

PLAN ESTRATÉGICO NACIONAL DE CTI

Documento Insumo para la Discusión del Espacio Técnico de Co-Creación

Desafíos Nacionales en Ambiente y Desarrollo Sostenible

1. Presentación del documento

El presente documento sistematiza los resultados de la consulta a especialistas en **Ambiente y Desarrollo Sostenible**, realizada en el marco de la elaboración del **Plan Estratégico Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PENCTI)**. Su objetivo es identificar, organizar y priorizar los principales desafíos nacionales del área, proporcionando un insumo técnico para el proceso de planificación estratégica.

A los efectos de este trabajo, se entiende por **Desafío Nacional** una situación o problema complejo que afecta al desarrollo sostenible del país y al bienestar de la población, cuya naturaleza exige su abordaje efectivo a partir de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i). Las vías fundamentales para afrontarlo y resolverlo responden a la movilización y orientación estratégica de recursos financieros, humanos y/o materiales.

Cada desafío se presenta mediante una matriz compuesta por tres elementos: **(i)** la formulación del desafío en clave PENCTI, **(ii)** la contribución esperada de la ciencia, la tecnología y la innovación para su abordaje y **(iii)** la evidencia que sustenta su relevancia y priorización. Esta estructura busca facilitar la discusión y la toma de decisiones en el marco de los Espacios Técnicos de Co-Creación, aportando una base metodológica consistente para la definición de prioridades estratégicas del PENCTI.

2. Nota metodológica

La identificación y priorización de los desafíos nacionales se llevó a cabo mediante el siguiente proceso metodológico, orientado a relevar, sistematizar y analizar los aportes de los especialistas consultados, así como a complementarlos con evidencia documental relevante:

- **Consulta a expertos.** Se recibieron aportes de especialistas mediante un formulario estructurado diseñado para identificar, describir y priorizar los principales desafíos en la materia. Cada participante asignó un nivel de prioridad a sus propuestas. Como resultado, se relevaron los desafíos iniciales, los cuales fueron sometidos a un proceso de normalización para su posterior análisis.
- **Revisión documental complementaria.** Con el propósito de fortalecer el análisis y contextualizar los resultados obtenidos en la consulta, se realizó una revisión de programas de gobierno, documentos de organismos internacionales, aportes de organizaciones especializadas e informes técnicos. Esta revisión permitió incorporar desafíos de carácter emergente o complementario, sustentados en evidencia empírica y antecedentes relevantes

que no necesariamente surgieron de manera explícita en las respuestas de los especialistas consultados.

- **Sistematización y agrupamiento de la información.** El conjunto de desafíos —tanto los relevados en la consulta a expertos como los recabados mediante la revisión documental— fue organizado en grupos temáticos mediante una metodología de análisis de contenido, orientada a detectar convergencias conceptuales, patrones recurrentes y complementariedades entre las distintas fuentes. Este proceso permitió consolidar desafíos similares y estructurar los hallazgos en categorías analíticas homogéneas.
- **Criterio de ordenamiento.** La presentación de los desafíos responde a un criterio analítico que prioriza, en primer término, aquellos de naturaleza sustantiva susceptibles de ser abordados desde el PENCTI mediante acciones directas, integrando tanto los aportes de la consulta como el conjunto de desafíos emergentes o complementarios; en segundo lugar, se identifican focos transversales o habilitantes, cuya resolución constituye una condición necesaria para el avance del conjunto del sistema.

La evidencia presentada preserva las referencias bibliográficas, fuentes y estudios citados por los especialistas consultados, garantizando al mismo tiempo la confidencialidad de su identidad individual. El listado completo de referencias utilizadas se incorpora en la bibliografía al final del documento.

3. Desafíos concretos abordables desde el PENCTI

Los siguientes desafíos, surgidos de la consulta, refieren a problemas de alcance nacional del desarrollo sostenible cuya resolución admite contribuciones específicas de la ciencia, la tecnología y la innovación, con impacto directo en la sociedad.

