



Artículo Divulgativo

Fenología y cambio climático: respuestas de los ecosistemas locales y el rol de la ciencia ciudadana

Phenology and climate change: responses of local ecosystems and the role of citizen science

Raúl J. Jiménez Solórzano^{1*} , Jorge Marquina¹ , Ricardo J. Chaparro-Tovar² 

¹Profesional de Investigación, Unidad de Recursos Agroecológicos, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) - Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Avenida Universidad, vía El Limón, Recinto Universitario, Código Postal: 2103. Maracay, Venezuela. ²Profesional de Investigación, Coordinación de Seguimiento y Evaluación Técnica de Proyectos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Avenida Universidad, vía El Limón, Edificio Gerencia General, Código Postal: 2105. Maracay, Venezuela.

*Correo Electrónico: raulsolono@gmail.com

Recibido: 22-09-2025. Aceptado: 17-02-2026. Publicado: 01-04-2026.

Resumen

El cambio climático está alterando drásticamente los patrones de precipitación y la fenología de las plantas, con profundas implicaciones para los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Este artículo explora cómo los cambios pluviométricos afectan el ciclo de vida de la vegetación, causando fenómenos como la floración temprana o el estrés hídrico. A través de ejemplos concretos en Venezuela y España, se ilustra cómo estas alteraciones tienen efectos en cascada que trascienden lo biológico, impactando la agricultura, la apicultura y la salud de la flora urbana. La importancia de este problema se evidencia en el reconocimiento de organizaciones internacionales como el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) y la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). Sus informes destacan la fenología como un indicador crucial del cambio climático, subrayando la necesidad de monitorear estas respuestas biológicas para la toma de decisiones. En este contexto, la ciencia

ciudadana emerge como una herramienta fundamental. Iniciativas como las de monitoreo de precipitación en Aragua (Venezuela) y los programas de fenología como Phenoclim en España demuestran que las comunidades pueden generar datos de alta resolución que complementan el trabajo científico. La participación de los ciudadanos en la recopilación de datos no solo fortalece la resiliencia climática local, sino que también democratiza el conocimiento y fomenta una acción adaptativa. Se concluye que la integración del monitoreo científico con la observación comunitaria es una estrategia crucial para comprender y mitigar los efectos del cambio climático.

Palabras clave: Seguridad alimentaria, ciclo de vida, estrés hídrico, resiliencia climática, Ciudad Guayana, servicios ecosistémicos.

Abstract

Climate change is drastically altering precipitation patterns and plant phenology, with profound implications



for ecosystems and food security. This article explores how pluviometric changes affect the life cycle of vegetation, causing phenomena such as early flowering and water stress. Using concrete examples from Venezuela and Spain, we illustrate how these alterations have cascading effects that transcend biological impacts, affecting agriculture, beekeeping, and the health of urban flora. The significance of this issue is underscored by the recognition of international organizations like the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). Their reports highlight phenology as a crucial indicator of climate change, emphasizing the need to monitor these biological responses for effective decision-making. In this context, citizen science emerges as a fundamental tool. Initiatives like precipitation monitoring in Aragua, Venezuela, and phenological programs such as Phenoclim in Spain, demonstrate that communities can generate high-resolution data that complement professional scientific work. Citizen participation in data collection not only strengthens local climate resilience but also democratizes knowledge and promotes adaptive action. The integration of scientific monitoring with community-based observation is concluded to be a crucial strategy for understanding and mitigating the effects of climate change.

Keywords: Food security, biological life cycles, water stress, climate resilience, Ciudad Guayana, ecosystem services.

Introducción

En el contexto contemporáneo, el cambio climático emerge como uno de los desafíos más apremiantes de nuestro tiempo, con implicaciones que trascienden las esferas ecológicas para impactar directamente en la vida humana y la estabilidad de los ecosistemas. Si bien el aumento de las temperaturas globales es la manifestación más publicitada de este fenómeno,

sus efectos se extienden a un nivel más localizado y complejo, afectando los patrones meteorológicos y, de manera crucial, la disponibilidad de recursos hídricos. La alteración de los patrones pluviométricos, caracterizada por variaciones en la intensidad, frecuencia y distribución de las lluvias, se ha convertido en una señal inequívoca de esta crisis. Este documento explora de manera sinóptica la profunda conexión entre el cambio climático y las alteraciones en las precipitaciones, haciendo especial hincapié en sus consecuencias directas sobre el mundo vegetal.

