona): Sant Joan (24 de junio) y Santa Úrsula (27 de octubre).

El 9 de abril de 2024 tanto la Colla Vella como la Colla Joves recibieron un correo electrónico con la propuesta de hacer un taller en donde los participantes debatieran sobre las situaciones meteorológicas más favorables y más desfavorables para hacer castells y que, a su vez, también pusieran sobre la mesa medidas de adaptación de esta actividad al cambio climático. En este estudio se presentan los resultados correspondientes a las medidas de adaptación. Se les planteó quedar un día en su local social, ya fuese por la tarde entre semana o un sábado por la mañana, indicando que el taller tenía una duración prevista de 2 horas, que se necesitaba un mínimo de 8 participantes (máximo 24), que era necesario que hubiese tanto hombres como mujeres y que los participantes cubriesen diferentes franjas de edad (todos mayores de edad), diferentes posiciones en el castell y diversidad por lo que respecta al número de años (experiencia) participando en esta actividad.

Un total de 32 castellers participaron en los talleres, que tuvieron lugar en junio de 2024, la mitad de la Colla Vella y la otra mitad de la Colla Joves (Fotografía 2). Los participantes se distribuyeron en dos mesas en cada uno de los talleres bajo la premisa de que hubiese diferentes perfiles en cada una de ellas. Los castellers recibieron información sobre el objetivo del taller y, a continuación, se les pidió que firmasen un documento manifestando el consentimiento informado para participar, de manera voluntaria, en el taller. También rellenaron un cuestionario donde informaron de las siguientes variables: sexo, edad, posición en el castell (simplificada entre pie y tronco) y años de experiencia.



*Fig. 2: Talleres celebrados con la Colla Vella (izquierda) i la Colla Joves (derecha).
Fuente: CVXV y CJXV.*

La Tabla 1 muestra la distribución de los 32 participantes teniendo en cuenta las cuatro variables indicadas. Hay una mayor presencia de hombres, así como también de castellers en que su posición en la construcción se encuentra en el pie del castell. Unos resultados que se corresponden con la realidad del mundo casteller: menor presencia de mujeres y, teniendo en cuenta la estructura de los castells, mayor número de castellers en el pie que en el tronco. En cambio, hay una sobrerrepresentación de personas mayores de 60 años.

Adaptando el proceso de co-creación desarrollado por Font-Barnet et al. (2021), los participantes de cada una de las cuatro mesas debatieron sobre las posibles medidas de adaptación al cambio climático, generando cada una de ellas un listado. A

continuación, se les proporcionó adhesivos para que distribuyesen las medidas propuestas en una hoja en base a dos ejes. En primer lugar (eje vertical), teniendo en cuenta la prioridad en que las medidas deberían ser llevadas a cabo. En segundo lugar (eje horizontal), teniendo en cuenta la viabilidad de las mismas, y que tuvieran en cuenta si la mayor o menor viabilidad era de tipo económico, técnico/tecnológico o sociocultural. La valoración de las medidas en cada uno de los dos ejes se basa en una escala *likert* de 5 puntos, donde 5 es prioridad/viabilidad muy alta, y 1 prioridad/viabilidad muy baja. Es decir, se trata indicar qué medidas de adaptación son consideradas más o menos prioritarias/viables, independientemente de que estuviesen de acuerdo, o no, en su implementación.

| Sexo | | Edad | | Experiencia | |
|-----------------|-------|------------|-------|-------------|-------|
| Mujer | 40,6% | 18-30 años | 18,8% | ≤5 años | 3,1% |
| Hombre | 59,4% | 31-45 años | 25,0% | 6-10 años | 28,1% |
| Posición | | 46-60 años | 25,0% | 11-20 años | 25,0% |
| Pie | 84,4% | >60 años | 31,2% | >20 años | 43,8% |
| Tronco | 15,6% | Promedio | 48 | Promedio | 26 |

Tabla 1: Distribución de los participantes en los talleres teniendo en cuenta sexo, edad, experiencia y posición en el castell. Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS

La Figura 3 muestra las medidas de adaptación de las actuaciones castelleras al cambio climático surgidas en los talleres, así como su valoración teniendo en cuenta prioridad (P) y viabilidad (V). El valor entre paréntesis (1 a 4) indica el número de mesas en el que se ha propuesto cada una de estas medidas. No se ha tenido en cuenta si estas medidas ya se están implementando o no, puesto que aquellas que lo están puede que no sean universales, es decir, que no se estén aplicando en todas las actuaciones.

Las medidas de adaptación se han agrupado en seis categorías teniendo en cuenta (1) cuándo tienen lugar las actuaciones, (2) la duración de las mismas, (3) el espacio físico en donde se celebran, (4) la alimentación/hidratación de los castellers durante la diada, (5) la equipación de los castellers y (6) las medidas sanitarias de carácter logístico. En las cuatro mesas se propuso, como mínimo, una medida incluida en cada una de las cinco primeras categorías. De estas categorías derivan, en un primer nivel de concreción, ocho grandes medidas, principalmente planteadas en relación a las actuaciones que tienen lugar en verano y en las horas centrales del día.

- i) Cambiar el momento del día de la actuación – no al mediodía (categoría 1).
- ii) Cambiar el día de celebración de la diada (categoría 1).
- iii) Reducir la temperatura/insolación de los espacios (categoría 2).
- iv) Adaptarse a las características de la plaza (categoría 2).
- v) Limitar de la duración de la diada (categoría 3).
- vi) Mejorar la vestimenta de los castellers (categoría 4).
- vii) Aportación constante de alimentos, principalmente hidratación (categoría 5).
- viii) Aumentar las dotaciones sanitarias desplazadas a la diada (categoría 6).

| Medidas de adaptación al cambio climático | | | | |
|---|---------------------------------|---|---|---|
| Tipología | Primer nivel de concreción | Segundo nivel de concreción | P | V |
| Cuándo (4) Diada Castellera | Cambio de hora (4) | Fiesta Mayor (1) | 2 | 2 |
| | | Diadas en Valls (1) | 1 | 1 |
| | | No Fiesta Mayor/No tradicional (2) | 2 | 4 |
| | | Diadas Junio-Agosto (1) | 5 | 5 |
| | | Adelantar el inicio por la mañana (1) | 5 | 3 |
| | Cambio de día (1) | Fiesta Mayor (1) | 3 | 3 |
| Dónde (4) Plaza castellera | Climatización (2) | Plaza (1) | 1 | 1 |
| | | Refugio castellers jóvenes (mainada) y del tronco (1) | 4 | 1 |
| | Sombra (4) | Generar zonas de sombra (2) | 5 | 2 |
| | | Instalación de toldos (2) | 4 | 4 |
| | | Plaza que quede a la sombra (1) | 2 | 1 |
| | Características de la plaza (4) | Instalación de toldos (2) | 3 | 3 |
| | | Plaza que quede a la sombra (1) | 3 | 1 |
| | | Dimensiones de la plaza (1) | 3 | 1 |
| | | Delimitación espacio (1) | 4 | 2 |
| | | Limitación público (1) | 4 | 4 |
| Duración (4) Diada castellera | Características de la plaza (4) | Limitación público (1) | 1 | 1 |
| | | Cambio ubicación - plan B (1) | 3 | 4 |
| | | Limitar número de colles (2) | 3 | 2 |
| | | "Castells a l'antiga" - alguna ronda conjunta (1) | 4 | 2 |
| | | Simultaneidad - castells predeterminados (1) | 4 | 2 |
| | | Límite de tiempo entre castells (1) | 3 | 4 |
| | | Limitar tiempo para hacer el castell (1) | 5 | 5 |
| | | Gestión entrada colles en la plaza (1) | 2 | 2 |
| | | Sistema de rondas (1) | 2 | 3 |
| | | Inicio puntual (2) | 3 | 3 |
| Equipación (4) Castellers | Características de la plaza (4) | Inicio puntual (2) | 5 | 5 |
| | | Ritmo más ágil (1) | 5 | 4 |
| | | Gestionar duración (1) | 5 | 4 |
| | | Camisa (4) | 4 | 1 |
| | | Pañuelo casteller en cabeza (1) | 4 | 3 |
| Alimentación (4) Castellers | Agua (4) | Abanico y gorra (1) | 5 | 1 |
| | | Distribuida/Puntos de agua/Fresca (4) | 2 | 2 |
| | Comida (3) | Fruta (sandía/melón) (2) | 4 | 5 |
| Sanitarias (1) Castellers/Público | Comida (3) | Punto para avituallamiento (1) | 1 | 4 |
| | | Aumentar las dotaciones sanitarias (1) | 5 | 5 |

(x) número de mesas; P y V: 1 = muy baja; 2 = baja; 3 = moderada; 4 = alta; 5 = muy alta

Fig. 3: Medidas de adaptación de las diadas castelleras al cambio climático y valoración de su prioridad (P) y viabilidad (V). Fuente: Elaboración propia.

No obstante, en un segundo nivel de concreción se diferenciaron hasta 32 medidas, de las cuales seis fueron propuestas en dos mesas y dos en las cuatro mesas. En algunos casos se trata de matices, como en las medidas referentes a la duración de la diada. Matices que, por su importancia, hemos considerado necesario mostrar de forma diferenciada. El resultado son 42 pares de valores (P-V). Teniendo en cuenta que hay medidas planteadas en más de una mesa, pero valoradas de forma diferente, el 53,1%

(40,6%) tienen prioridad alta/muy alta (baja/muy baja) y el 53,1% (43,8%) viabilidad alta/muy alta (baja/muy baja). La Tabla 2 muestra la distribución de los 42 pares de valores de prioridad-viabilidad indicados anteriormente entre las 25 combinaciones posibles y diferenciando cinco grupos. En el Grupo 1 (menos prioritarias/viables) el número de pares de valores se corresponde con el número de medidas, al igual que en los Grupos 3 y 4. En cambio, en el Grupo 2 los ocho pares de valores se corresponden con siete medidas y en el Grupo 5 (más prioritarias/viables) los 13 pares de valores se corresponden con 12 medidas. Aquí es preciso volver a recordar que hay medidas planteadas en más de una mesa, pero valoradas de forma diferente y, por tanto, la misma medida puede aparecer en más de un grupo.

| P/V | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta |
|----------|----------|------|----------|---------|----------|
| | Grupo 1 | | Grupo 3 | Grupo 4 | |
| Muy Baja | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Baja | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Moderada | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Alta | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| Muy Alta | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 |
| | Grupo 2 | | | Grupo 5 | |

Tabla 2: Distribución pares de valores prioridad-viabilidad asociados a medidas de adaptación de las diadas al cambio climático. Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Las condiciones meteorológicas para hacer castells en verano, especialmente a las horas centrales del día, han empeorado debido al aumento de la temperatura, con el consiguiente malestar térmico que puede comprometer la salud de los castellers y del público que asiste a las actuaciones castelleras Olano Pozo et al. (2024). En esta comunicación se han analizado, por primera vez en el ámbito académico, las medidas propuestas por miembros de las dos collas castelleras de Valls, que facilitarían adaptar las actuaciones al cambio climático, teniendo en cuenta su prioridad y su viabilidad. El resultado muestra ocho tipologías de medidas (1r nivel de concreción), agrupadas en seis grandes categorías. La aproximación metodológica del estudio ha permitido que de las ocho grandes medidas emergieran, en un segundo nivel de concreción, hasta 32 medidas. El hecho de que las medidas hayan sido planteadas por los propios castellers ha propiciado la incorporación de matices que enriquecen los resultados y que hubieran quedado ocultos si se hubiese utilizado un listado predeterminado y cerrado de medidas propuesto por los facilitadores de los talleres.

Si las temperaturas más elevadas se producen en las horas centrales del día y éstas son cada vez más elevadas, parecería lógico plantear la posibilidad que, especialmente en verano y en poblaciones situadas junto al mar (elevada humedad), las actuaciones fueran por la tarde o por la mañana. Hay actuaciones que en verano empiezan a partir de las 18h y, recientemente, algunas han pasado del mediodía a la tarde (Prats, 2024). No obstante, algunas diadas están vinculadas a una fiesta mayor, formando parte de un séquito en que cada actividad tiene muy bien definido el momento de su actuación. Actualmente es una medida que se considera poco viable socioculturalmente. Más aún

en el caso del cambio de fecha. La diada del día 24 de junio en Valls está ligada a la festividad de San Juan. No tendría sentido desplazarla a otra fecha con unas condiciones meteorológicas más benignas.

Los castellers consideran prioritario disponer de camisetas más transpirables, pero a su vez resistentes y evitando que se produzcan resbalones debido a la sudoración. Una medida considerada poco viable tecnológicamente y, en algunos casos, económicamente.