Desafío 1. Transición de los sistemas agropecuarios hacia modelos sostenibles e intensivos en conocimiento	
Descripción del desafío en clave PENCTI	La intensificación productiva de las últimas décadas incrementó la producción pero generó degradación de suelos, contaminación del agua por nutrientes y pesticidas, y pérdida de biodiversidad. El desafío consiste en rediseñar los sistemas agropecuarios para mantener la producción reduciendo su impacto ambiental, mediante agroecología, salud de suelos y agricultura de precisión.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Investigación en agroecología, salud de suelos y biodiversidad; Tecnologías apropiadas, automatización escalable y sensores para la agricultura de precisión; Certificaciones de sostenibilidad basadas en evidencia; Rediseño de paisajes productivos con criterios de resiliencia.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	Uruguay enfrenta graves riesgos de sostenibilidad debido a la intensificación agrícola, que ha provocado la degradación de servicios ecosistémicos y la proliferación de floraciones de cianobacterias tóxicas (Bonilla et al., 2015; Kruk et al., 2023). Es estratégico rediseñar los sistemas agropecuarios para reducir la degradación de suelos y la contaminación del agua por nutrientes y pesticidas (Goyenola et al., 2021; Kruk et al., 2023), detectándose presencia regular de residuos de plaguicidas. La intensificación en la cuenca del Río Uruguay provocó una pérdida del 17% de los pastizales naturales (bioma Pampa/Campos) entre 2000 y 2019, sustituidos por cultivos anuales y forestación (Zabaleta et al., 2021).

Desafío 2. Bioeconomía circular y valorización de biomasa y residuos	
Descripción del desafío en clave PENCTI	Uruguay genera volúmenes significativos de biomasa residual (agroindustrial, ganadera, forestal) y de residuos sólidos industriales y lodos de depuración hoy dispuestos sin aprovechamiento, lo que representa una pérdida de recursos y un riesgo de contaminación. El desafío consiste en valorizar esos materiales mediante tecnologías de bioeconomía circular, escalando de laboratorio a nivel industrial.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Desarrollo de biorrefinerías y tecnologías de digestión anaerobia y compostaje de circuito cerrado; Biometanización ex-situ e inyección de hidrógeno para enriquecer el biogás; Escalado de tecnologías de laboratorio a planta industrial; Análisis de ciclo de vida de los procesos.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La transformación hacia una bioeconomía circular es esencial para optimizar el uso de recursos mediante la valorización de subproductos; La codigestión anaerobia permite tratar residuos y generar bioenergía (Azevedo et al., 2023). Uruguay presenta un desarrollo incipiente en el aprovechamiento de residuos sólidos frente a la región, con oportunidad en el tratamiento de lodos de plantas potabilizadoras hoy dispuestos sin procesar (Azevedo et al., 2023). La biometanización ex-situ utiliza arqueas hidrogenotróficas para capturar CO ₂ industrial y combinarlo con H ₂ de excedentes renovables; La inyección de hidrógeno eleva la capacidad calorífica del biogás (36 MJ/m ³ frente a 10,88 MJ/m ³ del H ₂) (Thapa et al., 2023; Osman et al., 2024).

Desafío 3. Soberanía y seguridad alimentaria con diversificación productiva	
Descripción del desafío en clave PENCTI	No alcanza con producir alimentos: el sistema debe asegurar diversidad, calidad, accesibilidad y resiliencia. La dependencia de commodities con baja captura de valor local limita la resiliencia económica y deja a Uruguay en la trampa de los ingresos medios. El desafío articula la dimensión social-alimentaria con la diversificación hacia productos de mayor complejidad tecnológica.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Investigación sobre sistemas alimentarios sostenibles y nutrición; Tecnologías para diversificar la matriz productiva con mayor valor agregado; Modelos de democratización del acceso tecnológico para pequeños y medianos productores; Enfoque de Una Salud.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	Los sistemas alimentarios actuales no garantizan la seguridad alimentaria ni la equidad social y generan impactos ambientales negativos (Dogliotti & Chilibraste, s.f.). A pesar de producir alimentos para 20 millones de personas, los precios locales son un 26% más altos que en países similares, afectando la asequibilidad (Dogliotti & Chilibraste, s.f.). La estrategia de transformación productiva busca superar la trampa de los ingresos medios y la dependencia de precios externos mediante la diversificación hacia productos de mayor complejidad tecnológica (Bianchi et al., 2024; Isabella, 2024).