A lo largo de la historia evolutiva, las plantas han desarrollado sofisticados mecanismos para adaptarse a su entorno, siendo la disponibilidad de agua un factor determinante para su supervivencia y desarrollo. La alteración de los ciclos de lluvia ejerce una presión sin precedentes sobre la fenología (el estudio de las etapas de vida de las plantas), la fisiología y la distribución geográfica de las especies vegetales.

Entender cómo las plantas responden a estos cambios es fundamental para prever los futuros impactos en la agricultura, la seguridad alimentaria y la biodiversidad. A medida que las estaciones de crecimiento se vuelven impredecibles y los eventos climáticos extremos como sequías prolongadas o inundaciones repentinas se intensifican, las plantas se ven forzadas a modificar sus ciclos de floración, fructificación y senescencia. Este documento no solo aborda el problema, sino que también analizará las respuestas adaptativas y las vulnerabilidades de las plantas, ofreciendo una visión integral de un ecosistema en riesgo.

El vínculo entre el cambio pluviométrico y las plantas es un tema de estudio crítico en la ecología, la botánica y la agronomía. Las alteraciones en la fenología, como la floración temprana o tardía, pueden desincronizar las plantas de sus polinizadores o de las condiciones óptimas para la fructificación. Un ejemplo claro se observa en regiones donde la lluvia, que tradicionalmen-



te señalaba el inicio de la temporada de crecimiento, ahora se presenta de manera errática.

Esta desincronización puede reducir la producción de semillas y, en última instancia, amenazar la supervivencia de especies enteras. A nivel fisiológico, las plantas responden a la escasez de agua cerrando sus estomas (los poros en las hojas) para reducir la transpiración. Si bien esta es una estrategia de supervivencia, también limita la absorción de dióxido de carbono, afectando la fotosíntesis y el crecimiento. Por otro lado, el exceso de agua puede llevar a la saturación del suelo, privando a las raíces de oxígeno y provocando la muerte de la planta.

El impacto no se limita a la fenología. La distribución geográfica de las especies vegetales también está cambiando. A medida que las condiciones climáticas se vuelven insostenibles en sus hábitats tradicionales, muchas especies se ven obligadas a migrar hacia altitudes o latitudes más altas en busca de condiciones más favorables. Este fenómeno de “migración climática” puede llevar a la pérdida de biodiversidad en los hábitats originales y a la colonización de nuevos territorios, lo que a su vez altera la composición de los ecosistemas. Los bosques, por ejemplo, son particularmente vulnerables, ya que un cambio en los patrones de lluvia puede aumentar la frecuencia de incendios forestales o hacerlos más susceptibles a plagas y enfermedades. Por tanto, la alteración pluviométrica no es solo un fenómeno hidrológico; es un catalizador de cambios ecológicos a gran escala que amenaza con reconfigurar los paisajes naturales de nuestro planeta.

El análisis de la relación entre el cambio en las lluvias y su impacto en las plantas demuestra la necesidad de un enfoque multidisciplinario. Este enfoque debe incluir, de manera crucial, la participación activa de las comunidades para abordar el problema de manera efectiva. La investigación científica debe centrarse en la recopilación de datos de alta resolución sobre las

precipitaciones y en el monitoreo a largo plazo de las respuestas de las plantas. Aquí es donde la ciencia ciudadana adquiere un papel crucial. La participación de las comunidades locales, especialmente agricultores y productores, en el registro de datos sobre las precipitaciones y el comportamiento de las plantas, puede proporcionar una invaluable fuente de información para los científicos. Este enfoque colaborativo, en el que el conocimiento empírico de las comunidades se combina con la metodología científica, puede acelerar nuestra comprensión de estos fenómenos y facilitar el desarrollo de estrategias de adaptación más efectivas.

