

# INTELIGENCIA HUMANA Y ARTIFICIAL PARA LA DEMOCRATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO SOBRE EL CLIMA

Ken Takahashi<sup>1</sup>,  
Jahir Anicama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú



Ken Takahashi es investigador científico principal del Instituto Geofísico del Perú, especializado en El Niño y aplicaciones de la inteligencia artificial. Es director de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera y responsable del Observatorio del Conocimiento Científico sobre Cambio Climático. Doctor en Ciencias Atmosféricas por la Universidad de Washington e investigador distinguido en RENACYT.

**Palabras clave:** Cambio climático, gestión del riesgo de desastres, El Niño, inteligencia artificial, modelos grandes de lenguaje, búsqueda semántica

Citar como Takahashi, K., & Anicama, J. (2023). Inteligencia humana y artificial para la democratización del conocimiento científico sobre el clima. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 09, págs. 4-12.

## Resumen

El cambio climático plantea retos sustanciales, especialmente en países como Perú. A pesar de la amplia información científica disponible, existe una desconexión entre los investigadores del clima y aquellos que podrían beneficiarse de sus hallazgos. El Observatorio del Conocimiento Científico sobre Cambio Climático (O4C) busca cerrar esta brecha interpretando y simplificando artículos científicos para una fácil comprensión y uso. Sin embargo, la proliferación constante de literatura científica supone un desafío. Sumado a ello, los avances en inteligencia artificial (IA), particularmente los modelos grandes de lenguaje (LLM) y técnicas como la generación aumentada con recuperación (RAG), permiten sintetizar rápidamente información de documentos complejos. A pesar de estos avances, el uso de la IA presenta desafíos en lo que respecta a la precisión y coherencia de los resultados. El enfoque combinado de inteligencia humana e inteligencia artificial del O4C puede reducir estas limitaciones subrayando la importancia de la intervención humana para garantizar la calidad de los

resultados. En síntesis, si bien la IA tiene el potencial de facilitar la democratización del conocimiento sobre el clima, la supervisión y la interpretación humana seguirán siendo fundamentales para asegurar su exactitud y confiabilidad.

## 1. Introducción

El cambio climático es uno de los grandes desafíos de nuestro planeta e impactará particularmente a países vulnerables como el Perú, no solo por los cambios en el clima promedio, sino, sobre todo, por el incremento de eventos extremos como olas de calor, inundaciones y sequías. En particular, se espera un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos El Niño extremos en el océano Pacífico oriental y de las intensas lluvias asociadas, similares a los ocurridos en los años 1983 y 1998 (Cai et al., 2014, 2018, 2021; Carreric et al., 2020).

Esto tiene importantes implicancias para la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio

climático. Por ejemplo, en el caso del diseño de infraestructuras resilientes al clima, debemos reconocer que las estadísticas del pasado ya no son una base tan confiable para dicho diseño. Sin embargo, no basta con que la comunidad científica y académica esté al tanto de esto, ya que resulta esencial que los ingenieros, técnicos, autoridades, tomadores de decisiones y demás actores llamados a poner en práctica este conocimiento lo comprendan plenamente.

En general, la evidencia científica es necesaria para la gestión integral del cambio climático. Por tanto, los estados que han suscrito la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, como Perú, toman los informes científicos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) como base para las negociaciones. Con la misma lógica, según la Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres del Perú, Ley N°29664, “la Gestión del Riesgo de Desastres está basada en la investigación científica y de registro de informaciones” (2011, art. 3).

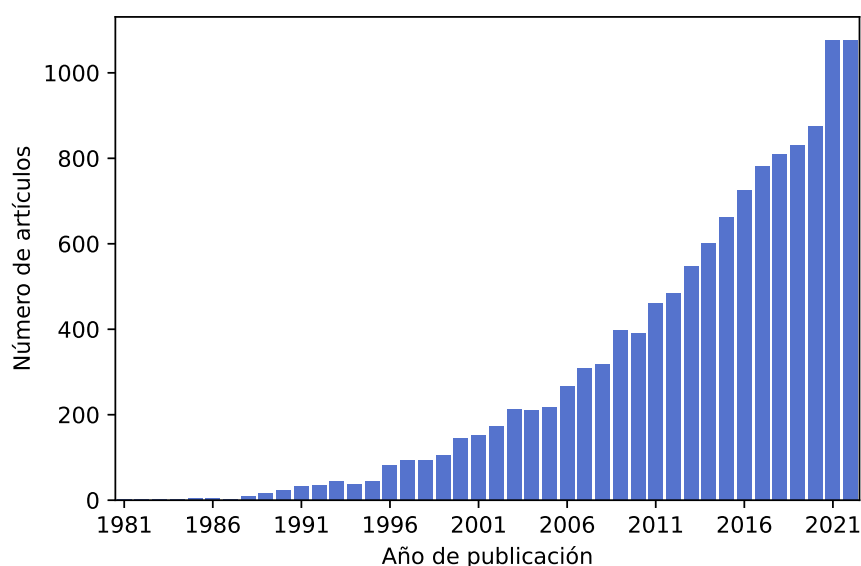
Sin embargo, existe una importante brecha entre la comunidad científica del cambio climático y los potenciales usuarios de dicho conocimiento, no solo en nuestro país, sino en todo el mundo. Como reporta el IPCC, los desafíos para la participación de partes interesadas en la toma de decisiones climáticas incluyen el acceso a los últimos resultados científicos, la capacidad de identificar información científica falsa o no confiable, así como la eliminación de sesgos (IPCC WGII 2022). Es por esto que el Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP, por sus siglas en inglés) ha priorizado como un objetivo estratégico el establecer “puentes entre la ciencia del clima y la sociedad” (WCRP, 2019).