Desafío 4. Seguridad hídrica frente al cambio climático

Descripción del desafío en clave PENCTI	La disponibilidad del agua está amenazada por el cambio climático y la dependencia de fuentes superficiales vulnerables. La crisis hídrica de 2022-2023 evidenció la fragilidad del abastecimiento. El desafío exige una gestión preventiva basada en conocimiento técnico, modelos predictivos y participación, en lugar de respuestas reactivas.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Desarrollo de modelos predictivos de disponibilidad hídrica y sistemas de alerta temprana; Tecnologías de uso eficiente y reutilización; Generación de conocimiento sobre la dinámica de los recursos con participación ciudadana; Planes de gestión hídrica y costera basados en datos.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La crisis hídrica de 2022-2023 fue un evento sin precedentes que puso de manifiesto la fragilidad de los sistemas de abastecimiento y la necesidad de una gestión preventiva en lugar de reactiva (Goyenola, 2023; Ryfisch et al., 2026). La seguridad del agua es crítica por la dependencia de fuentes superficiales vulnerables como la cuenca del río Santa Lucía, que abastece al 60% de la población y presenta niveles de fósforo muy por encima de los estándares (Goyenola et al., 2021). Uruguay experimenta un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos; Las precipitaciones medias aumentan pero se concentran en menos eventos (Ministerio de Ambiente, 2024b).

Desafío 5. Calidad del agua, contaminantes emergentes y salud ambiental

Descripción del desafío en clave PENCTI	La degradación de la calidad del agua constituye uno de los principales desafíos ambientales y sanitarios del país. La eutrofización de sistemas acuáticos, las floraciones de cianobacterias y la presencia creciente de contaminantes emergentes —plaguicidas, fármacos, residuos antimicrobianos, microplásticos y otros compuestos persistentes— afectan cuencas estratégicas, ecosistemas de agua dulce, estuarinos y costeros, y generan riesgos potenciales para la salud humana a través del agua, los alimentos y la cadena trófica. El desafío exige fortalecer las capacidades de diagnóstico, monitoreo, prevención y remediación bajo un enfoque integrado de ambiente, producción y salud.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Desarrollo de sistemas integrados de monitoreo de calidad del agua, nutrientes, cianobacterias y contaminantes emergentes en cuencas prioritarias; Tecnologías de detección temprana, trazabilidad de fuentes y modelización de riesgos; Investigación sobre dinámica de nutrientes, floraciones algales, dispersión de contaminantes y exposición humana; Soluciones de remediación y restauración de ecosistemas acuáticos, incluyendo soluciones basadas en la naturaleza; Generación de evidencia para la gestión de cuencas, la regulación ambiental, la seguridad del agua y la articulación con la agenda de salud bajo el enfoque de Una Salud.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La eutrofización ha sido identificada como una de las problemáticas ambientales más extendidas de los ecosistemas acuáticos uruguayos, con afectación de sistemas de agua dulce, estuarinos y costeros. Las floraciones de cianobacterias se intensifican por la combinación de cargas de nutrientes, intensificación agropecuaria y déficits de saneamiento, generando impactos ecológicos, económicos y potencialmente sanitarios (Goyenola et al., 2020; Nagy et al., 2002; Bonilla et al., 2015; Kruk et al., 2023). Asimismo, la presencia de contaminantes emergentes constituye una amenaza creciente: estudios en los ríos Uruguay y Negro identificaron residuos de plaguicidas en tejido muscular de peces, evidenciando la acumulación de sustancias químicas en ecosistemas acuáticos y su posible transferencia a la cadena trófica (Ernst et al., 2018).