Reducir la temperatura y/o la insolación supondría mejorar las condiciones meteorológicas durante la actuación, ya sea climatizando espacios (poco viable en las plazas y más viable en espacios habilitados como refugio para los castellers más jóvenes), generando sombras (viabilidad baja o moderada), o limitando la presencia del público (viabilidad muy baja). Las dimensiones de las plazas son las que son y, por tanto, es complicado evitar aglomeraciones si no hay una limitación de público o de collas participantes. También es poco viable, desde el punto de vista sociocultural, mover una actuación que tradicionalmente se hace en un lugar emblemático, como puede ser la plaza del Blat en Valls, a otra ubicación. En cambio, sí que podría ser viable tener una alternativa (espacio cubierto) en caso de lluvia.

Limitar la duración de las diadas también evitaría una sobreexposición a temperaturas elevadas o al sol. Siete de las diez medidas planteadas en esta categoría se consideran viables o muy viables (tiempo transcurrido entre la finalización de un castell y el inicio del siguiente; inicio puntual de la diada, que a veces no depende de los castellers). En algunos casos es cuestión de establecer y cumplir unos protocolos y criterios, en caso de que no existan. En cambio, se considera poco viable limitar el número de colles, ya que podría imposibilitar la participación de todas las collas locales en algunas diades (i.e. Barcelona o Tarragona); o el tiempo máximo para intentar hacer un castell, que podría condicionar disponer de un pie bien consolidado. Una limitación de tiempo que sí que existe en el concurso que se celebra bianualmente en Tarragona.

La medida considerada muy prioritaria y también muy viable es la que hace referencia al suministro de agua durante la diada para garantizar la buena hidratación de los castellers. Independientemente de si ésta se distribuye en la propia plaza o bien se garantiza mediante puntos fijos, debería ser fresca. Otra buena medida de hidratación es la ingesta de fruta refrescante (sandía o melón).

Finalmente, se propone aumentar las dotaciones sanitarias (ambulancias y hospital de campaña) que se sitúan en las zonas adyacentes de las plazas para dar respuesta al previsible aumento de los golpes de calor entre los castellers y, especialmente, entre el público asistente.

En conclusión, el mundo casteller debe asumir que el cambio climático también incide en una actividad cultural, que a su vez es patrimonio inmaterial de la humanidad y debatir sobre qué medidas de adaptación deben diseñarse e implementarse para hacer frente al cambio climático. Todo ello con los objetivos de (i) asegurar la continuidad de la actividad y (ii) reducir, aún más, los riesgos asociados a la misma. Para ello es necesario replicar este tipo de talleres con el mayor número posible de colles y de castellers. A su vez, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos por Olano Pozo et al. (2024) no están basados en datos meteorológicos registrados en las plazas castellanas, y que hasta en localidades no muy grandes existe el fenómeno de la isla de

calor urbana (Dients et al., 2019), es crucial saber qué pasa en las plazas, desde el punto de vista meteorológico, durante las actuaciones.

AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado por la Cátedra URV per l'Estudi del Fet Casteller y el Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya (2021-SGR00657). Los resultados forman parte del proyecto ADAPTOUR (PID2020-112525RB-I00), financiado por el MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Nuestro agradecimiento a la Colla Vella dels Xiquets de Valls y de la Colla Joves Xiquets de Valls.

REFERENCIAS

- Aljawabra, F. y Nikolopoulou, M. (2018). Thermal comfort in urban spaces: A cross-cultural study in the hot arid climate. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1901–1909. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1592-5>
- Bean, R.; Pojani, D. y Corcoran, J. (2021). How does weather affect bikeshare use? A comparative analysis of forty cities across climate zones. *Journal of Transport Geography*, 95, 103155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trangeo.2021.103155>
- Bernard, P., Chevance, G., Kingsbury, C., Baillot, A., Romain, A.J., Molinier, V., Gadais, T. y Dancause, K.N. (2021). Climate change, physical activity and sport: A systematic review. *Sports Medecine*, 51, 1041–1059. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01439-4>
- Dienst, M., Lindén, J., Saladié, Ò. y Esper, J. (2019). Detection and elimination of UHI effects in long temperature records from villages—A case study from Tivissa, Spain. *Urban Climate*, 27, 372–383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.012>
- Font-Barnet, A. F., Boqué-Ciurana, A., Olano-Pozo, J. X., Russo, A., Coscarelli, R., Antronico, L., De Pascale, F., Saladié, Ò., Anton Clavé, S. y Aguilar, E. (2021). Climate services for tourism: An applied methodology for user engagement and co-creation in European destinations. *Climate Services*, 23, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100249>
- Godoy, P., Rosset-Llobet, J. y Rossell-Urtxuletegui, R. (2010). Incidència de lesions en els infants de les colles castelleres de Catalunya. *Pediatría Catalana*, 70, 146–150. Recuperado de https://pediatrcatalana.cat/view_document.php?tpd=2&i=1763
- He, X., Gao, W., Wang, R. y Yan, D. (2023). Study on outdoor thermal comfort of factory areas during winter in hot summer and cold winter zone of China. *Building and Environment*, 228, 109883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109883>
- Lim, C.L. (2020). Fundamental concepts of human thermoregulation and adaptation to heat: A review in the context of global warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 7795. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17217795>
- Olano Pozo, J.X., Saladié, Ò. y Boqué-Ciurana, A. (2024). Rising Temperatures, Wavering Human Towers? Temperature Trends and Thermal Comfort during Castells Exhibitions in Catalonia (1951–2023). *Case Studies in Valls (24 June), La Bisbal del*

- Penedès (15 August), Tarragona (19 August), and Vilafranca del Penedès (30 August). *Climate*, 12, 112. doi: <https://doi.org/10.3390/cli12080112>
- Orr, M. y Inoue, Y. (2019). Sport versus climate: Introducing the climate vulnerability of sport organizations framework. *Sport Management Review*, 22, 452–463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smr.2018.09.007>
- Orr, S.A., Richards, J. y Fatoric, S. (2021). Climate change and cultural heritage: A systematic literature review (2016–2020). *The Historic Environment: Policy and Cultural Heritage*, 12, 434–477. doi: <https://doi.org/10.1080/17567505.2021.1957264>
- Prats, D. (2024). La Bisbal debuta a la tarda. *Revista Castells*. <https://revistacastells.cat/2024/08/la-bisbal-debuta-a-la-tarda/> (acceso 4/10/2024).
- Rovira-Ricart, E. y Rosset-Llobet, J. (2008). Avaluació de l'efectivitat d'un cas per a infants castellers. *Pediatría Catalana*, 68, 217–219. Recuperado de https://pediatricatalana.cat/view_document.php?tpd=2&i=2287
- Santos Nouri, A. y Costa, J.P. (2017). Addressing thermophysiological thresholds and psychological aspects during hot and dry Mediterranean summers through public space design. The case of Rossio. *Building and Environment*, 118, 67–90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.027>
- Schneider, S., Niederberger, M., Kurowski, L. y Bade, L. (2024). How can outdoor sports protect themselves against climate change-related health risks?—A prevention model based on an expert Delphi study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27, 37–44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.11.002>
- Sesana, E., Gagno, A.S., Ciantelli, C., Cassar, J. y Hughes, J.J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*, 12, e710. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- Su, Y., Wang, C., Li, Z., Meng, Q., Gong, A., Wu, Z. y Zhao, Q. (2024). Summer outdoor comfort assessment in city squares—A case study of cold dry winter, hot summer climate zone. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105062. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105062>
- UNESCO (2024). Human Towers. Intangible Cultural Heritage UNESCO. Disponible online: <https://ich.unesco.org/es/RL/los-castells-00364> (acceso el 2 de septiembre de 2024).
- Vaczi, M. (2023). From subalternity to intangible heritage and national symbol: Catalonia's castells. En M. Vaczi y A. Bairner (Eds.), *Indigenous, Traditional, and Folk Sports: Contesting Modernities* (pp. 70–85). doi: <https://doi.org/10.4324/9781003317685>
- Weig, D. (2015). Sardana and castellers: Moving bodies and cultural politics in Catalonia. *Social Anthropology*, 23, 435–449. doi: <https://doi.org/10.1111/1469-8676.12219>
- Wolff, D. y Fitzhugh, E.C. (2011). The relationships between weather-related factors and daily outdoor physical activity counts on an urban greenway. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 579–589. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph8020579>.

SEQUÍA Y SOCIEDAD: LA PLASMACIÓN MEDIÁTICA DE LA SEQUÍA EN LA PRENSA SEVILLANA EN DOS EPISODIOS HISTÓRICOS

Paula SERRANO ACEBEDO, Natalia LIMONES RODRÍGUEZ y Concepción LANGA NUÑO

Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Sevilla

paulaserranoace@gmail.com, natalialr@us.es, clanga@us.es

RESUMEN

La sequía es un riesgo hidroclimático de creciente relevancia en Andalucía, agravado por el cambio climático. Este estudio tiene como objetivo analizar dos episodios de sequía severa que comenzaron en 1995 y 2005 en la provincia de Sevilla, desde una doble perspectiva hidrometeorológica y mediática.

Se aplicaron los índices SPEI y DEPI para evaluar la severidad de las sequías hidrometeorológicas y analizar la frecuencia de noticias en medios de comunicación relacionadas con estas. Además, se examinó en detalle el tratamiento periodístico de temas clave relacionados con la sequía, como las restricciones de agua, impactos en la agricultura, planes hidrológicos, concienciación pública y cambio climático. El estudio combina un enfoque cuantitativo, esencialmente correlacionando la intensidad de la sequía con el volumen de noticias, con un análisis cualitativo del discurso mediático. Así, este enfoque integrado permite una mejor comprensión de la evolución de la percepción pública sobre las sequías.

Los resultados sugieren un aprendizaje colectivo y una creciente concienciación sobre los riesgos hidroclimáticos a lo largo del tiempo. Se aprecia que los medios de comunicación incluyen progresivamente más temas relacionados con la planificación y la preparación, y dejan de limitarse a informar activamente sobre el problema solo en situaciones extremas y bajo un tono alarmista, como sí sucedía en la sequía de 1995. Además, el análisis revela una clara tendencia ascendente en la representación mediática de la sequía como un fenómeno vinculado al cambio climático, lo que refleja un aumento de la conciencia social en torno a estos riesgos.

Palabras clave: sequía, índices estandarizados de sequía, percepción social, comunicación del riesgo, periódicos, escasez hídrica.

ABSTRACT

Drought is an increasingly relevant hydroclimatic risk in Andalusia, exacerbated by climate change. This study aims to analyze two drought events that began in 1995 and 2005 in the province of Seville from both a hydrometeorological and media perspective.

SPEI and DEPI indices were applied to assess the severity of the hydrometeorological droughts, and the frequency of media coverage was analyzed and compared to these severities. Additionally, the coverage of key drought-related topics, such as water restrictions, agricultural impacts, hydrological planning, public awareness, and

climate change was examined in detail in terms of their media treatment. The study employs a quantitative approach, mainly focused on correlating drought severity with the volume of news coverage, alongside a qualitative analysis of media discourse. This integrated approach provides a deeper understanding of the evolution of public perception of droughts within the broader context of climate challenges.

The results suggest collective learning and growing awareness of hydroclimatic risks over time. Media coverage increasingly includes topics related to planning and preparedness, moving beyond focusing solely on covering the extreme situations in an alarmist tone, as was the case during the 1995 drought.

Furthermore, the analysis revealed a clear upward trend in the media representation of drought as a phenomenon linked to climate change, reflecting an increase in societal awareness of these risks.

Key words: drought, standardized drought indices, social perception, risk communication, media, water scarcity.

1. INTRODUCCIÓN

El contexto actual de cambio climático ha dado lugar a transformaciones significativas en las condiciones climáticas del planeta. Se prevé un aumento en la variabilidad de las precipitaciones y las temperaturas, así como una mayor frecuencia de fenómenos extremos en el sur de Europa (IPCC, 2023).

En el siglo XX se dieron numerosas sequías en España, con grandes impactos ligados a las insuficientes medidas de gestión y prevención tomadas en el momento. Los impactos fueron más severos en Andalucía, región seleccionada como área de estudio por su mayor vulnerabilidad natural dada su climatología (Vargas Molina, 2013). En concreto, el mayor evento de sequía del siglo XX en Sevilla tuvo su inicio en el año 1991, dándose una situación crítica de 1992 a 1995 por los grandes impactos que provocó el déficit hídrico continuado debido al aumento de la huella hídrica urbana (Del Moral & Lara García, 2022). El impacto de las sequías ha ido reduciéndose con el avance de la planificación y gestión hidrológica, aunque no su peligrosidad (Vargas Molina, 2013). Así, destaca en el siglo XXI la sequía de 2005 en Sevilla, de gran severidad, pero menores impactos (Del Moral & Lara García, 2022).