El IPCC también menciona que las informaciones que estén basadas en ciencia —y en modelos climáticos— deben de ser creíbles, destacadas y legítimas para las audiencias, con la finalidad de que estas puedan, finalmente, procesarlas y comunicarlas (IPCC, 2022). Para alcanzar una eficaz y eficiente personalización —customización— de la información relevante sobre la crisis climática, es necesario identificar y conocer las necesidades de uso y perspectivas de las distintas personas que consumen y consumirán la evidencia científica sobre el cambio climático.

El acceso al conocimiento científico también se ha masificado de una manera exponencial, tanto antes como después de la pandemia. Esta alta demanda de consumo científico ha tenido un impresionante acceso por medio de interfaces no formales (Bohannon, 2016). Tomando el caso particular de la plataforma Sci-Hub, al definirla como una red de literatura de acceso abierto, podemos observar que los consumidores principalmente son del sur global y de países de ingresos medios; sin embargo, a pesar de la naturaleza abierta de la plataforma, esta características no garantiza el acceso de usuarios de los países más pobres (Sagemüller et al., 2021).

Asimismo, existe un sesgo geográfico en la literatura científica y las evaluaciones del IPCC hacia la producción científica del hemisferio norte (Sietsma et al., 2021). En el mismo sentido, se ha podido observar, a través de 15 000 publicaciones analizadas, que la generación de evidencia científica tuvo su origen principalmente en los países en desarrollo y los países BRICS (Brasil, Rusia, China y Sudáfrica), donde, en el 56.5 % de estas publicaciones, el primer autor (también denominado como autor principal) radica en el país en donde se realizó la investigación (Pasgaard et al., 2015). Sin embargo, si solo consideramos la participación de autores del sur global, se estaría abordando el problema de manera limitada, pues la comprensión e implementación de los procesos de inclusión y sus diferentes facetas todavía plantea un desafío permanente en la ciencia (Yamineva, 2017).

Esto es cada vez más urgente debido, por un lado, a la gran abundancia de información disponible a través de internet, lo cual, a pesar de ser valioso, también genera riesgo de desinformación. Por otro lado, las publicaciones científicas están aumentando en forma acelerada generando un gran desafío a los investigadores para mantenerse al día y evaluar la calidad de las investigaciones. Esta situación tiene un potencial efectivo negativo: la posibilidad de que trabajos de calidad cuestionable se filtren en la literatura científica sin ser disputados. La Figura 1 muestra como referencia el número de publicaciones por año relacionadas con El Niño y cambio climático. En ella podemos apreciar que durante el 2001 se publicaron 153 documentos, mientras que durante el 2021 se publicaron 1075 documentos.



**Figura 1.** Número de artículos científicos publicados en revistas indizadas (“journals”) entre 1981 y 2022 a nivel mundial relacionados con El Niño y cambio climático ( Búsqueda realizada usando el término (“El Niño” OR “ENSO”) AND “Climate change” en <https://www.lens.org>).

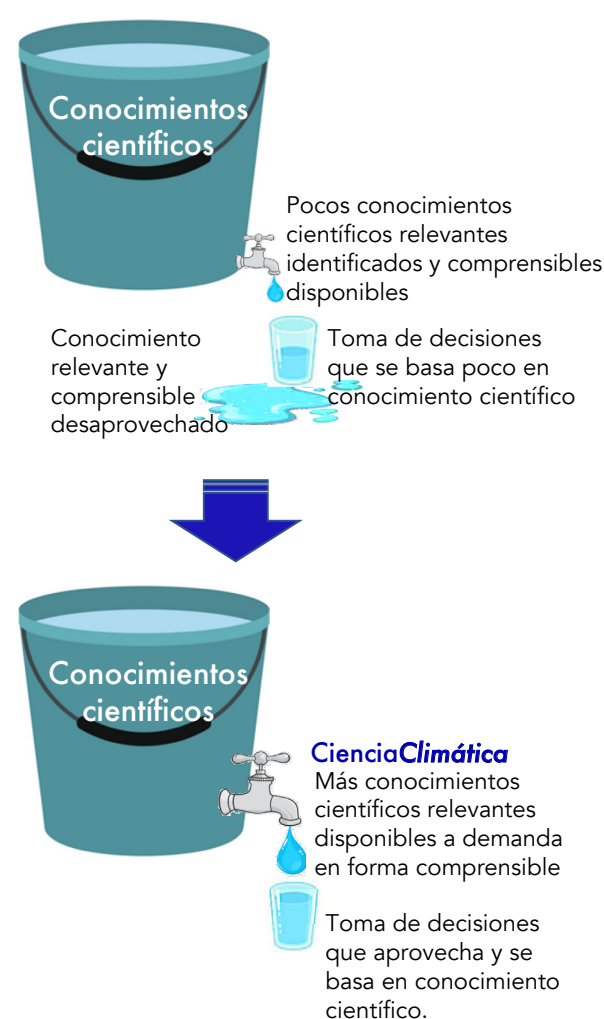
La democratización del conocimiento climático —y no climático— permitirá enfrentar las desigualdades históricas en el acceso al conocimiento que hemos tenido en el marco del desarrollo de nuestras sociedades (IPCC, 2023). Un enfoque innovador en la coproducción de conocimiento es movilizar a las comunidades, tanto de los usuarios del conocimiento como a los productores de conocimiento, en interfaces que permitan generar oportunidades adicionales para incorporar el conocimiento desde diferentes perspectivas. Esto ofrecería un enfoque de transformación sobre la capacidad científica de responder a las necesidades de la sociedad y viceversa.