	Esta evidencia sugiere la necesidad de abordar conjuntamente calidad del agua, contaminación difusa, exposición ecosistémica y riesgos para la salud humana, evitando tratar estos fenómenos como problemas separados.
--	--

Desafío 6. Completar la transición energética hacia vectores estratégicos y digitalización del sistema

Descripción del desafío en clave PENCTI	Uruguay tiene avanzada la transición energética en electricidad, pero resta completarla en vectores de difícil descarbonización (hidrógeno verde, transporte pesado, almacenamiento) y digitalizar el sistema energético. El desafío busca posicionar al país como exportador estratégico de energía, diversificando hacia sectores de alta complejidad tecnológica.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	I+D en hidrógeno verde, biocombustibles avanzados y almacenamiento energético; Modelos de inteligencia y digitalización de la red; Marcos sandbox regulatorios con atención a la justicia energética territorial.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevantes	El desafío de posicionarse como exportador estratégico de energía requiere superar la trampa de los ingresos medios, diversificando la matriz hacia sectores de alta complejidad tecnológica que no dependan únicamente de los precios de los commodities (Bianchi et al., 2024; Isabella, 2024). La digitalización y la IA actúan como Tecnologías de Propósito General que optimizan la infraestructura energética y mejoran su resiliencia ante eventos extremos (Xiao & Boschma, 2022; Diehr et al., 2025).

Desafío 7. Economía circular industrial: cerrar la brecha entre regulación y capacidad CTI

Descripción del desafío en clave PENCTI	La gestión de residuos regulados (baterías, residuos electrónicos, envases, residuos de construcción) tiene marco normativo pero carece de soporte CTI para que empresas nacionales puedan valorizar esos materiales. El desafío consiste en cerrar la brecha entre una regulación que va por delante y la capacidad científico-técnica nacional para cumplirla.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Investigación, desarrollo y validación de tecnologías para la revalorización de residuos industriales y urbanos; Desarrollo de procesos para la obtención de sustancias de alto valor agregado a partir de residuos; Innovación en construcción edilicia mediante materiales verdes y reciclados; Y desarrollo de soporte científico-técnico para el cumplimiento de la normativa vigente.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevantes	Para superar las barreras de conocimiento en la reutilización de materiales como baterías, residuos electrónicos y envases, es necesario transitar hacia un modelo de bioeconomía circular de circuito cerrado (Azevedo et al., 2023). La falta de información científica sobre los ciclos de regeneración de los recursos naturales y la biodiversidad limita la capacidad de los reguladores y puede llevar a la aplicación restrictiva del principio precautorio (Ryfisch et al., 2026).

Desafío 8. Conservación de la biodiversidad y los pastizales naturales en territorios productivos

Descripción del desafío en clave PENCTI	Uruguay combina alta producción agropecuaria con ecosistemas valiosos (pastizales naturales del bioma Campos). La pérdida de biodiversidad y la conversión de pastizales aparecen en la consulta principalmente desde la perspectiva productiva. El desafío consiste en reconocer la conservación como objetivo en sí mismo, integrándola a los sistemas productivos.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Investigación sobre conservación de pastizales y servicios ecosistémicos; Diseño de corredores biológicos e instrumentos de pago por servicios ambientales; Integración de objetivos de biodiversidad a los sistemas productivos; Indicadores de estado de la biodiversidad.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La intensificación agrícola en la cuenca del Río Uruguay provocó una pérdida del 17% de los pastizales naturales (bioma Pampa/Campos) entre 2000 y 2019, sustituidos por cultivos anuales y forestación (Kruk et al., 2023). La pérdida de biodiversidad compromete la sostenibilidad de largo plazo de los servicios ecosistémicos de los que depende la propia producción (Goyenola et al., 2021; Kruk et al., 2023).