Por ello, el impacto del cambio climático en los patrones pluviométricos no es un problema distante o abstracto, sus efectos se manifiestan en la salud de nuestros ecosistemas, la productividad de nuestras tierras de cultivo y la supervivencia de las especies vegetales que sustentan la vida en la Tierra, por ello, la atención a los cambios en los patrones de precipitación se convierte en un tema de urgente atención.

A continuación, se presentan dos ejemplos que demuestran las alteraciones en los ciclos naturales y las consecuencias inesperadas, tanto biológicas como sociales, que ya se están manifestando modificaciones de la vegetación ornamental en el contexto urbano.

Cambio climático en Ciudad Guayana

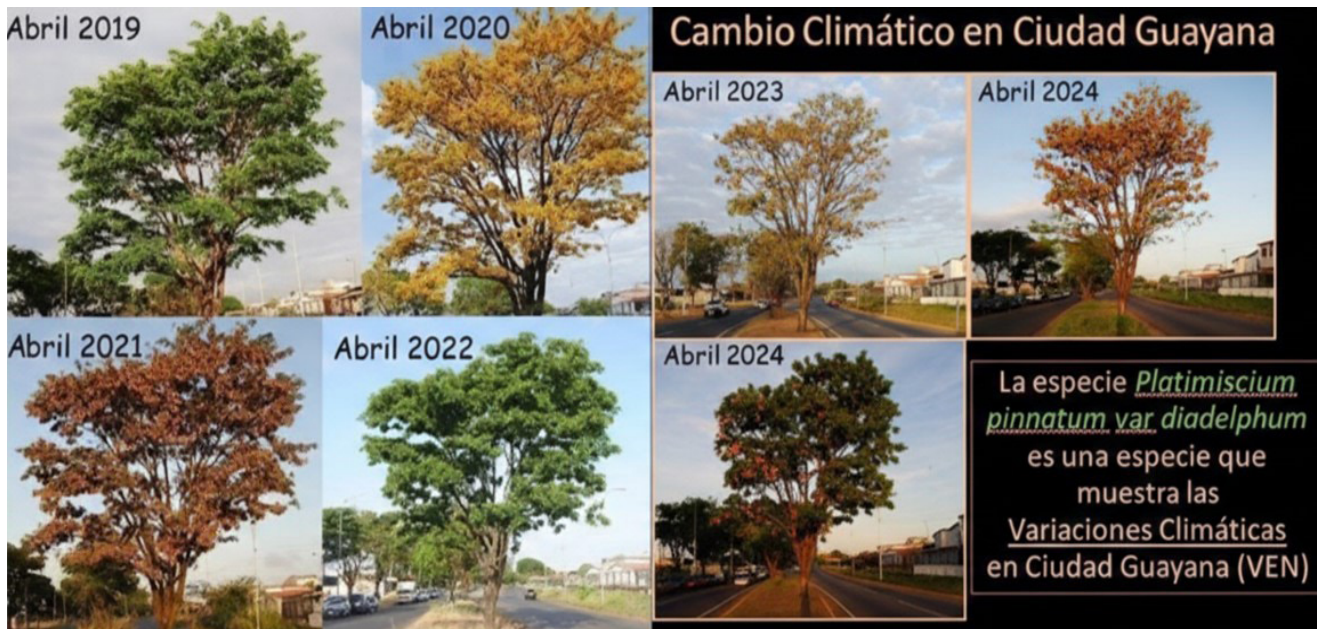
En Venezuela, Ciudad Guayana, Paolini (2023) presentó la observación fenológica de un roble (*Platimiscium pinnatum* var. *diadelphum*) que presenta ciclos que se pueden observar claramente a través de registros fotográficos (Figura 1).

En la segunda quincena de abril, entre el 16 y el 20, se realizó este registro para documentar las distintas etapas de desarrollo del árbol. Esta práctica es crucial, ya que permite visualizar cómo las condiciones climáticas afectan la fase fenológica del roble de un año a otro.