## 2. El Observatorio del Conocimiento Científico sobre Cambio Climático —

El Observatorio del Conocimiento Científico sobre Cambio Climático (también denominado “Ciencia Climática” y “O4C”, <https://cienciaclimatica.igp.gob.pe>) es un intento de acercar la ciencia no solo a un público más amplio, sino también a la comunidad académica misma. La prioridad del O4C es facilitar que la gestión integral del cambio climático y del riesgo de desastres se base en evidencias obtenidas de la investigación científica. Cabe señalar que la evidencia científica pasa un proceso de revisión por pares, es decir, antes de ser publicada, la información generada es revisada por expertos que evalúan el fondo, la forma, los métodos y resultados obtenidos,

con el fin último de confirmar la veracidad de la ciencia reportada. Por tanto, las estrategias y planes correspondientes deberían estar sustentados con referencias a los artículos científicos relevantes, no solo a informes de proyectos, reportes técnicos u otra “literatura gris” como es la práctica predominante. No es menester del presente texto desmerecer su valor; sin embargo, generalmente estas referencias no representan la totalidad del conocimiento científico riguroso y relevante. Para lograr esto, se pueden considerar las siguientes estrategias complementarias:

- I. Generar más conocimiento científico relevante.
- II. Identificar el conocimiento científico relevante a nivel internacional.
- III. Incrementar la inteligibilidad del conocimiento científico relevante.
- IV. Colocar el conocimiento científico disponible a demanda de los usuarios.
- V. Facilitar el uso de este conocimiento científico a los usuarios.



**Figura 2.** Modelo conceptual del cambio generado por el Observatorio Ciencia Climática (O4C) en la disponibilidad y uso de los conocimientos científicos en la toma de decisiones. Se muestra la información claramente disponible para que sea usada por la toma de decisiones antes del O4C (panel superior) y después del O4C (panel inferior).

Si bien el quehacer básico de la comunidad científica se centra en la primera estrategia y es un aspecto que necesitamos fortalecer, en el O4C nos enfocaremos en las otras cuatro estrategias. El concepto de cómo el O4C contribuye en este sentido se bosqueja en la Figura 2. El elemento básico de conocimiento científico es la interpretación del contenido de un artículo publicado en alguna revista indizada internacional. Esta acción es realizada por un intérprete sobre la base de su lectura de dicho documento; en consecuencia, es matizada por su propia experiencia, conocimientos, intereses y perspectiva. Esta interpretación identifica algún mensaje o resultado clave del documento y lo plasma en un lenguaje sencillo en castellano, sin pretender ser un resumen general del estudio (Figura 3). Dicho eso, un mismo documento científico puede tener más de una interpretación, incluso de un mismo intérprete.

The screenshot shows the O4C web platform interface. At the top, there are logos for the Peruvian government and IGP. The main header is 'Ciencia Climática' with the tagline 'Tu fuente de conocimiento científico'. A search bar contains the text 'El Niño'. Below the search bar, it indicates 'Mostrando 1 - 10 de 73' results, ordered by 'Lo más relevante'. On the left, there are filter panels for 'Adaptación' (with sub-filters like Agua, Agricultura, Pesca y acuicultura, Bosques, Salud) and 'Mitigación' (with sub-filters like Agricultura, Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, Ninguna de las anteriores, Energía, Procesos industriales y usos de productos). At the bottom left, there is a filter for 'Año de la publicación'. The main content area displays three search results, each with a title, an interpretation in Spanish, the interpreter's name, the publication year, and the interpretation date. Each result has a 'Ver más' button.

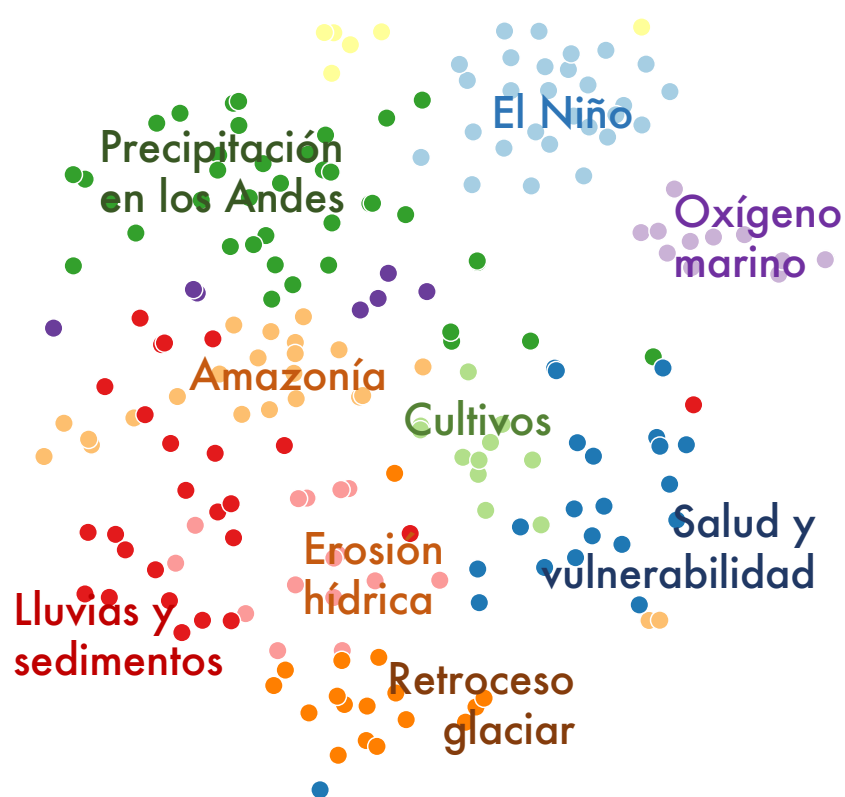
**Figura 3.** Plataforma web del O4C que muestra el resultado de una búsqueda de interpretaciones de artículos en la temática de "El Niño". Extraída de la página <https://cienciaclimatica.igp.gob.pe/>