Desafío 9. Adaptación y mitigación al cambio climático con medición de emisiones netas

Descripción del desafío en clave PENCTI	El cambio climático fue planteado explícitamente en la consulta como problema-país, con datos concretos sobre el régimen de lluvias y la necesidad de medir emisiones netas. El desafío exige respuestas multidimensionales que superen las medidas unidimensionales (como la sola promoción del riego) y la generación de capacidades de mitigación y monitoreo del carbono.
Contribución desde la CTI (I+D+i)	Desarrollo de factores de emisión nacionales y metodologías de medición, reporte y verificación (MRV); Investigación sobre carbono orgánico del suelo como sumidero; Tecnologías de reducción de emisiones adaptadas a los sistemas productivos; Modelos de adaptación multidimensional.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	Uruguay experimenta un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos debido al cambio climático; Las precipitaciones medias aumentan pero se concentran en menos eventos, aumentando simultáneamente el riesgo de sequías e inundaciones (Ministerio de Ambiente, 2024b). La evidencia advierte que las respuestas políticas unidimensionales (como la sola promoción del riego) pueden agravar la pérdida de biodiversidad, y señala la necesidad de medir emisiones netas y no relativas a unidad de producto (Goyenola et al., 2021; Ryfisch et al., 2026).

4. Factores transversales o habilitantes del área

Los siguientes factores son condiciones de posibilidad que atraviesan y habilitan al conjunto: la gobernanza ambiental basada en evidencia, las capacidades científico-técnicas y la infraestructura de monitoreo e inteligencia territorial. Su resolución es requisito para abordar de forma efectiva y sostenible los desafíos anteriores.

Factor 1. Gobernanza ambiental basada en evidencia y normativa actualizada	
Descripción del factor en clave PENCTI	Existe una desconexión estructural entre el conocimiento científico disponible y las decisiones de gobernanza ambiental, agravada por modelos de gestión fragmentados y una normativa rezagada. Es un desafío habilitante: sin gobernanza basada en evidencia y normativa actualizada, las soluciones técnicas de los demás desafíos no encuentran quién las legitime ni las sostenga.
Acciones a implementar	Generación de evidencia local que reduzca la dependencia del principio precautorio; Unidades de asesoramiento científico permanente en organismos ambientales; Investigación en políticas ambientales y evaluación de su efectividad; Enfoques sistémicos de gestión.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La complejidad de los problemas ambientales (eutrofización, inseguridad hídrica) exige una transición desde modelos de gestión fragmentados hacia enfoques sistémicos y transdisciplinarios (Dogliotti & Chilibróste, s.f.). A pesar de la reciente modificación de la normativa sobre calidad del agua tras 50 años, esta sigue siendo insuficiente frente a la velocidad y magnitud de la degradación (Goyenola et al., 2021; Ryfisch et al., 2026). La implementación de medidas de manejo (zonas de exclusión, corredores riparios) enfrenta resistencia por ausencia de evidencia local cuantitativa sobre su efectividad (Dogliotti & Chilibróste, s.f.).

Factor 2. Capacidades científico-técnicas y formación de recursos humanos para el ambiente	
Descripción del factor en clave PENCTI	Uruguay presenta un déficit estructural de cuadros técnicos especializados en áreas ambientales dentro del Estado, lo que genera dependencia de consultorías extranjeras sin transferencia de capacidades. Es un desafío habilitante: la formación de capital humano es el pilar del desarrollo sostenible y condición de posibilidad de los demás desafíos.
Acciones a implementar	Formación de posgrado en disciplinas ambientales estratégicas con retorno garantizado; Inserción de jóvenes investigadores en el sector público ambiental; Programas de formación en centros de excelencia; Fortalecimiento de capacidades transdisciplinarias.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	Uruguay enfrenta un déficit significativo de personal técnico especializado en ingeniería civil y medio ambiente dentro del Estado, generando dependencia sistemática de consultorías extranjeras (Dogliotti & Chilibróste, s.f.). La formación de capital humano es el pilar central para el desarrollo sostenible y la resiliencia climática (Duque, 2024a; Goyenola et al., 2021); Uruguay requiere un plan de formación en centros de excelencia. El abordaje predominantemente parcial y compartimentalizado dificulta la transición hacia sistemas sostenibles (Ryfisch et al., 2026).