Figura 1

Observación fenológica de un roble (*Platimiscium pinnatum* var. *diadelphum*).



Nota. Adaptado de Ciclos fenológicos del roble (*Platimiscium pinnatum* var. *diadelphum*) en Ciudad Guayana, Venezuela, durante el periodo abril 2019–abril 2025 de Paolini, 2023, (<https://x.com/JorgePaolini1/status/192562792841229942>).

La variabilidad climática puede influir en varios aspectos del ciclo de vida del roble. Por ejemplo, las temperaturas más cálidas pueden provocar que la floración ocurra antes, lo que podría afectar la polinización y, en consecuencia, la fructificación.

Al observar año tras año las imágenes del roble, se pueden identificar patrones como el adelanto o retraso de estas fases, lo que nos proporciona información valiosa sobre cómo el cambio climático está afectando a los ecosistemas locales. Además, el uso de un código RPD-01 para identificar el árbol facilita la recopilación de datos a lo largo del tiempo, permitiendo un análisis más detallado y sistemático. La comparación de las fotos puede revelar no solo cambios en el momento de la floración y la fructificación, sino también en la salud general del árbol, la densidad de las hojas y otros parámetros que son esenciales para entender su adaptación a condiciones cambiantes.

Este tipo de monitoreo no solo es útil para la investigación científica, sino también para la conservación y gestión de los árboles en áreas urbanas, ya que proporciona una base sólida para tomar acciones sobre la protección de este y otros ejemplares en su entorno. La documentación continua y la observación son fundamentales para anticipar y mitigar los efectos negativos de la variabilidad climática en nuestros ecosistemas.

La fragilidad de los ecosistemas tropicales ante las perturbaciones climáticas queda evidenciada en estudios de largo alcance. Específicamente, investigaciones realizadas en bosques nublados de Venezuela durante tres décadas y media han demostrado cómo la sequía extrema interrumpe drásticamente la fenología vegetal, alterando los ciclos reproductivos de la flora local (Flores et al., 2023). Estos hallazgos subrayan la urgencia de establecer sistemas de monitoreo

robustos que permitan cuantificar tales cambios. En este sentido, la articulación entre los datos científicos históricos y la observación activa por parte de la comunidad se torna indispensable para comprender la magnitud de estas alteraciones y desarrollar estrategias de adaptación efectivas.

El impacto del cambio climático en la naturaleza de España

El cambio climático está alterando visiblemente los ciclos naturales en España, con efectos que se sienten tanto en los ecosistemas rurales como en los urbanos. Este fenómeno es un ejemplo claro de cómo la alteración de un ciclo biológico inicial desencadena una serie de consecuencias en cadena, con profundas repercusiones ecológicas, sociales y económicas.

Uno de los ejemplos más evidentes se encuentra en la floración de los almendros. Tradicionalmente, estos árboles florecían a finales de enero, pero ahora es común verlos florecer mucho más pronto, incluso en pleno diciembre. Este adelanto en la floración es irregular y menos abundante, lo que ha modificado la conducta de los apicultores.

De Tapia (2025) señala que la floración temprana ha dejado de ser una fuente rentable de polen y néctar, lo que ha llevado a muchos apicultores a buscar nuevos destinos para sus colmenas. Esta ausencia de abejas, cruciales para la polinización, ha provocado a su vez una menor fructificación de los almendros. Se trata de un ciclo vicioso en el que la alteración de un evento biológico afecta directamente la producción agrícola y las actividades económicas asociadas.

El impacto no se limita al campo. En los espacios urbanos, la falta de agua y las altas temperaturas están causando graves daños en la vegetación ornamental. Se ha observado un aumento en la rotura de las ramas de los árboles en las calles, una consecuencia directa

del estrés hídrico que debilita su estructura. Árboles como los tilos están mostrando un comportamiento atípico. Ante el calor extremo y la escasez de agua, sus hojas se vuelven amarillas o marrones en pleno verano, un fenómeno similar al del otoño. Los árboles retiran los nutrientes de sus hojas, comportándose como caducifolios para poder sobrevivir en un ambiente tan hostil.