Por ejemplo, en el caso de un artículo científico sobre el evento El Niño costero del año 1925 (Takahashi y Martínez, 2017), consideremos tres interpretaciones disponibles en el O4C. La primera interpretación destaca las características de la interacción océano-atmósfera a nivel regional asociada a dicho evento (<https://cienciaclimatica.igp.gob.pe/entities/interpretation/511e9286-e4c1-40ea-b3b4-7efa1bd67533>). Otra interpretación resalta que el 10 de marzo de 1925 se presentó una precipitación de 12 mm en la ciudad de Lima, la segunda mayor registrada en dicha ciudad (<https://cienciaclimatica.igp.gob.pe/entities/interpretation/9b537b5a-7530-414e-99ee-15e1ae94564b>). La tercera se enfoca en las grandes lluvias registradas en Tumbes durante este evento (<https://cienciaclimatica.igp.gob.pe/entities/interpretation/04990ad2-9642-4aa6-9816-64e8af8b9193>). Se debe notar que lo indicado en las dos últimas interpretaciones no se encuentra en el resumen (*abstract*) del artículo mismo y que alguien interesado tendría que leer el documento completo para encontrar esta información, asumiendo que sepa *a priori* que dicha información existe en este documento. En el caso de alguien interesado en las lluvias en Lima, por ejemplo, le resultaría mucho más fácil encontrar esos datos en las interpretaciones que en el artículo original.

Un importante desafío para el O4C es generar continuamente las interpretaciones y mantener el ritmo del crecimiento de los documentos científicos, los cuales apreciamos en la Figura 1. Para lograrlo, la estrategia principal es recurrir a la comunidad científica/académica tanto nacional como internacional, cuyos miembros son creadores y usuarios del contenido del O4C.

Debido a la gran diversidad de temas relevantes a la gestión integral del cambio climático y del riesgo de desastres, es importante que las comunidades que participan en el O4C abarquen una amplia diversidad de especialidades y temáticas. La Figura 4 muestra un mapeo de temáticas aproximadas contenidas recientemente en el O4C. Se aprecia una importante diversidad, pero a la vez se evidencian brechas en temas como, por ejemplo, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, la mitigación del cambio climático.





**Figura 4.** Mapa de temáticas de las interpretaciones en el Observatorio Ciencia Climática (O4C) (proyección t-SNE de los "embeddings" semánticos de las interpretaciones, clusters k-means en colores).

Para ello, es necesario generar comunidades y valorar el capital humano —material e inmaterial— de quienes consumen, producen y transfieren los conocimientos y de todas sus manifestaciones híbridas. Para lograr sinergias entre este universo de comunidades es importante considerar la reconciliación de intereses, la integración de diferentes visiones del mundo y el respeto por los valores y conocimientos de las diversas comunidades en respuesta a la crisis climática.

La coproducción puede ser una vía para poder aproximarnos a estas metas. Esta ha recibido una gama de definiciones; sin embargo, se podría acotar a un grupo de personas u entidades que colaboran de manera conjunta para crear logrando nuevos avances en el conocimiento y que orientan a la acción (Miller & Wyborn, 2020). Para poder contar con un sistema de gobernanza efectivo frente al cambio climático (se esperaría que logre ello la gestión integral de cambio climático en el Perú) se debe de permitir la integración de los diferentes tipos de conocimientos —local, profesional, indígena— con el conocimiento científico convencional. Los sistemas de gobernanza que han facilitado la coproducción se han sostenido a través de mecanismos formales de información y discusión de soluciones por medio de comités regionales, redes personales y locales,

así como grupos de discusión (IPCC, 2023).

Es con base en esto último, pero no limitado a ello, que el O4C quiere ofrecerse como un servicio público del Estado peruano llamado a fortalecer la coproducción de conocimiento fundado en las diversidades de la manifestación de la inteligencia humana, pero asistido por las diversas materializaciones de la inteligencia artificial. Un desafío concreto es que el O4C sea efectivamente utilizado e interiorizado en el marco de la gestión integral del cambio climático y del riesgo de desastres.

### 3. Inteligencia humana + inteligencia artificial para gestionar el conocimiento científico

El año 2023 ha sido notable, entre otras cosas, por el surgimiento del uso directo de la inteligencia artificial (IA) por parte de las personas a nivel mundial, a raíz del lanzamiento del aplicativo ChatGPT y de otros posteriores.