Factor 3. Monitoreo ambiental, inteligencia territorial y alertas tempranas

Descripción del factor en clave PENCTI	Uruguay carece de un sistema integrado de monitoreo ambiental que combine datos de agua, suelo, aire, biodiversidad y producción, y que opere como bien público. Es un desafío transversal e instrumental: sin datos confiables, sistemas de alerta e inteligencia territorial, los demás desafíos carecen de base para actuar, evaluar resultados y actualizarse.
Acciones a implementar	Construcción de observatorios territoriales con Inteligencia Artificial Territorial como bien público; Densificación de redes de sensores en tiempo real; Modelos computacionales de sistemas complejos para alertas tempranas; Infraestructura de datos abiertos e interoperables; Monitoreo en clave de Una Salud.
Evidencia desde los trabajos académicos y técnicos relevados	La creación de observatorios y plataformas de investigación permanente a escala de paisaje (PPIEP) es una estrategia central para anticiparse a los cambios en el territorio y orientar las transiciones hacia la sostenibilidad (Dogliotti & Chilbroste, s.f.). Uruguay requiere un sistema de monitoreo territorial robusto bajo el enfoque de Una Salud (Dogliotti & Chilbroste, s.f.). La implementación de sistemas de alerta temprana es una necesidad urgente ante el aumento de eventos extremos; El proyecto Alerta Yí usa redes neuronales e IA para anticipar inundaciones (Duque, 2024b; Diehr et al., 2025).

5. Referencias bibliográficas

ANCAP. (2024). Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos. <https://www.ancap.com.uy>

Asociación Oceanográfica Uruguaya. (2025, 28 de marzo). Uruguay sin rumbo: el fracaso del nuevo barco científico y la crisis de la oceanografía. <https://asociacionoceanograficauruguaya.wordpress.com/2025/03/28/uruguay-sin-rumbo-el-fracaso-del-nuevo-barco-cientifico-y-la-crisis-de-la-oceanografia/>

Azevedo, A., Lapa, N., Moldão, M. y Duarte, E. (2023). Opportunities and challenges in the anaerobic co-digestion of municipal sewage sludge and fruit and vegetable wastes: A review. *Energy Nexus*, 10, artículo 100202.

Bianchi, C., Isabella, F., Martinis, A. y Picasso, S. (2024). Varieties of the Middle Income Trap: An interactive demand–supply determinants analysis. *Structural Change and Economic Dynamics*, 71, 1–17.

Bonilla, S., Haakonsson, S., Somma, A., Gravier, A., Britos, A., Vidal, L., De León, L., Brena, B. M., Pérez, M., Piccini, C., Martínez de la Escalera, G., Chalar, G., González-Piana, M., Martigani, F. y Aubriot, L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *INNOTEC*, (10), 9–22.

Coalición Clima y Aire Limpio. (2022). Uruguay: Repensando prácticas para una mejor calidad del aire. <https://www.ccacoalition.org>

Diehr, J., Ogunyiola, A. y Dada, O. (2025). Artificial intelligence and machine learning-powered GIS for proactive disaster resilience in a changing climate. *Annals of GIS*, 31(2), 287–300.

Dogliotti, S. y Chilbroste, P. (s.f.). Instituto de Transiciones Sostenibles de los Sistemas Alimentarios (ITSSA). Propuesta de creación de Instituto Central de Investigación [Propuesta institucional]. Universidad de la República.

Duque, J. S. (2024a). Alerta Yí: Sistema de Alerta Temprana. Diagnóstico de la situación actual y elaboración del plan de trabajo en campo [Informe técnico]. Universidad Tecnológica del Uruguay.

Duque, J. S. (2024b). Alerta Yí: Sistema de Alerta Temprana. Propuesta para el Data2AI Challenge [Propuesta de proyecto]. Universidad Tecnológica del Uruguay.

Ernst, F., Alonso, B., Colazzo, M., Pareja, L., Cesio, V., Pereira, A., Márquez, A., Errico, E., Segura, A. M., Heinzen, H. y Pérez-Parada, A. (2018). Occurrence of pesticide residues in fish from south American rainfed agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 631-632, 169–179.