La prensa constituye un elemento idóneo para comprender la percepción y concienciación de población con respecto a los riesgos naturales, por ser un vehículo de expresión de la conciencia colectiva. Resulta útil para identificar la magnitud, duración e impacto de los fenómenos climáticos y riesgos, abordando la problemática desde una perspectiva perceptual y social (Kimberley & Newsha, 2017). Además, los medios influyen en la percepción social de la sequía y en la construcción del imaginario colectivo sobre su peligrosidad (Lopera Pareja, 2017). Son numerosos los estudios que abordan el cambio climático y los riesgos naturales desde una perspectiva social a través del análisis del contenido mediático, aportando así un enfoque cualitativo que permite profundizar en las temáticas que despiertan mayor preocupación en la sociedad (Cortés, & Quiroga, 2023), aunque estos enfoques suelen tener una perspectiva nacional, y son escasos los estudios locales y centrados en la sequía (Arcia *et al.*, 2019).

Así, el objetivo principal de este estudio es realizar un análisis comparativo de los eventos de sequía de 1991-1996 y 2004-2008 a escala provincial de Sevilla, evaluando su gestión, impactos y la percepción social de la sequía como riesgo natural.

2. FUENTES Y METODOLOGÍA

Este trabajo aborda la plasmación en prensa de la sequía desde una doble perspectiva cuantitativa y cualitativa, con el objetivo de identificar cambios de patrones y tendencias con respecto a la percepción social de este riesgo.

Para el análisis mediático se ha empleado la prensa local sevillana, tomando las noticias publicadas en la hemeroteca web del periódico ABC de Sevilla que contuvieran la palabra 'sequía'. A estas noticias seleccionadas se les ha aplicado un segundo filtro para profundizar en su contenido temático, rastreando una serie de términos y analizando su vínculo con la información sobre sequía: agricultura, restricciones, trasvase, plan hidrológico, decreto de sequía, concienciación y cambio climático. Las condiciones de sequía han sido caracterizadas mensualmente mediante el Índice de Probabilidad de Excedencia de Sequía-DEPI- (Limonés *et al.*, 2022) y el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración -SPEI- (Vicente Serrano *et al.*, 2017), en sus escalas de agregación mensual de 3, 6, 12, 24 y 48 meses. En primer lugar, se ha llevado a cabo una exploración visual de la evolución de índices y artículos publicados para identificar patrones y tendencias similares entre el desarrollo de la sequía y su manifestación en la prensa. Posteriormente, para cuantificar estas conexiones se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson para las series temporales de aparición de cada término temático con las series de los índices SPEI y DEPI a lo largo de los eventos de sequía considerados (1991-1996 y 2004-2008), lo que ha permitido analizar la similitud entre las condiciones hidrometeorológicas con la frecuencia de aparición periodística de la sequía. Sus correlaciones facilitan también la evaluación de la inmediatez o retardo del impacto de la sequía en la prensa, para lo que adicionalmente se han calculado los coeficientes con uno y dos meses de retardo.

Al confirmarse la conexión entre la situación hidrometeorológica y la mayor aparición de términos relacionados con la sequía en prensa, se ha realizado un estudio del discurso mediático a partir del análisis cualitativo del tratamiento de ambos eventos de sequía. Se ha identificado el tono mediático usado, el alarmismo en la expresión de cada temática y el posible contenido ideológico (Carvalho, 2007), para subrayar el distinto tratamiento en cada evento de sequía. Así, se ha identificado la evolución de la percepción de las sequías como riesgo natural y cómo la prensa atestigua el cambio en su tratamiento y gestión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Sequías y déficit hídricos.

De acuerdo con los índices de sequías, la década de 1990 constituyó uno de los momentos más críticos del siglo XX en términos hídricos. Esta sequía hidrometeorológica conllevó grandes impactos poblacionales y económicos, fruto de la disminución del volumen de agua embalsada y el aumento de las necesidades

hídricas (Del Moral, 2002). Durante los siglos XIX y XX se realizaron sucesivas mejoras en el sistema de abastecimiento hídrico, aunque hasta 1929 no se estableció un nuevo sistema de abastecimiento con gestión pública (Del Moral, 2002). No obstante, la gestión del agua continuaba siendo insuficiente, por lo que la última década del siglo XX asistió a una fase crítica de sequía que comenzó en 1991 y se hizo más severa a finales de 1994, siendo 1995 el momento de mayor severidad del déficit. Los SPEI confirman estas fluctuaciones temporales, aunque sus gráficas muestran diferencias en función del rango temporal de acumulación de anomalías. Esto muestra cómo es más difícil marcar inicios y finales de la sequía con el SPEI a diferentes escalas que con DEPI, que nos sirve de referencia más útil para aproximar la duración del evento.

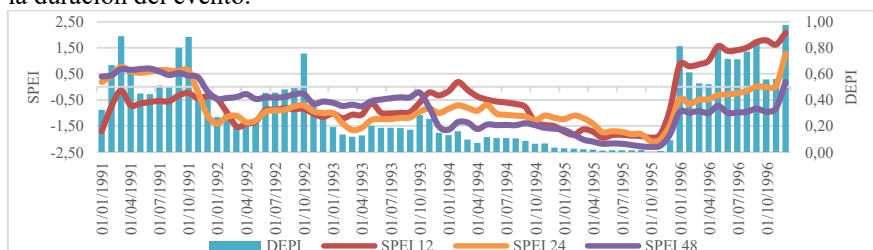


Figura 1: Índices de sequía para 1991-1996. Fuente: Serrano Acebedo (2024).

Por su parte, la sequía hidrometeorológica de 2004 a 2007 también fue severa, aunque sus impactos fueron menores. El año hidrológico 2004-2005 fue especialmente seco, siendo uno de los momentos de mayor déficit hídrico desde que se tiene constancia en el área de estudio. Los índices de sequía muestran una intensa sequía agravada por la evapotranspiración, pues DEPI no marca valores tan extremos como en la sequía anterior, pero SPEI sí los alcanza. La figura 2 muestra el desarrollo de esta sequía, cuyo comienzo puede determinarse en noviembre de 2004, cuando DEPI registra cifras menores a 0.5 y los SPEI 12 y 24 se vuelven negativos. Este déficit hídrico se mantuvo constante hasta finales de 2006, con cierto déficit aún en 2007 e incluso en 2008.

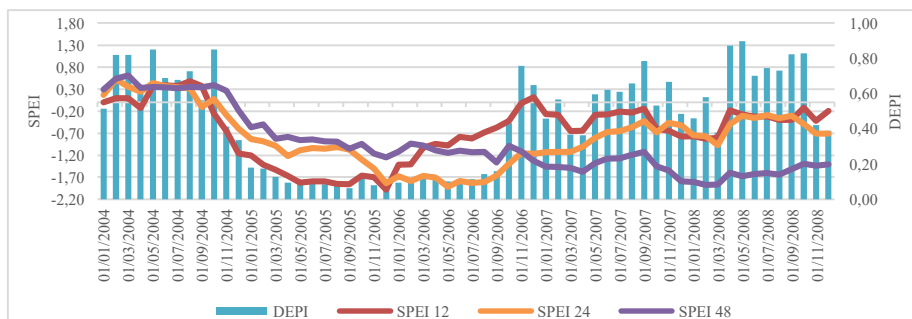


Figura 2: Índices de sequía para 2004-2008. Fuente: Serrano Acebedo (2024).

Todos los índices coinciden en la ubicación del periodo de mayor intensidad de la sequía en 2005, tras el cual se inició un paulatino aumento pluviométrico a finales de

2006 que supuso la reducción del déficit hídrico. Los impactos de esta sequía fueron menores, pues España experimentó una evolución desde inicios del siglo XXI en la política del agua, dándose una mejora de la previsión, seguimiento y gestión de las sequías (Vargas Molina, 2013).

3.2. Impacto periodístico de las sequías.

Para la sequía de finales del siglo XX, los índices hidrometeorológicos y la frecuencia mediática de artículos en prensa muestran fluctuaciones similares una vez que la sequía está desarrollada, siendo su conexión mejor en 1995, momento de mayor severidad del déficit.

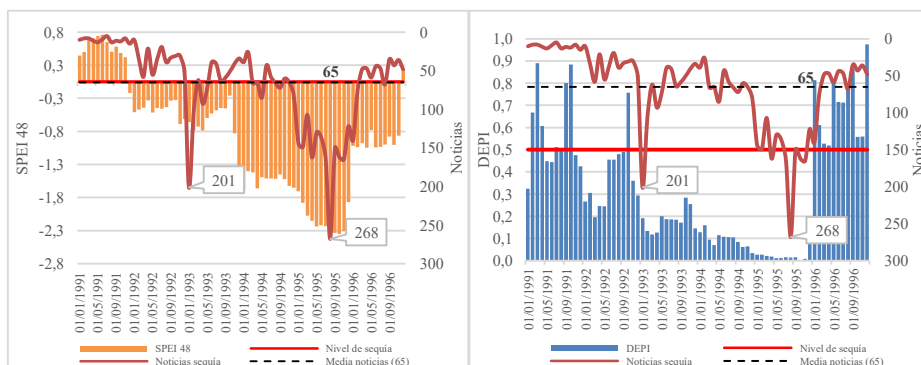


Figura 3: Evolución temporal de índices y noticias de sequía (1991-1996). Fuente: Serrano Acebedo (2024).

La evolución de la presencia en prensa de la sequía muestra gran similitud con las condiciones de déficit marcadas por el índice DEPI (correlación de -0.59), pues las noticias comienzan a repuntar cuando el DEPI marca déficit, siendo coincidente con el inicio y final del evento seco. Esto pone de manifiesto la mayor adecuación del DEPI para la identificación de los márgenes temporales de la sequía, pues al no establecer rangos temporales a priori como SPEI, permite estudiar el desarrollo del déficit sin realizar cortes temporales en la acumulación de anomalías. No obstante, las correlaciones entre la cobertura mediática de la sequía y el índice SPEI 48 son más elevadas (-0.73), probablemente debido a que este índice incorpora la evapotranspiración en su cálculo, un factor crucial en un contexto de temperaturas en aumento. El SPEI 48 considera tanto las precipitaciones como la demanda atmosférica de agua a largo plazo, lo que lo convierte en un indicador especialmente sensible a los impactos acumulativos de la sequía. Estos, al volverse más graves y tangibles, generaron una cobertura mediática más significativa durante este evento.

Por su parte, la sequía de 2004-2008 se encuadra en un contexto de gestión del agua y planificación hidrológica más avanzada, por lo que la intensidad de su frecuencia en prensa fue menor por los menores impactos. Una vez más, existió gran coincidencia temporal entre el incremento del déficit hídrico y las mayores frecuencias de noticias, lo que demuestra un buen seguimiento periodístico del fenómeno hidrometeorológico. La conexión fue máxima en septiembre de 2005, alcanzándose las 104 noticias en

momentos en los que el índice DEPI registraba su valor mínimo (0.06). No obstante, SPEI 12 no registra sus valores de mayor déficit en el punto álgido de manifestación periodística, sino tres meses después, en diciembre de 2005.

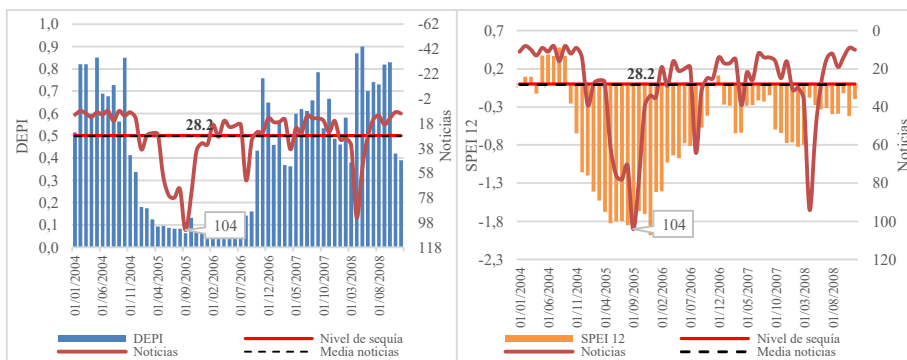


Figura 4: Evolución temporal de índices y noticias de sequía (2004-2008). Fuente: Serrano Acebedo (2024).