En conjunto, estos fenómenos demuestran cómo la ruptura de los delicados equilibrios de la naturaleza tiene un impacto directo en la producción de alimentos y en la salud de los ecosistemas, lo que nos invita a una reflexión profunda sobre las urgentes consecuencias del cambio climático.

Fenología y cambio climático: una conexión global

El impacto del cambio climático en los ciclos de la vegetación es un fenómeno de interés global, y la fenología (el estudio de los eventos biológicos recurrentes y sus causas en relación con el clima) es una herramienta clave para comprenderlo. Las referencias más importantes en este campo son los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (**IPCC**) y la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (**IPBES**).

Los informes del IPCC (2021), especialmente el sexto informe de evaluación (AR6), representan una referencia científica exhaustiva sobre el cambio climático. Estos documentos dedican secciones completas a la fenología, mostrando cómo el aumento de las temperaturas y las alteraciones en las precipitaciones adelantán o retrasan eventos cruciales del ciclo de vida de las plantas, tales como la brotación, la floración y la caída de las hojas.

Por su parte, la IPBES (s. f.) se centra en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. En sus informes, a



menudo citados junto a los del IPCC, analizan cómo el cambio climático impulsa la pérdida de biodiversidad y destacan la fenología como un indicador crucial. Estos documentos subrayan la importancia de monitorear estos cambios para comprender y mitigar el impacto en los ecosistemas globales.

En otro orden de ideas, aunque los ejemplos de España y Venezuela parecen muy diferentes, ambos ilustran el mismo principio fundamental: el adelanto o retraso de las fases vitales de las plantas, como la floración, tiene efectos en cascada que se extienden más allá de la biología de un solo árbol.

En España, la floración prematura de los almendros no solo es una curiosidad biológica; es una señal de alarma que afecta directamente a la economía de los apicultores y a la producción agrícola. Esta cadena de eventos demuestra que la alteración de un ciclo natural tiene repercusiones socioeconómicas tangibles. Por otro lado, la observación detallada de un solo roble en Venezuela, a través de registros fotográficos y un código de identificación, valida la importancia de la investigación metódica. Este enfoque, aunque a menor escala, proporciona la evidencia científica necesaria para la conservación y gestión de los ecosistemas locales.

En ambos casos, la observación continua y la recopilación de datos son cruciales para documentar y anticipar los efectos del cambio climático. Ya sea a través de un estudio científico riguroso o de la simple observación de lo que ocurre en los campos y las ciudades, la evidencia demuestra que el clima está reconfigurando el delicado equilibrio de la naturaleza.

La comprensión de la fenología no se limita a la observación biológica, sino que requiere un análisis riguroso de la complejidad de los datos temporales. La investigación de Reyes *et al.* (2025) introduce enfoques matemáticos avanzados para modelar cómo las huellas

estacionales y los cambios bruscos en las condiciones ambientales impactan la estabilidad de los ecosistemas. Este tipo de análisis no lineal permite identificar “saltos” en los estados dinámicos de los sistemas ecológicos, proporcionando una base cuantitativa sólida para entender cómo la sequía o las lluvias extremas provocan alteraciones irreversibles. Por tanto, integrar estas herramientas analíticas es crucial para predecir puntos de quiebre en la biodiversidad local.

Importancia del dato pluviométrico comunitario para la mitigación del cambio climático

El cambio climático afecta directamente los sistemas biológicos, alterando los delicados equilibrios de la naturaleza. Guesmi (2021) explica que, ante condiciones climáticas adversas, la fenología de las plantas se ve directamente impactada. Para sobrevivir, los organismos activan la latencia, un mecanismo que pausa su crecimiento y desarrollo. Este proceso puede ser predictivo, cuando las plantas anticipan el invierno, o consecuente, cuando ocurre de forma abrupta tras un cambio inesperado en el clima.