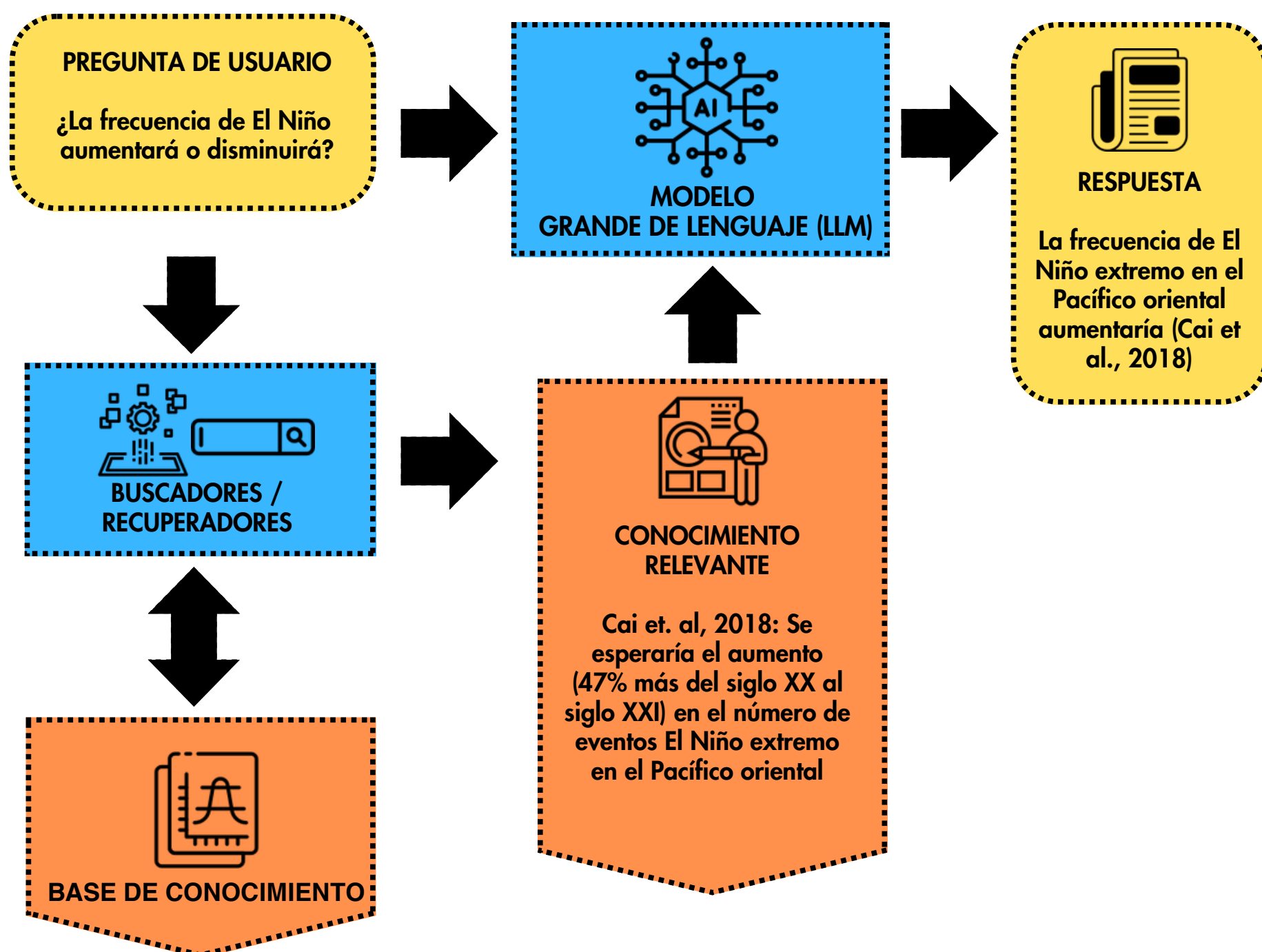
Desde hace varios años, la IA ha estado presente en nuestra vida diaria desde recomendaciones de posts de Facebook, películas de Netflix, la identificación de rutas óptimas en Waze o la traducción de textos con alta confiabilidad. Ahora, la IA es generativa, es decir, crea contenido nuevo como textos o imágenes a partir de solicitudes realizadas por los usuarios en lenguaje natural (*prompts*). Si bien ya existían asistentes virtuales como Siri de Apple o Alexa de Amazon, el avance en las capacidades de los modelos de IA ha sido dramático con respecto a lo que existía, a tal punto que los modelos grandes de lenguaje (*large language models* o LLM, por sus siglas en inglés) han alcanzado, en términos prácticos, una capacidad de comprensión y uso del lenguaje capaz de superar al de las mismas personas. Por ejemplo, el LLM denominado GPT-4 (OpenAI, 2023) ha superado a los humanos en algunas secciones del examen para abogacía de EE. UU. (Katz et al., 2023) y en preguntas sobre cirugía neurológica (Guerra et al., 2023).

Los LLM representan una gran promesa en la gestión de conocimientos científicos en formato de texto, pero aún no son confiables como fuente de información, ya que los modelos no almacenan la información con