Para la segunda sequía, la máxima conexión recae en el SPEI 12, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.68 al introducir un mes de retardo. Esta sequía conecta mejor con la escala anual de SPEI por ser los principales impactos referidos en prensa de tipo agrícola, y por ello más dependientes de la sequedad o humedad anual; en esta sequía no hubo restricciones al abastecimiento urbano, por lo que las noticias se centran fundamentalmente en la disponibilidad de agua para agricultura, sector altamente dependiente de las condiciones estacionales. Por el contrario, a finales del siglo XX, la repercusión mediática hizo mayor énfasis en los problemas de abastecimiento hídrico a la población por las ínfimas reservas de agua embalsada, elemento dependiente de situaciones secas más prolongadas e intensas, lo que justifica su mayor vinculación con índices de escalas temporales más largas.

En términos generales, las correlaciones son menores para la segunda sequía, pues el gran volumen de noticias sobre sequía en 2008 se da en momentos en los que los índices no muestran déficits severos. Este último repunte marca una diferencia con la anterior sequía, pues en 2008 el debate no está conectado al fenómeno hidrometeorológico, si no a la adopción de medidas de prevención y mitigación, no a medidas urgentes. Se pone así de manifiesto la evolución de un enfoque reactivo a uno proactivo en la gestión del riesgo de sequía, lo que parece indicar un progresivo incremento de la concienciación social acerca de la gestión y prevención de la sequía.

3.3. Análisis discursivo y social de la percepción de la sequía.

Para la sequía finisecular, las principales temáticas abordadas por la prensa fueron la preocupación agrícola y las restricciones al consumo humano, que supusieron cortes de agua de hasta 11 horas. De las 4680 noticias totales publicadas acerca de la sequía, 1591 fueron concernientes a la agricultura, pues los momentos de mayor déficit hídrico fueron coincidentes con grandes restricciones al riego, suponiendo el 33% de las noticias totales registradas sobre sequía en este periodo. En segundo lugar,

destacan las restricciones, coincidiendo su mayor frecuencia mediática con los momentos de cortes al abastecimiento urbano (1992, 1994 y 1995). En total, constituyen el 18% de las noticias de sequía para este primer evento, registrándose su mayor frecuencia en 1995 por la generalización en casi toda Andalucía de duras restricciones.

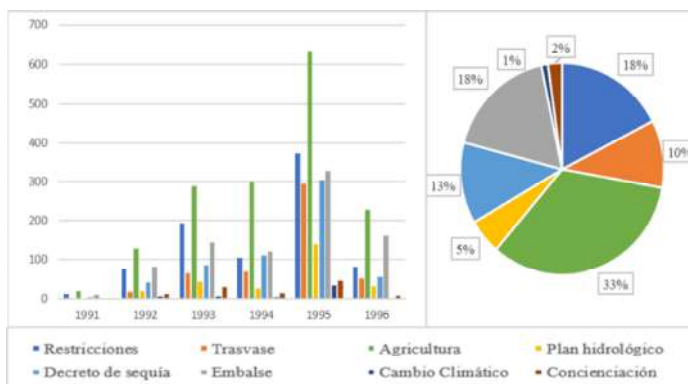


Figura 5: Evolución anual y temática de la presencia de noticias sobre sequía (1991-1996). Fuente: Serrano Acebedo (2024).

Por el contrario, la sequía de 2004 a 2008 presenta menor número de noticias (1705) por ser más breve y ocasionar menores impactos a la población. Aun así, existe mucha conexión entre lo que ocurre en la prensa y los índices, por lo que la plasmación periodística de esta sequía es bastante precisa. En términos generales, el año 2005 posee la mayor frecuencia de noticias, agrupando el 49.63% del total de noticias referidas a la sequía, pues todos los términos experimentan un gran ascenso con respecto a 2004. Esto es especialmente apreciable en los términos agricultura y embalse en 2005, pues en ese año se impusieron medidas restrictivas al regadío por la escasez de agua embalsada, que conllevaron la promulgación de reales decretos para paliar los daños producidos por la sequía (Real Decreto-Ley 10/2005), así como del Protocolo de Sequía del Guadalquivir.

En el ámbito normativo y de planificación, la reciente aprobación del Plan Hidrológico Nacional y la aplicación de la Directiva Marco de Agua supusieron un menor tratamiento en prensa de temas relacionados con la planificación hidrológica, por encontrarse ya configurada. Aun así, en 2008 se ha identificado un repunte (figura 6) en las noticias de sequía pese a no tratarse de un año con grandes déficits hídricos, que parece coincidir con la del Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Guadalquivir. Este fue foco de gran atención y debate mediático en momentos de leve déficit hídrico, lo que implica un aprendizaje con respecto a la gestión y planificación del riesgo de sequía.

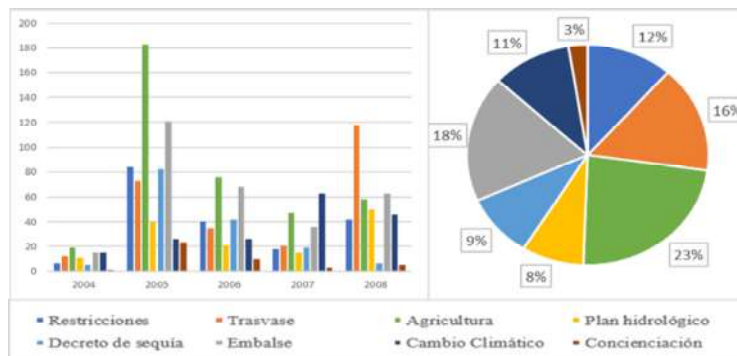


Figura 6: Evolución anual y temática de la presencia de noticias sobre sequía (2004-2008). Fuente: Serrano Acebedo (2024).

Junto a ello, destaca la diferente cobertura mediática con relación al cambio climático, pues esta temática experimentó un auge en la segunda sequía, pasando de representar el 1% en 1991-1996 a un 12% en 2004-2008. Este aumento es especialmente relevante en 2007 y 2008, cuando la sequía estaba disminuyendo, lo que verifica la creciente conciencia ciudadana sobre los riesgos hidroclimáticos, su vinculación con el cambio climático y su gestión incluso en momentos en los que la sequía no es severa.

3.4. Análisis evolutivo del tono del discurso mediático

Más allá del análisis cuantitativo, el estudio cualitativo del tono periodístico permite profundizar influencia de las sequías en los medios de comunicación, así como en la evolución de su percepción. Sin duda, la vinculación con la agricultura es predominante en ambas sequías, aunque su tratamiento muestra variaciones. El conflicto entre el abastecimiento humano y los riegos agrícolas adquiere un rol fundamental en la sequía de 1991 a 1996 (ABC de Sevilla, 1995, 13 de agosto), siendo motivo de movilizaciones agrícolas. En 2005, la persistencia de la temática agrícola es evidente, aunque su enfoque varía, haciendo mayor énfasis en las ayudas económicas y las asignaciones de agua a la agricultura, pues en estos momentos el abastecimiento humano estaba garantizado.

Las grandes restricciones al consumo impuestas en los años 1992, 1993 y 1995 fueron objeto de gran atención periodística, con noticias cuyo tono era urgente y desesperado, mientras que el tratamiento de las restricciones en la sequía de 2005 posee un carácter pausado y de mayor imparcialidad, pues la limitación del consumo hídrico no era un escenario inminente.

Del mismo modo, el tratamiento del agua embalsada y la planificación de la sequía presentan evidentes cambios. A finales del siglo XX, las ínfimas reservas de agua embalsada y la deficiente planificación hidrológica suscitaron su mayor relevancia mediática, mientras que en el siglo XXI su presencia en prensa fue menor por existir mayor planificación. No obstante, la creación del Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la cuenca del Guadalquivir en 2008 fue responsable de la reactivación temporal del tema en la opinión pública, suscitando gran debate. En este momento la situación de sequía no era tan severa, pero la creación de nuevos instrumentos de gestión contribuyó a que se hablase de nuevo de esta

temática, lo que refleja una evolución en el paradigma de gestión hídrica hacia una mayor conciencia sobre la gestión responsable del agua (ABC de Sevilla, 2006, 13 de julio). Se habla de sequías y su gestión de forma proactiva, no solo de gestión de situaciones de emergencia.

La conciencia ambiental también creció a lo largo del tiempo, siendo escasas las menciones al cambio climático en 1995. A medida que avanzaba el siglo XXI, la prensa abordaba con más frecuencia el cambio climático como causa directa de la crisis hídrica, junto con la necesidad de medidas de gestión y prevención más efectivas. También aparecieron opiniones contrarias a la "Nueva Cultura del Agua" (ABC de Sevilla, 2006, 22 de mayo), aunque expertos hidrológicos destacaban la importancia de analizar las sequías pasadas para mejorar la gestión futura.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las sequías seleccionadas han experimentado una gran cobertura periodística, con altas conexiones con las condiciones hidrometeorológicas, aunque el impacto mediático de cada una tuvo diferencias significativas fruto del contexto en el que se ubicaron y del paulatino desarrollo de la gestión del agua.

En términos metodológicos, el empleo comparativo de los índices DEPI y SPEI ha permitido identificar las ventajas de cada uno en función del caso de estudio. Mientras SPEI, que representa un mejor proxy para definir anomalías en el balance hídrico, presenta mayores correlaciones con la aparición de artículos sobre sequía en prensa, el índice DEPI parece marcar de forma más adecuada la duración de cada evento de sequía, definiendo bien el inicio y el final de la cobertura mediática intensa. Además, este estudio destaca la novedad que supone el análisis de la percepción social de las sequías a partir de un enfoque basado en prensa y percepción social a escala mensual y local, pues esta temática es frecuentemente abordada desde una perspectiva nacional. Junto a ello, la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos permite una aproximación más precisa de la percepción social de las sequías en la prensa.

Con todo ello, este trabajo evidencia la evolución en la gestión del agua entre ambos periodos, siendo la cobertura mediática de la sequía entre 2004 y 2008 más fiel a la realidad hidrometeorológica en comparación con el alarmismo de finales del siglo XX. Este cambio responde al aumento de la conciencia ambiental y ciudadana, que comenzó a forjarse en los 90 y adquirió mayor protagonismo con el paso al siglo XXI. No obstante, es precisamente esta mayor concienciación de la necesidad de gestionar y planificar eficazmente las sequías la responsable de ciertas perturbaciones en las correlaciones para la segunda sequía estudiada, pues la prensa trata la sequía incluso en momentos en los que el déficit hídrico no es severo. Así, se hace énfasis en la planificación y gestión de las sequías de forma proactiva, en base a la creación de estrategias de prevención y adaptación que se alejan de las antiguas medidas centradas en la mera gestión de emergencias y avanzan hacia una mayor resiliencia.

En definitiva, se destaca aquí la evolución de la percepción social de las sequías como riesgos hidroclimáticos, así como la propuesta de una metodología que combine análisis cuantitativos y cualitativos para ofrecer un panorama general de la evolución en la percepción y gestión de estos riesgos con el salto al siglo XXI. En futuras investigaciones, se sugiere extender este análisis a eventos de sequía más recientes,

cuyo estudio de prensa impresa pueda enriquecerse con datos pertenecientes a plataformas web y redes sociales, pues estas plataformas con capacidad de geolocalización son especialmente útiles para evaluar las tendencias en la percepción pública y el impacto de la sequía en distintas regiones con gran precisión.

REFERENCIAS

- ABC de Sevilla (1995, 13 de agosto). *Beber o regar: consumo y turismo frente a agricultura*. Disponible en: <https://lc.cx/UK5DoP>.
- ABC de Sevilla (2006, 22 de mayo). *La Nueva Cultura del Agua ya está aquí*. Disponible en: https://lc.cx/I_d8Fi.
- ABC de Sevilla (2006, 13 de julio). *Más agua, más solidaridad*. Disponible en: <https://www.abc.es/archivo/periodicos/abc-sevilla-20060713-20.html>.
- Areia, N. P.; Intrigliolo, D.; Tavares, A.; Mendes, J. M. & Sequeira, M. D. (2019). The role of media between expert and lay knowledge: A study of Iberian media coverage on climate change. *Science of the Total Environment*, 682, pp. 291-300.
- Carvalho, A. (2007). Ideological Cultures and Media Discourses on Scientific Knowledge: Re-Reading News on Climate Change. *Public Understanding of Science*, 16 (2), pp. 223-243.
- Cortés, P. A. & Quiroga, R. (2023). How academic research and news media cover climate change: a case study from Chile. *Front. Commun*, 8. doi: 10.3389/fcomm.2023.1226432
- Del Moral, L. (coord.) (2002). El sistema de abastecimiento de agua de Sevilla: análisis de situación y alternativas al embalse de Melonares. *Nueva Cultura del Agua*, Serie informes, 5, 2º ed. Ampliada, Bakeaz.
- Del Moral, L. & Lara García, A. (2022). ¿Cambio de paradigmas frente a los riesgos hidroclimáticos? La experiencia de Sevilla. *Cuadernos de Geografía*, vol. 108-109 (2), pp. 769-789.
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.
- Kimberley, J. Q. & Newsha, K. A. (2017). Changes in water consumption linked to heavy news media coverage of extreme climatic events. *Science Advances*, 3.
- Limones, N., Pita-López, M. F. & Camarillo, J. M. (2022). A new index to assess meteorological drought: The Drought Exceedance Probability Index (DEPI). *Atmósfera*, vol. 35 (1), pp. 67-88.
- Lopera Pareja, E. H. (2017). ¿Esto es por el cambio climático? Los fenómenos meteorológicos extremos en la prensa española (2000-2010). *Anuario Electrónico de Estudios en Comunicación Social "Disertaciones"*, vol. 10 (2), pp. 79-103.
- Serrano Acebedo, P. (2024). Análisis de los impactos y la percepción de la sequía a través de fuentes periodísticas (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Vargas Molina, J. (2013). El cambio climático y el problema de la sequía en Andalucía. *Medios de comunicación y cambio climático*, pp. 371-382.
- Vicente Serrano, S.M.; Tomás Burguera, M.; Beguería, S.; Reig-Gracia, F.; Latorre, B.; Peña-Gallardo, M.; Luna, Y.; Morata, A. & González Hidalgo, J. C. (2017). A High Resolution Dataset of Drought Indices for Spain. *Data*, 2 (3), 22.