El agua, un recurso fundamental para la vida, se ha convertido en un desafío en la agricultura. Domene y Ayala (2025) señalan que la disponibilidad de este recurso influye directamente en la fenología de las plantas, afectando su crecimiento y el desarrollo de sus etapas vitales. No obstante, Shaxson y Barber (2005, cap. 3) advierten que la cantidad de lluvia no siempre garantiza la absorción de agua por el suelo. Un fenómeno de escorrentía puede causar estrés hídrico en las plantas, provocando una sequía a pesar de la precipitación. En este contexto, el monitoreo del clima es esencial, ya que los factores meteorológicos, como las lluvias, el granizo y la radiación solar, no solo determinan el crecimiento de los cultivos, sino también la aparición de plagas y enfermedades (AGRICOLUS, 2022).



De ahí que, la participación activa de la ciudadanía en la ciencia, conocida como ciencia ciudadana, es una tendencia emergente y de alto valor. Según Finquelievich y Fischnaller (2014), este concepto representa un tipo de producción científica que se basa en la colaboración voluntaria de personas. Estos ciudadanos, sin necesidad de conocimientos previos, utilizan sus capacidades y recursos tecnológicos para generar grandes volúmenes de datos que son de gran utilidad para la ciencia.

La participación activa de la ciudadanía en el proceso de investigación y desarrollo tecnológico ha emergido como una estrategia fundamental para garantizar que las innovaciones sean verdaderamente pertinentes y efectivas para las comunidades locales. Este enfoque, que valora el conocimiento y la experiencia de los propios habitantes, evita la imposición de soluciones genéricas y fomenta un proceso de cocreación. Sobre este particular, Mateos-Espejel y Estrada (2024) subrayan la importancia del diálogo y la colaboración, destacando que:

Al involucrar a la ciudadanía en el desarrollo de la investigación científica, por ser partícipe en la recolección de datos y brindar información de su propia localidad, permite que la tecnología empleada para la solución de problemáticas locales no sea impuesta, sino resultado de un proceso de diálogo para generar soluciones que sean acordes a las situaciones específicas de cada comunidad. (p.9)

Este enfoque colaborativo ya está demostrando su eficacia en el ámbito del monitoreo hidrológico y fenológico. Por ejemplo, en el contexto venezolano, específicamente en el estado Aragua, se ejecuta el proyecto de observadores meteorológicos comunitarios mediante el uso de herramientas web sencillas, los brigadistas locales registran datos de precipitación que no solo amplían la cobertura de las redes de monitoreo formales, sino que también fortalecen la capacidad de respuesta de la comunidad frente a los riesgos

ambientales.

Estos datos pluviométricos de alta resolución, validados frente a estaciones oficiales, han permitido a las comunidades de Aragua identificar anomalías interanuales y tendencias climáticas importantes. Por ejemplo, los registros muestran una precipitación media anual de 1100-1200 mm con un régimen bimodal (INAMEH, 2022). Además, se han detectado déficits de hasta un 35% en años de El Niño y excesos de hasta un 40% en años de La Niña (elcompi.net, 2025), lo que ayuda a predecir la intensificación de sequías o lluvias extremas (IPCC, 2021).

La integración de los observadores comunitarios no solo mejora el sistema de alerta temprana en cuencas vulnerables de la zona, como El Limón y Tejerías, sino que también demuestra que la generación de conocimiento científico puede surgir directamente de la comunidad. Esta experiencia se alinea con iniciativas internacionales de monitoreo fenológico y climático, confirmando que la colaboración entre la ciencia ciudadana y las instituciones es una estrategia efectiva para comprender los efectos del cambio climático a escala local y regional.

En esta dirección, en Perú, el proyecto “Datos a Prueba de Agua”, mencionado por Escobar (2025), es otro caso de cómo las comunidades locales, con el apoyo de expertos, instalan y gestionan pluviómetros para generar alertas tempranas de desastres. De manera similar, en Argentina, un proyecto documentado por Luján *et al.* (2023) capacitó a comunidades en la Costa de Buenos Aires para medir las precipitaciones y la variabilidad climática. Ambas experiencias demuestran que la ciencia ciudadana es una herramienta viable para suplir la falta de redes de monitoreo oficiales.