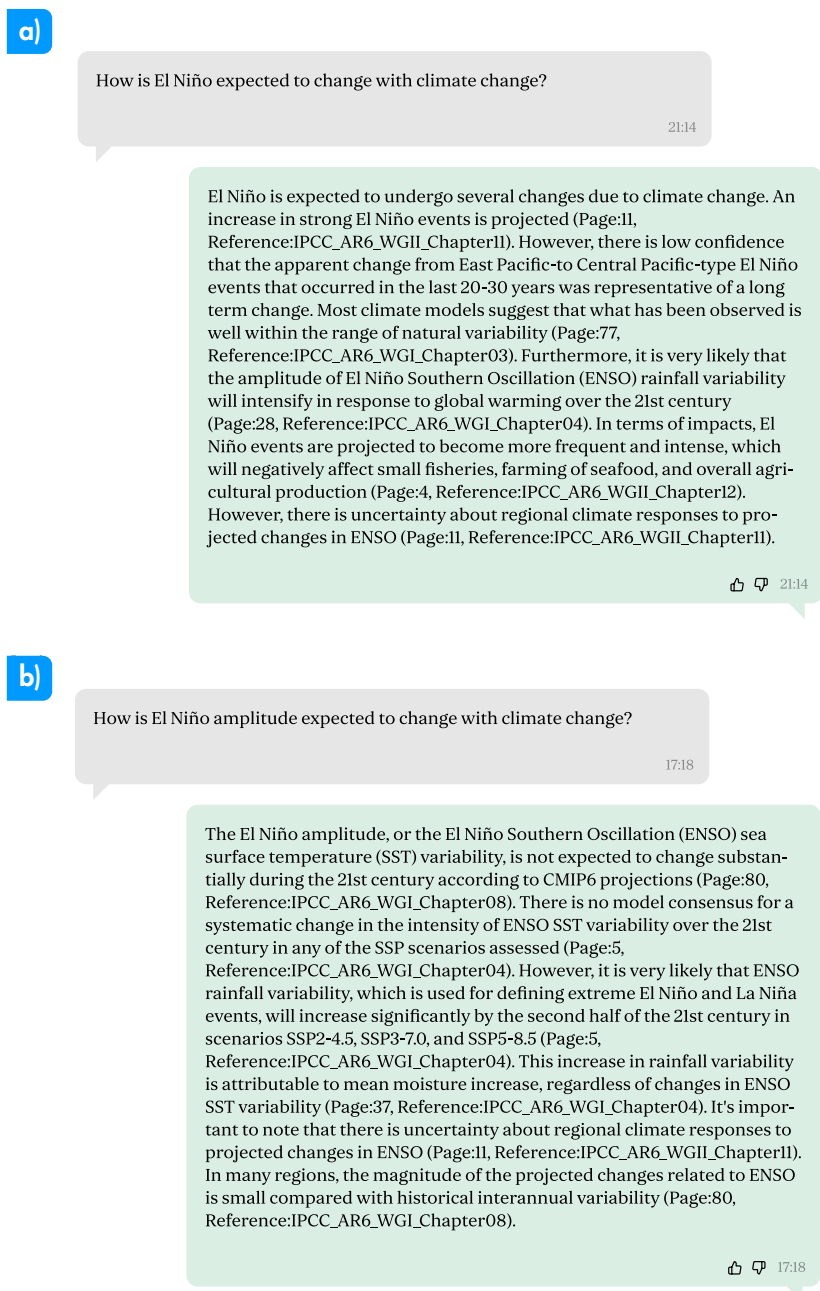
la que son entrenados, sino que aprenden patrones y relaciones entre los datos a partir de esta. En consecuencia, son susceptibles a “alucinaciones”, es decir, pueden generar y presentar conocimiento ficticio como real. Una solución a este problema es la “generación aumentada con recuperación” (o RAG, por sus siglas en inglés), que combina los LLM con bases de conocimiento externas y herramientas de búsqueda y recuperación para acceder a estas y lograr así resultados más exactos y confiables (Figura 5).

Consideremos los reportes del IPCC sobre el estado del arte del conocimiento científico en diversos temas

relacionados con el cambio climático, documentos de gran envergadura y complejidad para lectores no especializados. En la actualidad hay varios aplicativos con RAG que usan estos reportes como base de conocimientos para un LLM, como ChatClimate (Vaghefi et al., 2023). Si le preguntamos cómo se espera que El Niño cambie con el cambio climático, la respuesta es una síntesis de secciones relevantes recogidas de más de un reporte del IPCC, empezando con “se espera que El Niño experimente muchos cambios debido al cambio climático. Se proyecta un aumento en eventos El Niño fuertes ...” (Figura 6a).



**Figura 5.** Esquema RAG para la aplicación de un modelo grande de lenguaje (LLM) para la consulta a una base de conocimientos como el O4C utilizando inteligencia artificial.



**Figura 6.** Respuestas a las preguntas a) “¿Cómo se espera que El Niño cambie con el cambio climático?” y b) “¿Cómo se espera que la amplitud de El Niño cambie con el cambio climático?” (en inglés) en el aplicativo ChatClimate (<https://www.chatclimate.ai>).

Este hallazgo nos remite al reporte del Grupo II de la evaluación AR6 (Lawrence et al., 2022), donde se afirma que se proyecta un aumento en eventos fuertes de El Niño y La Niña, citando a Cai et al. (2015). Sin embargo, dicho capítulo es sobre vulnerabilidad y adaptación en Australasia y no constituye la evaluación experta del IPCC sobre cambios en El Niño, lo cual corresponde al Grupo I del mencionado panel. Si en su lugar revisamos el reporte del Grupo I, la sección 4.3 concluye que no hay evidencia de un posible cambio en la amplitud de la variabilidad de la temperatura superficial del mar asociada a El Niño, lo cual no fue recuperado por ChatClimate.

Por otro lado, si a ChatClimate le preguntamos específicamente por el cambio en la amplitud de El

Niño con el cambio climático, en este caso la respuesta es que “no se espera que la amplitud de la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar asociada a El Niño o ENOS aumente sustancialmente ...” (Figura 6b), contradiciendo su respuesta anterior.

Más allá del hecho de que esta última conclusión del IPCC está sesgada hacia el índice Niño 3.4 en el Pacífico central, nos indica que, además del problema de las alucinaciones de los LLM, existen limitaciones en la búsqueda y recuperación de contenidos. Más aún, se ha encontrado que sistemas LLM-RAG aún presentan problemas sustanciales en la integración de información de varias fuentes, así como en negarse a responder si no tiene la respuesta y en identificar información falsa (Chen et al., 2023).