ASSESSMENT OF CO₂ EMISSIONS USING AN ENERGY-ECONOMY SIMULATION MODEL FOR TANZANIA UNDER DIFFERENT SCENARIOS

Pedro SOLANO-PEREIRA¹, Laura BARTOLOMÉ-QUEVEDO¹ Luis Javier MIGUEL GONZÁLEZ¹ e Ignacio DE BLAS¹

¹*Grupo de Energía Economía y Dinámica de Sistemas. Universidad de Valladolid.*
pedro.solano22@uva.es, laura.bartolome@uva.es, luisjaviermiguel@uva.es,
ignaciodeblas@uva.es

RESUMEN

El análisis de las relaciones entre economía, energía y medio ambiente plantea un reto complejo, sobre todo en las naciones en desarrollo que experimentan un rápido crecimiento económico y demográfico. Este estudio introduce un modelo de dinámica de sistemas diseñado específicamente para investigar la intrincada relación entre actividades económicas, producción de electricidad y emisiones de CO₂. Centrándose en Tanzania, el modelo evalúa varios escenarios y políticas de expansión de la capacidad instalada y sus implicaciones para las emisiones de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta las limitaciones de la energía en el crecimiento económico, que a su vez repercuten en la demanda energética. Al representar la economía de forma endógena, el modelo ofrece una comprensión matizada de cómo las opciones energéticas afectan tanto al rendimiento económico como a los resultados climáticos. El análisis compara escenarios que exploran las transiciones energéticas con el telón de fondo de la expansión de los combustibles fósiles. Los resultados preliminares sugieren que los ajustes de los marcos políticos pueden promover una combinación energética más sostenible, lo que se traduce en reducciones significativas de las emisiones de CO₂. En última instancia, este enfoque mejora la resistencia climática al tiempo que fomenta el crecimiento económico sostenible.

Palabras clave: Modelo Energía-Economía, Dinámica de Sistemas, Emisiones de GEI, Cambio Climático.

ABSTRACT

Analyzing the relationship between the economy, energy and the environment poses a complex challenge, particularly in developing nations experiencing rapid economic and population growth. This study introduces a System Dynamics model specifically designed to investigate the intricate relationship between economic activities, electricity production, and CO₂ emissions. Focusing on Tanzania, the model evaluates various scenarios and installed capacity expansion policies and their implications for greenhouse gas emissions, considering the limitations of energy on economic growth, which in turn impact energy demand. By representing the economy endogenously, the model offers a nuanced understanding of how energy choices affect both economic performance and climate outcomes. The analysis compares scenarios that explore

energy transitions against the backdrop of fossil fuel expansion. Preliminary results suggest that adjustments to policy frameworks can promote a more sustainable energy mix, leading to significant reductions in CO₂ emissions. Ultimately, this approach enhances climate resilience while fostering economic sustainable growth.

Key words: Energy-Economy Model, System Dynamics, GHG Emissions, Climate Change.

1. INTRODUCTION

As energy demand rises rapidly in regions like Africa, driven by industrial and demographic growth, countries face significant challenges in energy supply. Renewable energies remain underdeveloped in Africa, contributing less than 20% to the energy mix (IEA, 2022; IRENA, 2020). The impacts of climate change are particularly severe on the continent, undermining natural resources and economic stability, with GDP per capita declining by an estimated 13.6% due to human-induced climate change (IPCC, 2022). Tanzania, for instance, saw a reduction of over 10% in GDP per capita between 1991 and 2010 due to these impacts. Although Africa has the lowest per capita CO₂ emissions globally (IEA, 2022), its growing economies and reliance on fossil fuels indicate that, without a shift towards renewables, the continent could become a significant contributor to global GHG emissions in the future (Sikder et al., 2022).

In Tanzania, with a 5.9% average GDP growth rate between 2010 and 2020, energy demand is projected to increase substantially (World Bank, 2024a). Projections estimate Tanzania's GDP between \$714 billion and \$1,173 billion by 2050, with a population between 101 and 121 million (IIASA, 2024). This growth highlights the need for expanded energy resources. Currently, only 46 % of Tanzania's population has access to electricity, and improving access is essential for enhancing productivity, reducing household energy costs, and fostering sustainable economic growth (NBS, 2022).

This study examines the connection between electricity and economic systems in Tanzania, providing a model to support the WEF (Water, Energy, Food) Nexus as part of the ONEPLanET project under Europe Horizon. The model is innovative in its focus on the Energy-Economy link, which is often treated exogenously in traditional WEF models. Unlike conventional approaches, this model captures dynamic interactions and feedback between energy supply and economic growth.

The relationship between electricity and the economy is deeply interconnected, as energy is a crucial input for production, transport, and consumption, while economic growth drives energy demand. System dynamics is a suitable methodology for modelling this complexity, as it allows for capturing the feedback loops between economic growth and energy consumption.

2. METHODOLOGY

The methodological process consists of the following stages: first, a conceptual approach on how the model works, based on a causal diagram. This is followed by a

literature review to parameterize the model variables and the collection of historical data to enable model calibration and validation. The next step involves implementing the equations governing the model in simulation software VENSIM DSS (2024). Finally, the model is validated, scenarios are approached, and results are obtained.

2.1. Brief description of the model

A system dynamics model has been developed to examine the interconnection between energy and the economy. In this model, economic growth directly impacts energy demand, while the rate of energy infrastructure expansion determines the availability of energy for productive activities and households. If energy supplies are constrained, this may lead to a deceleration of economic growth. The model also considers the effect of these interactions on CO₂ emissions, which are intensifying climate change. This model's dynamic is shown in the causal diagram in Figure 1.

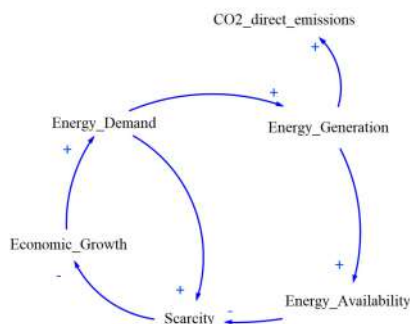


Fig. 1: General causal diagram of Energy-Economy model. Source: Own elaboration.

Regarding the energy module, it estimates final energy demand by energy type across different productive sectors and households, using Gross Domestic Product (GDP) and sectoral energy intensity as key variables. Given that this case study focuses on the electricity production sector in Tanzania, particular emphasis is placed on electricity demand, which is addressed through the installation of power generation capacity whose main dynamics are presented in Figure 2.

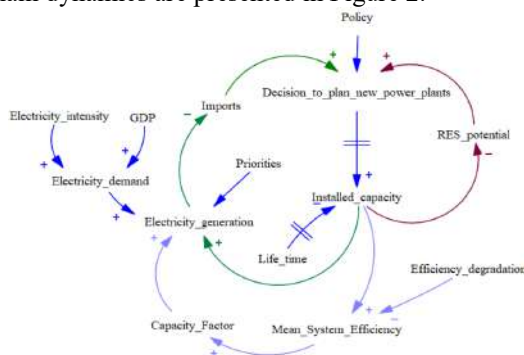


Fig. 2: Causal diagram of capacity installation dynamics. Source: Own elaboration.

Once the electricity demand is estimated, it is compared with the local supply in the energy balance and the import needs are then considered to cover the shortfall.

The local supply is determined according to the energy policy to be evaluated by imposing restrictions on the potential of renewables, considering the planning and construction times of each technology. Thus, renewable and fossil fuel technologies generate different dynamic loops with different speeds depending on their technical parameters.

The model allows to assess how long it will take to achieve energy sovereignty, minimizing imports, which incentivizes the installation of capacity to cover the shortfall. Subsequently, primary energy consumption, along with associated CO2 emissions are calculated. Finally, the technical feasibility of the energy policy is assessed by calculating several indicators on energy security.

Regarding the economic module, the first central aspect is the macroeconomic dynamics, where variables such as the GDP, consumption, especially of households, workers' compensation and the operating surplus are modelled endogenously. In Figure 3, the dynamics that define the economic module can be seen.

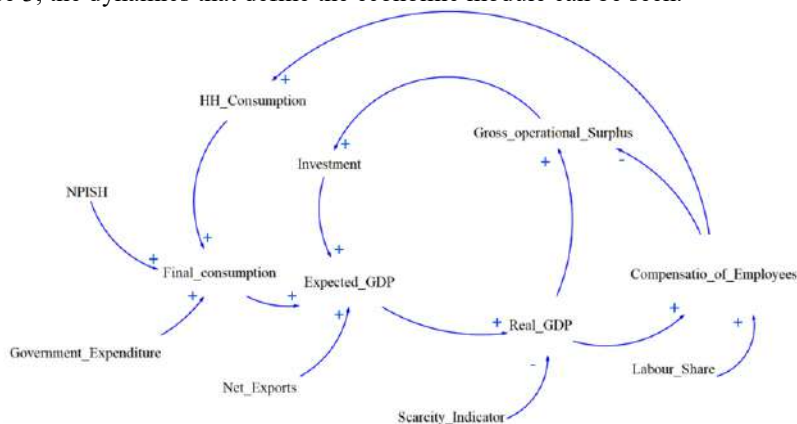


Fig. 3: Causal diagram of economy module. Non-profit Institutions Serving Households (NPISH), Household Consumptions (HH_Consumption). Source: Own elaboration.

This approach makes it possible to capture the interdependencies and feedbacks between the components of the economy in detail, making it possible to simulate complex scenarios of economic growth, income redistribution and consumption patterns.

By modelling these variables endogenously, the model captures the dynamic feedback between the most important macroeconomic variables. For example, an increase in investment can expand the capital stock, which in turn raises productive capacity and GDP, potentially increasing workers' compensation and consumption. However, changes in the distribution between workers' compensation and operating surplus can also influence aggregate demand differently, depending on how sensitive consumption is to labour income. This set of feedbacks is essential for understanding important aspects of demand.

The second key issue of the model is the use of an energy scarcity indicator, which assesses the relationship between energy supply and demand in different productive sectors. This indicator makes it possible to analyse the economy's capacity to meet its energy needs, a critical element for the sustainability of economic growth, especially in contexts of energy transition and climate change.

The relationships between variables in the model have been estimated using historical data and embedded equations, providing a foundation for accurately capturing past trends and future dynamics.

2.2. Scenarios and policies

The study explores three economic scenarios to assess their potential impact on energy demand and economic growth in Tanzania. The BAU without Scarcity scenario assumes that the economy continues along its current trajectory without significant changes in policies or socio-economic context. It adheres to historical patterns and linear projections of key variables, serving as a reference to understand how the economy is expected to evolve without additional interventions and assumes no resource limitation affecting the economy.

In contrast, the BAU with Scarcity scenario incorporates the limitations imposed by resource scarcity while still following similar historical patterns. This scenario analyses how these constraints could affect economic performance, revealing the potential for energy shortages and their repercussions on growth.

The third scenario, Fast Growth with Scarcity, assumes that certain exogenous variables remain following BAU's projections. The critical distinction in this scenario is the assumption of a higher marginal propensity to invest if compared with BAU's projections.

In the simulation, the average GDP growth rate differs between the scenarios: in both BAU scenarios, the economy is projected to grow at an average rate of 8%, while in the Fast Growth scenario, the average GDP growth rate rises to 11%. Electricity demand grows faster under the second scenario, whereas energy intensities have been kept in line with historical trends in both scenarios.