En el campo de la fenología, proyectos como Pheno-clim, liderado por el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (s.f) en la frontera entre España y Francia, y



FenoDato (s.f.) en España, permiten a los ciudadanos registrar observaciones sobre la fenología de plantas y animales. Al documentar eventos como la floración, la maduración de frutos o la migración de aves, estos programas ayudan a los científicos a estudiar los efectos del cambio climático a gran escala.

Estas iniciativas subrayan que la colaboración entre la ciudadanía y las instituciones es una estrategia efectiva para comprender los efectos del cambio climático. La participación ciudadana no solo mejora los sistemas de alerta temprana en áreas vulnerables, al mismo tiempo, democratiza el acceso al conocimiento científico.

Este modelo de aprendizaje mutuo empodera a las comunidades y provee a las instituciones de datos valiosos. En el contexto de los desafíos agrícolas y ambientales actuales, este enfoque es una respuesta innovadora y necesaria para promover el monitoreo de precipitaciones, entender su impacto en la fenología de los cultivos y asegurar la producción de alimentos.

Consideraciones Finales

Los hallazgos presentados en este artículo demuestran que el cambio climático no es una proyección futura, sino una realidad ineludible que está transformando de forma tangible nuestros ecosistemas. Lejos de ser un concepto abstracto, es una fuerza dinámica que reconfigura los delicados equilibrios de la naturaleza, tanto en vastas regiones rurales como en el corazón de las ciudades. Las observaciones fenológicas, desde el adelanto de la floración de los almendros en España hasta el estrés hídrico de la vegetación urbana, actúan como un barómetro biológico que ofrece una evidencia innegable de las anomalías climáticas. Estas alteraciones en los ciclos vitales no son meras anomalías curiosas, sino señales de alarma que desencadenan una compleja cadena de consecuencias en cascada, impactando desde la viabilidad económica de la api-

cultura y la producción de alimentos hasta la salud y la estructura de los árboles en nuestras comunidades. Asimismo, la experiencia de la ciencia ciudadana resalta el valor incalculable de la observación continua y la participación colaborativa. Los registros pluviométricos recolectados por brigadas comunitarias en Aragua, validados por series históricas, no solo amplían la cobertura espacial de los datos, sino que también fortalecen la capacidad de respuesta frente a eventos climáticos extremos. Este conocimiento generado desde la base complementa la investigación científica formal y es esencial para la toma de decisiones, la planificación agrícola y el fortalecimiento de la resiliencia climática a nivel local. Este enfoque colaborativo nos recuerda que la adaptación no es una tarea exclusiva de instituciones gubernamentales o expertos, sino una responsabilidad compartida que debe involucrar a cada individuo comprometido con su entorno.

El estudio de la fenología en el marco del calentamiento global adquiere una nueva dimensión con la incorporación de la ciencia ciudadana. La experiencia de los observadores pluviométricos en Aragua es un testimonio del poder de la colaboración comunitaria para generar datos valiosos que, al ser articulados con los sistemas de monitoreo institucional, fortalecen la comprensión y la capacidad de respuesta frente a los desafíos climáticos. Los datos de precipitación, obtenidos desde los campos y las plazas, son un componente esencial para interpretar las respuestas fenológicas de la naturaleza, permitiendo a los científicos y a la sociedad en general documentar con precisión las transformaciones que el clima está imprimiendo en nuestros ecosistemas. Es a través de esta integración que podemos construir un futuro más informado, adaptativo y sostenible para las generaciones venideras.

En conclusión, la mitigación de los efectos del cambio climático exige una estrategia doble: una combinación de monitoreo riguroso y una acción proactiva e integrada. La documentación sistemática de las respues-



tas de la naturaleza, ya sea a través de la fotografía de campo o de la recopilación de datos meteorológicos comunitarios, nos proporciona la información necesaria para dimensionar la escala de los desafíos que enfrentamos. La adaptación a un clima en constante evolución demanda no solo políticas públicas informadas y una inversión en infraestructura sólida, sino también una transformación cultural que priorice la sostenibilidad. Es a través de la comprensión profunda de estos fenómenos y de la acción concertada que podemos mitigar los efectos negativos y construir un futuro más sostenible y habitable para las generaciones venideras.