**Figura 7.** Fragmento de reporte generado con un prototipo de sistema RAG usando al O4C como base de conocimientos y el modelo GPT3.5 como LLM.

En el caso del Observatorio Ciencia Climática, se ha desarrollado un prototipo de sistema LLM-RAG que realiza una búsqueda semántica de las interpretaciones que sean más relevantes al término de búsqueda (*query*) introducido por el usuario

entre las interpretaciones disponibles en la base de conocimientos del O4C. Posteriormente, estas son derivadas a un LLM con instrucciones para generar un reporte síntesis de dicho contenido con relación al tema solicitado. El reporte generado contiene referencias a cada artículo interpretado e indica quiénes fueron los intérpretes que contribuyeron (Figura 7). Este es un modelo híbrido de inteligencia humana e inteligencia artificial, ya que en lugar de incorporar los artículos científicos completos a la base de conocimientos, los intérpretes humanos realizan la labor inicial de identificar lo potencialmente relevante de estos y permite que el usuario consulte directamente las interpretaciones humanas en lenguaje sencillo a partir del reporte del LLM.

Esto tiene la importante característica de establecer la responsabilidad de la interpretación en una persona, sin tener que depender del LLM para simplificar el texto técnico original, como en el caso de LLM-RAG típico. Además, es importante considerar que, a pesar de proporcionarle las interpretaciones humanas, el sistema LLM-RAG aún podría generar alucinaciones y es necesario que la comunidad experta del O4C esté constantemente evaluando su desempeño y contribuyendo a su mejora.

Lo anterior está en la línea de lo sugerido

recientemente por Debnath et al. (2023), quienes consideran necesario sistemas de IA “humano-céntricos” o de “humanos en el circuito” (*humans in the loop*) para reducir los sesgos de dichos sistemas y poder utilizarlos de forma confiable en la toma de decisiones para la acción climática. Sin embargo, si bien el reporte generado con inteligencia artificial puede ser un primer acercamiento, el O4C entrega no solo las interpretaciones generadas por los intérpretes humanos, sino también la asistencia técnica que miembros de la comunidad del O4C pueden dar al usuario, particularmente en el caso de que estos sean autoridades competentes en la gestión integral del cambio climático, tales como gobiernos regionales o ministerios para que el uso del conocimiento científico sea lo más confiable posible (Figura 8).

En conclusión, si bien los enormes avances en la tecnología de la inteligencia artificial crean una gran oportunidad para finalmente empezar a cerrar las brechas entre la ciencia y la toma de decisiones, es necesario conocer sus limitaciones y establecer mecanismos para asegurar la calidad del resultado final. Incluso con las probables mejoras a corto plazo de la IA, el rol de humanos expertos en la ciencia del cambio climático deberá fortalecerse para que la masificación de la información facilitada por la IA se realice de forma exacta y confiable.