In addition, the scenarios can be combined with three energy policies of capacity expansion process.

- Fossil expansion according to PSMP 2020: this policy forecasts 20 GW of installed capacity in 2050, 40% of which is renewable. This policy is characterized by a high share of coal power plants (26%) compared to the base period and a lower share of hydroelectric power plants compared to the same period.
- Renewable Expansion: this policy forecasts 20 GW of installed capacity by 2050, with renewables comprising 51%. Notably, photovoltaic and wind power play a significant role in the capacity mix, each accounting for approximately 10%, replacing half of the installed capacity of coal-fired plants in Policy 1.
- BAU Power Plan Expansion policy follows historical capacity installation trends from 2000 to 2023, according to IRENASTAT statistics (IRENA, 2024). This policy indicates a moderate installation of

diesel and gas power plants, while the number of hydroelectric facilities remains constant throughout the period.

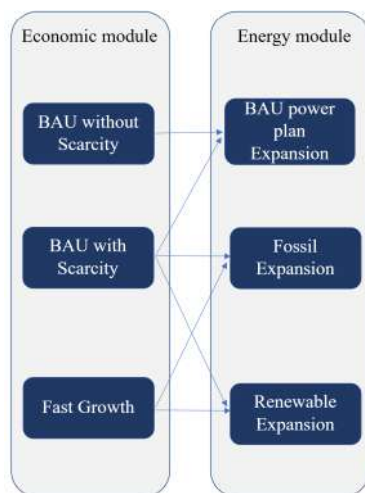


Fig. 4: Scenarios and policies combinations. Source: Own elaboration.

In terms of policy application, as shown in Figure 4, the BAU without Scarcity scenario was simulated using the BAU Power Plan Expansion. The BAU with Scarcity scenario incorporated all three energy policies. Lastly, the Fast Growth with Scarcity scenario utilized both the Fossil Expansion and Renewable Expansion. The combination of the three economic scenarios with the corresponding energy policies has yielded six distinct policy scenarios.

3. RESULTS AND DISCUSSION

According to the applied methodology, the model estimates that in the BAU scenario (e.g. 8% growth), assuming the continuation of the current installation rate, Tanzania will face a high level of energy dependence (i.e., reliance on imports) that could reach 40% of its electricity demand by 2050, as illustrated in Figure 6. This outcome arises because the rate of power infrastructure installation lags significantly behind the growth in electricity demand. If historical trends in demand growth and energy infrastructure development continue, Tanzania is likely to experience energy shortages, which may limit economic growth. Based on assumptions about the constraints that energy availability places on economic development, this economic slowdown is quantified in Figure 5, where in the BAU scenario with resource scarcity, GDP growth remains low and nearly flat throughout the simulation period. This pattern reflects the limitations imposed by restricted resources, which constrain economic expansion and inhibit substantial GDP growth. The red line stays low compared to the other scenarios, indicating that the economy struggles to expand under these conditions.

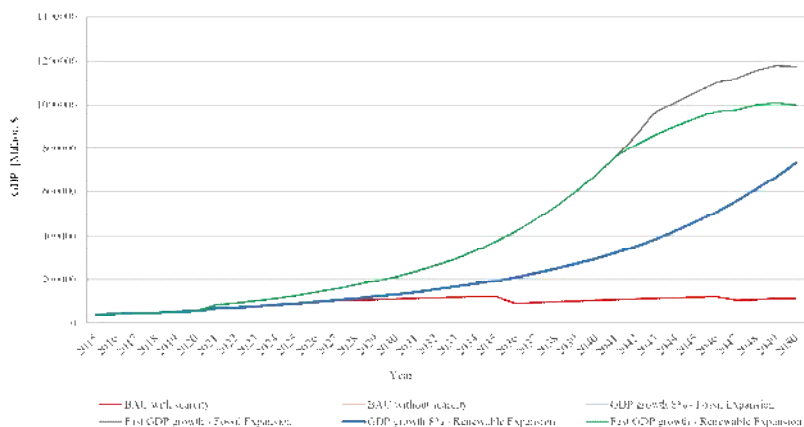


Fig. 5: Evolution of Tanzania's GDP by 2050 under different scenarios. Source: Own elaboration.

The results for BAU without scarcity, the 8% growth scenario with fossil expansion, and the 8% growth scenario with renewable expansion exhibit a similar growth dynamic over time¹. In all three cases, the economy experiences significant GDP growth and installations of new energy capacity are sufficient to meet demand needs, providing a foundation for stable growth in the early years.

In both Fast Growth scenarios—one with fossil expansion and the other with renewable expansion—the economy initially experiences robust GDP growth supported by significant investments in energy capacity. However, starting around 2040, demand begins to outpace the generation capacity, highlighting a potential turning point where resource scarcity could become a limiting factor.

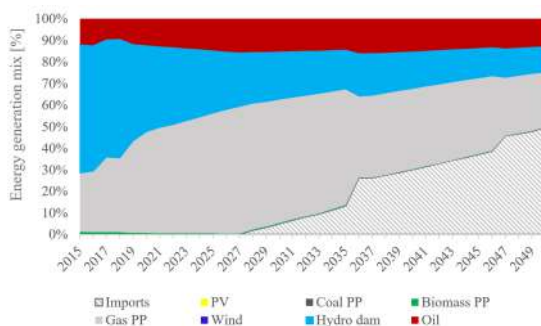


Fig. 6: Tanzania's electricity mix by 2050 in BAU scenario. Source: Own elaboration.

¹ The economic growth for these three policy scenarios presents the same trajectory, shown in the blue line on Fig 5

This emerging gap suggests that, despite the rapid growth seen in the earlier years, the lack of sufficient generation capacity could constrain economic expansion in the long term. The strain on resources visible after 2040 underscores the vulnerability of both scenarios to scarcity, as the inability to meet rising energy demands may start to hinder economic performance and slow the growth trajectory.

In terms of sustainability, Figure 8 shows the evolution of cumulative CO₂ through the different scenarios. The BAU with scarcity and BAU without scarcity scenarios follow the same energy generation policy, which results in both lines showing an identical trajectory. In the BAU with scarcity scenario, the economy consistently uses the full energy generation capacity, constrained by limited resources, which restricts economic growth and keeps emissions stable. In the BAU without scarcity scenario, while the same generation capacity is utilized, the absence of scarcity allows for economic growth without these constraints. This explains why the two scenarios display the same emissions dynamics, as both are based on the same energy policy and capacity utilization, but with differing economic implications due to resource availability.

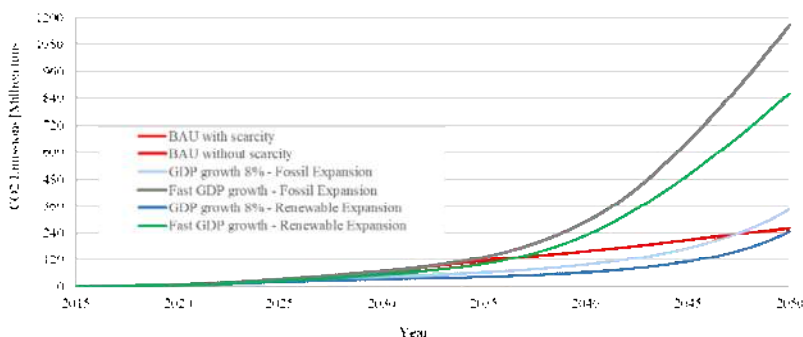


Fig. 7: Evolution of Tanzania's cumulative direct emissions from the electricity sector projected by 2050. Source: Own elaboration.

In both the 8% and 11% growth scenarios, emissions differ significantly depending on the energy expansion strategy. The fossil expansion scenarios lead to a steep rise in emissions, as fossil fuels are heavily utilized to sustain rapid economic growth. In contrast, the renewable expansion scenarios result in much lower emissions, despite supporting high growth rates. This underscores that, irrespective of the growth rate, renewable expansion consistently yields lower emissions than fossil expansion, making it a more sustainable choice environmentally. However, although renewable energy results in lower emissions than fossil fuels, under the 11% growth scenario, the increase in emissions is still significant, which raises concerns.

3. CONCLUSIONS

This study assesses the impact of different policy scenarios on Tanzania's long-term GHG emissions from the electricity sector and economy growth. It has been made with an energy-economy model developed using a System Dynamics approach.

From an economic perspective and considering the ecological economics viewpoint where resources can limit economic growth, the BAU with Scarcity scenario, combined with the BAU Power Plan policy, identifies a significant limitation on the economy due to the scarcity of energy resources. This constraint highlights the critical importance of ensuring adequate energy supply to support economic activities.

The findings further illustrate that, regardless of the percentage of economic growth, the Fossil Expansion policy leads to significantly higher accumulated CO₂ emissions by 2050 compared to the Renewable Expansion policy. In the 11% growth scenario, emissions for both policies are considerably larger than in the BAU scenario, highlighting the substantial environmental impact associated with accelerated economic growth. This underscores the importance of policy shifts that prioritize renewable energy development, not only to reduce emissions but also to ensure adequate electricity supply for growing demand. The data highlights that meeting this demand through renewable sources is the most effective path to minimizing emissions. While Africa currently has the lowest per capita CO₂ emissions worldwide, its expanding economies and dependence on fossil fuels mean that, without a pivot toward renewables, the continent could become a significant contributor to global greenhouse gas emissions in the future.

ACKNOWLEDGEMENT

This work has been developed under the ONEPLanET project (funded by the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement no 101084127). Laura Bartolomé Quevedo acknowledges financial support from Investigo Program of the State Public Employment Service and the European Union Next-GenerationEU (no. CP23/183).

REFERENCES

- IEA. (2022). Africa Energy Outlook 2022. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/220b2862-33a6-47bd-81e9-00e586f4d384/AfricaEnergyOutlook2022.pdf>
- IIASA. Shared Socioeconomic Pathways (SSP) Database. (2024). Retrieved from <https://data.ece.iiasa.ac.at/ssp/#/workspaces/200>
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- IRENA. Data and Statistics. (2024). Retrieved from <https://www.irena.org/Data/Downloads/IRENASTAT>

- IRENA. (2020). The Renewable Energy Transition in Africa. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/Renewable-Energy-Transition-Africa_Country_Studies_2021.pdf
- National Bureau of Statistics (NBS). (2022). The 2021-22 Impact of Access to Sustainable Energy Survey - Key Findings Report. Retrieved from <https://www.nbs.go.tz/nbs/takwimu/Energy/The%202021-22%20Impact%20of%20Access%20to%20Sustainable%20Energy%20Survey%20-%20English-Key%20Findings%20Report.pdf>
- Sikder, M., Wang, C., Yao, X., Huai, X., Wu, L., Yeboah, F. K., Wood, J., Zhao, Y., & Dou, X. (2022). The integrated impact of GDP growth, industrialization, energy use, and urbanization on CO₂ emissions in developing countries: Evidence from the panel ARDL approach. *Science of The Total Environment*, 837, 155795. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722028923?via%3Dihub>
- Vensim DSS. Software – Ventana Systems. (2024). Retrieved from <https://vensim.com/software/>
- World Bank. GDP growth (annual %). (2024). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=TZ>

IMPACTO DE LAS EMISIONES DE CO₂EQ: UN ESTUDIO DE BALANCE DE EMISIONES EN LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA.

Carlos Manuel WELSH-RODRIGUEZ¹, Jazive HERNANDEZ ENRIQUEZ² y Carolina Andrea OCHOA MARTINEZ¹

¹*Centro de Ciencias de la Tierra. Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N. Edificio B Facultad de Instrumentación Electrónica. Col. Zona Universitaria. C.P. 91090. Xalapa, Ver. MX.*

²*Maestría en Ciencias de la Tierra del Centro de Ciencias de la Tierra.*

cwesh@uv.mx, zS23000743@estudiantes.uv.mx y cachoa@uv.mx

RESUMEN

La Universidad Veracruzana se encuentra entre las cinco universidades de mayor reconocimiento en México, con una matrícula superior a los 85 mil estudiantes y con un fuerte programa de investigación, con presencia a lo largo y ancho del estado de Veracruz. El programa de trabajo 2021-2025, tiene como ejes transversales de trabajo a los derechos humanos y la sustentabilidad, e incluye el desarrollo de un plan de acción climática. Es por ello que, como parte indispensable de la evaluación del inventario de emisiones dentro del plan de acción climática, se está desarrollando un balance de emisiones, con el objetivo de estimar de manera puntual las emisiones del campus principal en la Ciudad de Xalapa, en el corazón de la zona universitaria. Los resultados en su etapa preliminar hacen patente la necesidad del diseño de políticas de conservación y diseño de espacios verdes con diferentes servicios ecosistémicos, esto debido a que la relación entre emisiones y captura da un balance negativo de cara a la reducción de emisiones de dióxido de carbono.