Bibliografía Consultada

- Agricultulus. (2022, 15 de diciembre). *La importancia de los datos meteorológicos en la agricultura*. <https://www.agricolus.com/es/la-importancia-de-los-datos-meteorologicos-en-la-agricultura/>
- De Tapia, R. (2025, 16 de septiembre). *Efectos del cambio climático en la vegetación* [Video]. TikTok. <https://vm.tiktok.com/ZMAACuckj/>
- Domene, R., y Ayala, A. (2025, 24 de marzo). *La importancia del agua en el equilibrio del suelo y el cultivo*. Plataforma Tierra. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/importancia-agua-equilibrio-suelo-y-cultivo>
- elcompi.net. (2025). *Red de observadores meteorológicos comunitarios en Venezuela*. <https://elcompi.net/>
- Escobar la Cruz, R. (2025, 28 de marzo). Cuando los vecinos lanzan la alerta: la ciencia ciudadana ayuda a prevenir desastres en Perú. *El País*. <https://elpais.com/america-futura/2025-03-28/cuando-los-vecinos-lanzan-la-alerta-la-cien-cia-ciudadana-ayuda-a-prevenir-desastres-en-peru.html>
- FenoDato. (s.f.). *Conecta con la naturaleza, aprende y contribuye al descubrimiento científico mediante la observación de la fenología*. <http://www.fenodato.net/que-es-fenodato/>
- Finquelievich, S., y Fischnaller, C. (2014). Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, 9(27), 11-31. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-00132014000300002
- Flores, S., Forister, M. L., Sulbarán, H., Díaz, R., y Dyer, L. A. (2023). Extreme drought disrupts plant phenology: Insights from 35 years of cloud forest data in Venezuela. *Ecology*, 104(5), e4012. <https://doi.org/10.1002/ecy.4012>
- Guesmi, B. (2021, 5 de febrero). El clima como factor principal que controla la fenología. En *Ecological Indicators*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/75100>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2022). *Boletín climatológico anual de Venezuela*. <http://www.inameh.gob.ve/web/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (s.f.). *Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>



Luján, M., Ferrelli, F., y Piccolo, M. (2023). Ciencia ciudadana para el monitoreo meteorológico de la costa de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Facultad de Humanidades*, 33, 173-187. <https://doi.org/10.30972/fac.3317370>

Mateos-Espejel, L., y Estrada, J. (2024). Contribución de la ciencia ciudadana a las políticas públicas sobre agricultura sustentable. *Mundo Agrario*, 25(58), e240. <https://www.scielo.org.ar/pdf/magr/v25n58/1515-5994-magr-25-58-e240.pdf>

Observatorio Pirenaico del Cambio Climático. (s.f.). *Ciencia ciudadana Phenoclim*. <https://www.opcc-ctp.org/es/contenido/ciencia-ciudadana-phenoclim>

Shaxson, F., y Barber, R. (2005). Agua de lluvia, productividad de la tierra y sequía. En: *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo* (Boletín de Suelos de la FAO N° 79, pp. 23-28). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/4/y4690s/y4690s07.htm>

Paolini, J. (2023, 9 de septiembre). *Observaciones sobre la variabilidad climática del roble* [Publicación de redes sociales]. X. <https://x.com/Jorge-Paolini1/status/192562792841229942>

Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas. (s.f.). *IPBES Report Update*. <https://wellbeingintl.org/ipbes-report/>

Reyes, L., Campos, K., Avendaño, G. D., González-Paz, L., Vivas, A., Alvarado, Y. J., y Flores, S. (2025). Seasonal footprints on ecological time series and jumps in dynamic states of

protein configurations from a nonlinear forecasting method characterization. *Journal of Physics: Complexity*, 6(1), 01LT01. <https://doi.org/10.1088/2632-072X/ad977d>