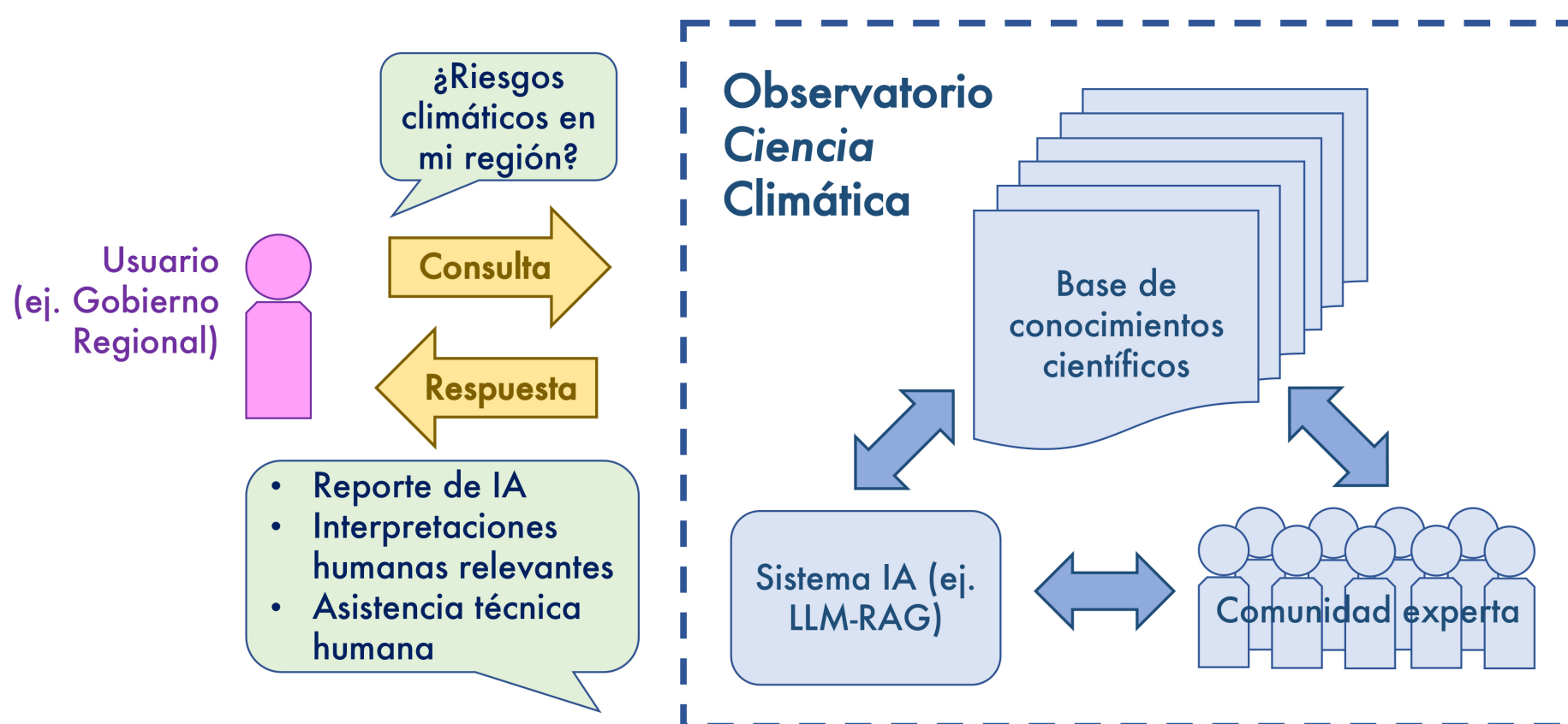


Figura 8. Modelo conceptual de la interacción entre Observatorio Ciencia Climática y el usuario.



## Referencias

- Bohannon, J. (2016). Who's downloading pirated papers? Everyone. *Science*, 352(6285), 508-512. <https://doi.org/10.1126/science.352.6285.508>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., ... Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116. doi:10.1038/nclimate2100
- Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S.-W., An, S.-I., Cobb, K. M., ... Wu, L. (2015). ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(9), 849–859. doi:10.1038/nclimate2743
- Cai, W., Santoso, A., Collins, M., Dewitte, B., Karamperidou, C., Kug, J.-S., ... Zhong, W. (2021). Changing El Niño–Southern Oscillation in a warming climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 628–644. doi:10.1038/s43017-021-00199-z
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., ... McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, 564(7735), 201–206. doi:10.1038/s41586-018-0776-9
- Carréric, A., Dewitte, B., Cai, W., Capotondi, A., Takahashi, K., Yeh, S.-W., ... Guémas, V. (2019). Change in strong Eastern Pacific El Niño events dynamics in the warming climate. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-019-05036-0
- Cavalcanti Cárdenas, K. G. (2023). *La investigación científica y su impacto en la gestión integrada del recurso hídrico en la cuenca del río Santa* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Debnath, Ramit, Felix Creutzig, Benjamin K. Sovacool, and Emily Shuckburgh. "Harnessing Human and Machine Intelligence for Planetary-Level Climate Action." *Npj Climate Action* 2, no. 1 (August 17, 2023): 20. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00056-3>.
- Ramit, D., Creutzig, F., Sovacool, B., & Shuckburgh, E. (2023). Harnessing Human and Machine Intelligence for Planetary-Level Climate Action. *Npj Climate Action* 2, 1( 20). <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00056-3>.
- Guerra, G. A., Hofmann, H., Sobhani, S., Hofmann, G., Gómez, D., Soroudi, D., Hopkins, B., Dallas, J., Pangal, S., Cheok, V., Nguyen, W., & Zada, G. (2023). GPT-4 Artificial Intelligence Model Outperforms ChatGPT, Medical Students, and Neurosurgery Residents on Neurosurgery Written Board-Like Questions. *World Neurosurgery*, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.08.042>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report* of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Australasia*. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1581-1688. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009325844.013
- New, M., D.Reckien, D.Viner, C.Adler, S.-M.Cheong, C.Conde, A.Constable, E.Coughlan de Perez, A.Lammel, R. Mechler, B. Orlove, and W. Solecki, 2022: *Decision-Making Options for Managing Risk*. 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. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2539–2654, doi:10.1017/9781009325844.026. Sección 17.3.1.3.2
- Katz, D., Bommarito, M.J., Shang, G. & Arredondo, P. (2023). *GPT-4 Passes the Bar Exam*, SSRN, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4389233>
- Miller, C. A., & Wyborn, C. (2020). Co-production in global sustainability: Histories and theories. *Environmental Science & Policy*, 113, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.016>
- OpenAI, 2023: *GPT-4 Technical Report*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>
- Pasgaard, M., Dalsgaard, B., Maruyama, P. K., Sandel, B., & Strange, N. (2015). Geographical imbalances and divides in the scientific production of climate change knowledge. *Global Environmental Change*, 35, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.018>
- Sagemüller, F., Meißner, L., & Mußhoff, O. (2021). Where Can the Crow Make Friends? Sci-Hub's Activities in the Library of Development Studies and its Implications for the Field. *Development and Change*, 52(3), 670-683. <https://doi.org/10.1111/dech.12638>
- Sietsma, A.J., Ford, J., Callaghan, M., & Minx, J. (2021). Progress in Climate Change Adaptation Research. *Environmental Research Letters*, 16(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf7f3>.
- Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2017). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-017-3702-1
- World Climate Research Programme. (2019). *Strategic Plan 2019–2028*, [https://www.wcrp-climate.org/images/documents/WCRP\\_Strategic\\_Plan\\_2019/WCRP-Strategic-Plan-2019-2028-FINAL-c.pdf](https://www.wcrp-climate.org/images/documents/WCRP_Strategic_Plan_2019/WCRP-Strategic-Plan-2019-2028-FINAL-c.pdf)
- Yamineva, Y. (2017). Lessons from the Intergovernmental Panel on Climate Change on inclusiveness across geographies and stakeholders. *Environmental Science & Policy*, 77, 244-251. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.005>