Palabras clave: Emisiones, captura de carbono, impacto, conservación y política.

ABSTRACT

Universidad Veracruzana is among the five most recognized universities in Mexico, with over 85,000 students enrolled and a strong research program, with presence throughout the state of Veracruz. The 2021-2025 work program, has as transversal axes of work human rights and sustainability, and includes the development of a climate action plan. Therefore, as an indispensable part of the assessment of the emissions inventory within the climate action plan an emission balance, with the objective of estimating properly the emissions from the main campus in the city of Xalapa, in the heart of the university district.

The results in their preliminary stage make clear the need for the design of conservation policies and green space design with different ecosystem services, this is because the ratio of emissions to capture gives a negative balance in reducing carbon dioxide emissions.

Key words: Emissions, carbon capture, impact, conservation, policies.

1. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y el cambio climático son fenómenos de escala global con impactos locales heterogéneos, las Universidades como formadoras de recursos humanos y sobre todo como generadoras de conocimiento, tienen un papel único y decisivo en el desarrollo de capacidades-competencias entre sus estudiantes y académicos, para convertirse en líderes en diferentes campos, entre ellos el ambiental. Un plan de acción climática es una herramienta indispensable para observar el compromiso institucional, y hacer frente a los desafíos sociales, ambientales y económicos, de ahí que la Universidad Veracruzana convocó a un grupo de académicos para atender la co-construcción de dicho plan; uno de los pilares y eje fundamental para lograr armonizar la política universitaria de mitigación necesita del inventario de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y en segundo lugar hacerlo público para toda la comunidad universitaria como acción básica. Una evaluación indispensable como ejercicio de cuantificación, es un balance de energía-masa relativo a las emisiones y almacenamiento de carbono al interior de la Universidad, razón por la cual desde la Maestría en Ciencias de la Tierra, se está desarrollando un proceso de investigación-acción para analizar y concluir sobre el almacenamiento de carbono en el corazón de la zona universitaria, un área de especial interés por estar ubicada la Rectoría de la Universidad y contar con unas áreas naturales, los resultados en su fase preliminar son inquietantes y permiten la base para una futura discusión de la política universitaria para hacer frente al fenómeno del cambio climático.

1.1. La Universidad Veracruzana

La Universidad Veracruzana (UV) está reconocida como la mejor del sureste de México, ofrece estudios de educación superior a nivel técnico, licenciatura y posgrado, además de contar con una gran oferta emergente en el arte, idiomas y educación musical; atiende el 25% de la matrícula de educación superior del estado, en resumen, cuenta con 77 facultades, 42 entidades de investigación, 6 unidades de servicios bibliotecarios. Por su parte, la región Xalapa es la más grande de las sedes con un total de 205 dependencias registradas y una matrícula de 54,480 estudiantes en educación formal y 11,306 estudiantes en educación no formal registrados al año 2023.

Entre 2006 y 2008 la UV coordinó la elaboración del Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC), con apoyo de la Embajada Británica en México, el entonces Instituto Nacional de Ecología, el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y el Instituto de Ecología, A.C. (INECOL). El PVCC incluye inventarios y escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel estatal, los escenarios de clima a nivel estatal y regional, y el análisis de los impactos, la vulnerabilidad y opciones de adaptación de los sectores más relevantes de cada estado ante el cambio climático (Tejeda et al, 2008).

La experiencia ganada en la elaboración del PVCC sirvió de insumo para que el grupo de expertos, elaborara la Guía para la Elaboración de Planes Estatales de Acción ante el Cambio Climático, instrumento rector, para que cada estado de la República Mexicana contará con un Programa Estatal de Acción ante el CC. Estas tareas

generaron diversos grupos de trabajo al interior de la UV, es por ello que se creó el 20 de julio de 2009 la Coordinación del Programa de Estudios de Cambio Climático de la Universidad Veracruzana (PECCUV) que junto al Centro de Ciencias de la Tierra, entidad adscrita a la dirección general de investigaciones, se desarrollan, generan y se colabora en múltiples proyectos de investigación, vinculación, formación de recursos humanos en el ámbito de la mitigación, adaptación y vulnerabilidad ante el cambio climático.

1.2. Plan de Acción Climática UV

Al ser la UV una institución pública autónoma de educación superior vinculada y comprometida con el desarrollo social y ambiental, y teniendo en consideración que los retos de una crisis climática global cada vez más grave y apremiante, pone todos sus esfuerzos y capacidades para no ser una institución ajena a esta emergencia climática.

La UV convocó a un grupo de expertos en diversas especialidades –todas ellas relacionadas con el cambio climático- para diseñar un Plan de Acción Institucional ante los impactos del fenómeno, tomando en consideración la política pública existente en la materia, la actividad que la institución ha desarrollado en torno al cambio climático, las condiciones socioeconómicas de la región, así como la información derivada de diagnósticos realizados. El Plan de Acción Climática de la Universidad Veracruzana 2030 (PACUV, 2024) tiene por propósito fundamental: contribuir a la cultura de la acción climática a través de sus funciones sustantivas y adjetivas, a fin de colaborar en la construcción de una sociedad sustentable y resiliente. El PACUV está conformado por cuatro ejes: Gestión, Investigación, Educación y Comunicación, y Vinculación, de los cuales tres de éstos corresponden a las funciones sustantivas y uno más corresponde a la función adjetiva de gestión de acción climática en las instalaciones universitarias.

| Región UV | Ton CO ₂ eq 2021 | Ton CO ₂ eq 2022 | Ton CO ₂ eq 2023 |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Veracruz | 1,157.50 | 1,735.00 | 2,628.05 |
| Xalapa | 1,484.00 | 2,361.63 | 2,435.98 |
| Poza Rica | 368.80 | 512.51 | 928.71 |
| Coatzacoalcos | 658.68 | 635.99 | 883.16 |
| Córdoba | 248.02 | 346.61 | 395.97 |
| Total | 3,917.00 | 5,591.74 | 7,271.88 |

Tabla 1: Emisiones de CO₂eq. Fuente: UV-COSUSTENTA

1.3. Inventario preliminar de emisiones UV

El insumo básico-indispensable es el inventario de gases y compuestos de efecto invernadero para la UV. A continuación, se presenta la información estimada por la coordinación universitaria de sustentabilidad (COSUSTENTA).

El primer reporte técnico se construyó desde el Centro de Ciencias de la Tierra, con datos públicos de consumo eléctrico, para el primer semestre de 2022 y en atención a los requisitos de calidad e incertidumbre del IPCC, fue entregado a la autoridad Universitaria en octubre del año 2022 y sólo contenía la información de 4 regiones y de enero a junio, dado que fue la información que se compartió desde la Secretaría de Administración y Finanzas UV, estimando aproximadamente 1,500 toneladas de CO₂eq. Se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (por sus siglas en inglés, IPCC). Se utilizó la versión revisada de 1996 de las directrices del IPCC para los inventarios de GEI.

2. MÉTODO: BALANCE DE EMISIONES

2.1. Descripción y delimitación del área de estudio

El campus central de la UV se encuentra en la región Xalapa, capital del estado de Veracruz, en este campus se ofertan 166 programas educativos y se concentra la mayor densidad de estudiantes y académicos, muchas entidades ubicadas en la denominada zona Universitaria, sitio donde se ubica la Rectoría. En esta zona se identificaron cinco sitios clave, para el presente estudio derivado de la presencia de especies forestales asociables al proceso de captura de carbono, acceso a la información mínima indispensable y a la comunidad presente. De acuerdo con el inventario de especies forestales de la COSUSTENTA, se delimitó el área de trabajo incluyendo a la Facultad de Biología-Agronomía, la Facultad de Administración, la Dirección de Actividades Deportivas (DADUV), la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Derecho (Fig. 1), sin embargo, se presentan en esta primera entrega el análisis de dos entidades, las Facultades de Arquitectura y Derecho.

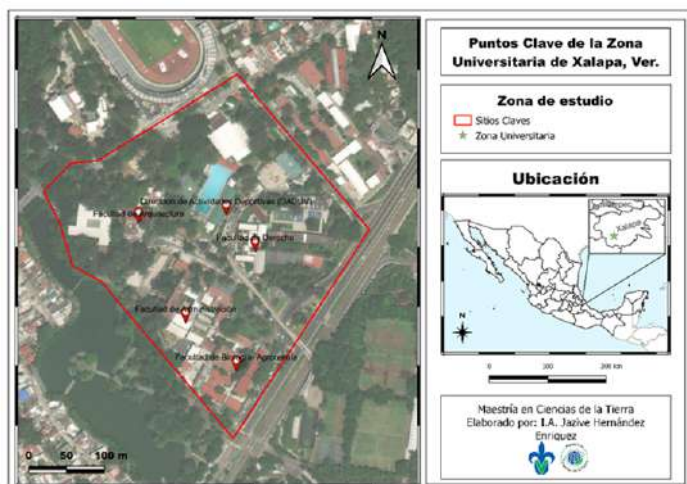


Fig. 1: Sitios claves. Fuente: Elaboración propia

En el inventario de la COSUSTENTA, existen aproximadamente 1,386 individuos dentro de la zona universitaria (tabla 2), para trabajar se estimó una muestra estadística representativa del tamaño de la población, con un nivel de confianza del 95% (Bencardino, 2019).

| Sitio Clave | Número de individuos | Comunidad universitaria |
|---|----------------------|-------------------------|
| Facultad de Derecho | 12 | 2,018 |
| Facultad de Biología – Agronomía | 143 | 1,569 |
| Dirección de Actividades Deportivas (DADUV) | 342 | 45 |
| Facultad de Administración | 368 | 3,016 |
| Facultad de Arquitectura | 521 | 2,059 |
| Total | 1,386 | 8,716 |

Tabla 2: Sitios clave y comunidad universitaria -integrada por estudiantes, académicos y personal. Fuente: Elaboración propia con datos de Información Estadística Institucional (2024).

2.2. Estimación del carbono por especies forestales

Se utilizó el modelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), llamado 'Urban Forest Effects' (UFORE), (Nowak et al., 2002):

- *UFORE-A*: Cuantifica la estructura del bosque urbano utilizando datos como la especie, densidad de los árboles, salud de los árboles, área foliar, y biomasa de hojas y árboles.
- *UFORE-C*: Estima el almacenamiento de carbono y el secuestro bruto y neto anual por los bosques urbanos.
- *UFORE-D*: Cuantifica la cantidad de deposición seca de contaminantes del aire eliminada por el bosque urbano.

2.2.a. Cálculo del área foliar

Se calculó a partir de la ecuación 1 de McPherson et al. (2018), en la cual se consideraron: la altura de copa (H), el diámetro de la copa (D), el coeficiente de sombreado (S) y la relación altura-ancho de la copa (HWR). Se aplicó un ajuste mediante una regresión basada en las dimensiones de la copa. Estos ajustes permitieron calcular de manera más precisa el área foliar inicial y corregir las estimaciones para árboles con formas inusuales.

$$\ln Y = -4.3309 + 0.2942H + 0.7312D + 5.72175S - 0.0148C \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

H= Altura de la copa (m).

D= Diámetro a la altura del penacho (m).

S= Coeficiente de sombreado.

C= Relación altura- ancho de la copa (HWR) ($\pi D(H+D)/2$).

S se define como la obstrucción de la luz solar por el follaje del árbol, ecuación 2, elaborada por McPherson et al. (2018), se utilizó para calcular este coeficiente a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) del árbol.

$$Y = 0.0617 * \ln(x) + 0.615 + \text{coeficientes de sombreado específicos de cada especie} \quad (\text{Ec. 2}).$$

2.2.b. Biomasa foliar.

Se refiere al peso seco de las hojas de los árboles, se multiplicó el área foliar por el factor de conversión específico de cada especie forestal, según Winer et al. (1983) y Nowak (1991).

2.2.c. Almacenamiento y secuestro de carbono.

Se basó en la proporción de carbono que se encuentra generalmente en la biomasa seca. Según estudios previos de Chow y Rolfé (1989), este valor se aproxima al 50% de la biomasa total en la mayoría de los árboles. De acuerdo con Sanquetta et al. (2015), se aplica un factor de conversión del 41% en el caso de las palmeras. Para evitar sobreestimaciones en los árboles grandes, se aplicó una limitación en el almacenamiento de carbono: un máximo de 40 kg de carbono por cada centímetro de crecimiento en el DAP, una vez que el árbol ha alcanzado los 7,500 kg de carbono.

2.2.d. Tasa de crecimiento y exposición a la luz (CLE)

Esta tasa es un factor clave para determinar la velocidad con la que un árbol puede capturar CO₂ a lo largo de su vida. Según Fleming (1988), Frelich (1992) y Nowak (1994), esta tasa se ajustó al crecimiento basado en la duración de la temporada de crecimiento (días sin heladas).

| Tasa de crecimiento (cm/año) | Crecimiento |
|------------------------------|-------------|
| 0.58 | Lento |
| 0.84 | Moderado |
| 1.09 | Rápido |

Tabla 3: Tasa de crecimiento. Fuente: Elaboración propia adapta de Fleming, (1988); Frelich, (1992); Nowak, (1994).

2.3. Estimación de emisiones de CO₂eq por consumo eléctrico

Para estimar las emisiones de CO₂eq se utilizó la metodología del IPCC de 2006 para inventarios de gases de efecto invernadero (Branca, B.A., et al., 2006). Se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero multiplicando el consumo de combustible por el factor de emisión presentada en la tabla 4.

$$E=A * F.E. \text{ (Ec. 3)}$$

Donde:

E = emisiones de CO₂ (tCO₂eq).

A = actividad -consumo energético eléctrico- (MWh).

F.E. = factor de emisión (tCO₂eq / MWh).

| Año | Factor de emisión tCO ₂ eq / MWh |
|------|---|
| 2019 | 0.505 |
| 2020 | 0.494 |
| 2021 | 0.423 |
| 2022 | 0.435 |
| 2023 | 0.438 |

Tabla 4: Factor de emisión por año. Fuente: Elaboración propia, adaptado del Sistema Eléctrico Nacional de México, en función del vector energético para la generación de energía.

2.5. Balance de emisión-almacenamiento

Se realizó un balance básico de emisiones, usando como principio, la aplicación de leyes de conservación de masa y energía, dado que son una herramienta de intuición necesaria para distinguir las emisiones y la captura-almacenamiento de CO₂eq.

$$B= ET- CT \text{ (Ec. 4)}$$

Dónde:

B= Balance (tCO₂eq).

ET = Emisiones totales (tCO₂eq).

CT = Captura-almacenamiento total (tCO₂eq).

3. RESULTADOS

Los resultados presentados compilan dos de las cinco entidades, se terminaron de construir las series temporales de los consumos eléctricos y se está en la etapa final de datos de especies in situ, mismos que estarán disponibles para abril de 2025.

Se evaluaron los coeficientes de correlación de Spearman y Pearson para determinar si existe una relación entre la cantidad de carbono almacenado por cada especie vegetal y las emisiones de CO₂eq en la Zona UV. Además, se utilizó el método ANOVA para comparar la captura de carbono que existe entre diferentes especies

vegetales y finalmente con la prueba de *Tukey* se identifican que grupos difieren entre sí en términos de captura de carbono.

3.1. Estimación del carbono por especies forestales

La captura de carbono se refiere al proceso anual mediante el cual los árboles fijan el dióxido de carbono a través de la fotosíntesis, el almacenamiento de carbono representa la cantidad total de carbono acumulado en la biomasa del árbol (tronco, raíces y follaje) a lo largo del tiempo.

La Facultad de Derecho, que es el área con menor número de individuos, se encontró una diversidad de especies que no contribuye positivamente a la captura de carbono, las especies evaluadas (liquidámbar, araucaria, palmera y pomarrosa) con un valor de $p = 0.097$. Por otro lado, en la Facultad de Arquitectura (como se muestra en la Fig. 2), las especies con los valores más altos tanto en almacenamiento como en secuestro de carbono fueron las *Casuarina* y los *Eucalyptus globulus*. Estas especies son, hasta el momento, las que más carbono almacenan a lo largo del tiempo y las más eficientes en capturarlo anualmente. Sin embargo, es importante destacar que, aunque estas especies mostraron buenos resultados, la especie con mayor número de individuos en la facultad fue el pino (*Pinus s.p.*), que mostró un almacenamiento de carbono de 2.7 tCO₂eq/año y una captura de carbono de 0.63 tCO₂eq/año.

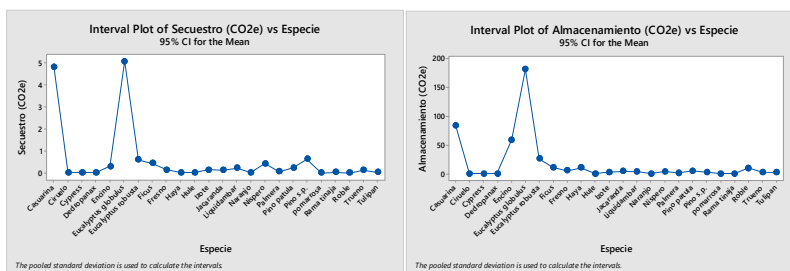


Fig. 2: *Captura de carbono (izquierda) y almacenamiento de carbono (derecha).*
 Fuente: *Elaboración propia.*

La facultad de derecho cuenta con una captura de carbono de 0.02 tCO₂/año y un almacenamiento de carbono de 2.5 tCO₂/año por otro lado, en el caso de la facultad de arquitectura cuenta con una captura de carbono de 13.43 de tCO₂/año y un almacenamiento de carbono de 411.8 tCO₂/año.

3.2. Emisiones de CO₂eq.

En la Figura 3 se pueden observar las emisiones de CO₂eq registradas por las facultades de Derecho y Arquitectura. Se puede apreciar que la facultad de Derecho emite menos CO₂eq que la facultad de Arquitectura; la diferencia entre ambas es de 8.83 tCO₂eq/año.

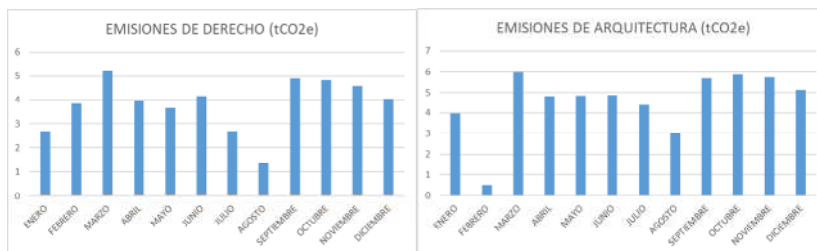


Fig. 3: Emisiones de CO₂ en Facultades de Derecho (izquierda) y Arquitectura (derecha). Fuente: Elaboración propia

3.3. Balance de emisión.

De acuerdo con el balance de emisión-almacenamiento de la facultad de Arquitectura, se obtuvo un resultado de 370.53 tCO₂eq/año, lo que indica que la capacidad neta para la captura y almacenamiento de carbono excede sus emisiones, contribuyendo de manera efectiva a la reducción de CO₂eq en la atmósfera.

Por otro lado, el balance de la facultad de Derecho no es capaz de compensar sus emisiones de CO₂eq, con un total de -43.21 tCO₂eq/año, por lo que se observa es la necesidad de una política institucional de gestión de emisiones, o hasta un mercado interno de bonos de carbono.

| Emisiones de CO ₂ (tCO ₂ eq/año) | Secuestro de carbono (tCO ₂ eq/año) | Almacenamiento de carbono (tCO ₂ eq/año) |
|---|---|--|
| Facultad de Arquitectura | | |
| 54.78 | 13.43 | 411.8 |
| Facultad de Derecho | | |
| 45.95 | 0.24 | 2.5 |

Tabla 5: Información para el balance. Fuente: Elaboración propia

4. COMENTARIOS FINALES

Actualmente ya se tiene la medición in situ de la muestra completa en un total de 624 individuos integrados en la base de datos para la región Xalapa en la zona universitaria. Las emisiones equivalentes a partir del consumo eléctrico de dos facultades para la región Xalapa, representan cerca del 8% de las emisiones totales referidas en el inventario de emisiones, lo que tiene implicaciones que deben ser revisadas con atención, siendo que entre las dos facultades representan sólo el 7% del total de comunidad universitaria, esto sugiere la hipótesis de una posible subestimación de emisiones. Finalmente, en cuanto al análisis realizado, la facultad de Arquitectura presenta una mayor captura de carbono, esto es posiblemente

asociado a las especies presentes en esta facultad y su eficiencia en el almacenamiento, además de la densidad de individuos forestales con ese servicio ambiental, un indicador positivo para establecer un mecanismo de bonos de carbono al interior de la UV, además de favorecer la conservación de su patrimonio natural. Mientras que en la facultad de Derecho se deben establecer estrategias urgentes y de impacto para la mitigación, como pueden ser paredes verdes, techos verdes, uso de luminarias de bajo consumo y una estrategia de ahorro de energía en el corto plazo.

En conclusión, entre estas dos facultades se puede observar una diferencia efectiva entre sus capacidades de captura y almacenamiento de carbono por su capital natural presente, pero en ambos casos con ventanas de oportunidad y retos en favor de la mitigación al interior de la UV. Arquitectura tiene un mejor rendimiento en términos de mitigación de emisiones de CO₂eq en comparación con la Facultad de Derecho, pero persiste la interrogante ¿Qué ocurre en toda la Universidad?

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer el Programa de Estudios de Cambio Climático UV por el apoyo para la participación en la AEC XIII, es pertinente señalar el apoyo invaluable de acceso a los datos del inventario forestal de la Zona Universitaria en la región Xalapa bajo la tutela de COSUSTENTA UV.

REFERENCIAS

- Bencardino, C. M. (2019). Estadística básica aplicada. Recuperado de: <https://www.ecoediciones.mx/wp-content/uploads/2015/08/Estad%C3%ADstica-b%C3%A1sica-aplicada-Vista-preliminar-del-libro.pdf>
- Branca, BA, Chia, H., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, LN, Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, JD, Gómez, DR, Watterson, JD y Treanton, K. (2006). Combustión móvil (Vol. 2). En Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (págs. 2.6–2.47). Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- Chow, P., & Rolfe, G. L. (1989). Carbon and hydrogen contents of short-rotation biomass of five hardwood species. *Wood and Fiber Science*, (pp 30–36). Recuperado de: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/188/188>
- Fleming, L. E. (1988). Growth estimates of street trees in Central New Jersey. Rutgers University. Recuperado de: https://www.fs.usda.gov/ne/newtown_square/publications/brochures/pdfs/state_forests/nj_forest.pdf
- Frelich, L. E. (1992). Predicting dimensional relationships for Twin Cities shade trees. University of Minnesota, Department of Forest Resources.
- Información Estadística Institucional (2024). Series Historicas 2014-2013. Recuperado de: https://www.uv.mx/informacion-estadistica/files/2022/01/Series-Historicas-2023_2024.pdf

- McPherson, E. G., Xiao, Q., Van Doorn, N. S., Johnson, N., Albers, S., & Peper, P. J. (2018). Shade factors for 149 taxa of in-leaf urban trees in the USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 204–211. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.001>
- Nowak, David J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, 83–94. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/David-Nowak-6/publication/224001444_Chicago's_Urban_Forest_Ecosystem_Results_of_the_Chicago_Urban_Forest_Climate_Project/links/5bae113ba6fdccd3cb794871/Chicago-Urban-Forest-Ecosystem-Results-of-the-Chicago-Urban-Forest-Climate-Project.pdf#page=91
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., & Ibarra, M. (2002). Brooklyn's urban forest. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. <https://doi.org/10.2737/ne-gtr-290>
- Nowak, David J., Greenfield, E. J., & Ash, R. M. (2019). Annual biomass loss and potential value of urban tree waste in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126469. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126469>
- Nowak, David John. (1991). Urban forest development and structure: analysis of Oakland, California. University of California, Berkeley. Recuperado de: <https://www.proquest.com/docview/303914893?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- PACUV. (2024). Plan de Acción Climática de la UV 2030. Recuperado de: https://www.uv.mx/sustentable/files/2024/09/Plan-de-Accion-Climatica_28AGO.pdf
- Sanquetta, C. R., Sylvio, P. Ñ., Dalla Corte, A. P., Behlin, A., & Sanquetta, M. N. I. (2015). Quantifying biomass and carbon stocks in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Northeastern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 10(43), 4067–4075. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9582>
- Tejeda, A., C. Conde, L. Conde, T. García, M. Guadarrama, A. Gutiérrez, E. López, V. Magaña, C. Ochoa, G. Salas, S. Salazar y C. Welsh. (2008). Guía para la elaboración de planes estatales de acción ante el cambio climático. México: Instituto Nacional de Ecología, UNAM. Recuperado de: <https://www.uv.mx/peccuv/files/2020/07/Veracruz-una-decada-ante-el-cambio-climatico.pdf>
- Winer, A. M., Fitz, D., Miller, P., Atkinson, R., Brown, D. E., & et al. (1983). Investigation of the role of natural hydrocarbons in photochemical smog formation in California: Final report. Riverside, CA: Statewide Air Pollution Research Center. Recuperado de: https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/41028