Goyenola, G., Graeber, D., Meerhoff, M., Jeppesen, E., Teixeira-de Mello, F., Vidal, N., Fosalba, C., Ovesen, N. B., Gelbrecht, J., Mazzeo, N. y Kronvang, B. (2020). Influence of Farming Intensity and Climate on Lowland Stream Nitrogen. *Water*, 12(4), artículo 1021.

Goyenola, G., Kruk, C., Mazzeo, N., Nario, A., Perdomo, C., Piccini, C. y Meerhoff, M. (2021). Producción, nutrientes, eutrofización y cianobacterias en Uruguay: armando el rompecabezas. *INNOTEC*, (22), artículo e558.

Goyenola, G. (2023). Uruguay's water crisis: prepare for future events. *Nature*, 618(7966), 675-675.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2022). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). En Sexto Informe de Evaluación (AR6): Mitigación del cambio climático (Capítulo 7). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

Isabella, F. (2024). Commodity dependence, structural reforms, and commodity trap: South America 1970-2017. *Revista de Economía Política*, 44(3), artículo e243643.

Kruk, C., Segura, A., Piñeiro, G., Baldassini, P., Pérez-Becoña, L., García-Rodríguez, F., Perera, G. y Piccini, C. (2023). Rise of toxic cyanobacterial blooms is promoted by agricultural intensification in the basin of a large subtropical river of South America. *Global Change Biology*, 29(7), 1774–1790.

Ministerio de Ambiente. (2021). Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA). <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/calidad-ambiental>

Ministerio de Ambiente. (2022). Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN2). Dirección Nacional de Cambio Climático. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/segunda-contribucion-determinada-nivel-nacional-cdn>

Ministerio de Ambiente. (2024a). Excedencias en promedios diarios de contaminantes en el aire: Informe de monitoreo. Dirección Nacional de Calidad Ambiental. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente>

Ministerio de Ambiente. (2024b). Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente, período 2020–2022. Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/oan>

Ministerio de Ambiente. (2024c). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) 1990–2022. Dirección Nacional de Cambio Climático. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/inventario-nacional-gases-efecto-invernadero-ingei>

Ministerio de Ambiente y Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial. (2021). Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático en Ciudades e Infraestructuras (NAP Ciudades) [Proyecto URU/18/002].

Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NAP-Cities_and_Infrastructures-Uruguay.pdf

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y Ministerio de Ambiente. (2019). Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático para el Sector Agropecuario (PNA-Agro). Oficina de Programación y Política Agropecuaria; Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2021-04/86-FT-PNA_Agro.pdf

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2025). Plan Nacional de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura 2025–2040 [Borrador en desarrollo]. <https://www.fao.org/uruguay>

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2016). Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (ENCUSDB): Actualización 2016–2020. Dirección Nacional de Ambiente; Sistema Nacional de Áreas Protegidas. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/estrategia-nacional-para-conservacion-uso-sostenible-diversidad>

Nagy, P. L., Grote, J., Babazono, S., Tomblin, G., Buchtell, S. L. y Cleary, M. L. (2002). A trithorax-group complex purified from *Saccharomyces cerevisiae* is required for methylation of histone H3. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(1), 90–94.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030. Naciones Unidas. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2025). Informe de Uruguay: Diagnóstico del estado de la reducción del riesgo de desastres y capacidades institucionales del SINAIE. <https://undrr.org/publication/informe-de-uruguay-diagnostico-del-estado-de-la-reduccion-de-desastres>

Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2024). Normativa de Uruguay para la producción sostenible: Posicionamiento ante la EUDR. En *Anuario OPYPA 2024* (pp. 123–135). Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/opypa>

Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2025). Monitoreo de la sostenibilidad ambiental de la ganadería. En *Anuario OPYPA 2025*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. <https://descargas.mgap.gub.uy>

Organización Mundial de la Salud. (2015). Plan de acción mundial sobre la resistencia a los antimicrobianos. <https://iris.who.int/handle/10665/203470>

Organización Mundial de la Salud. (2021). Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas (PM_{2,5} y PM₁₀), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. <https://iris.who.int/handle/10665/345907>

Organización Panamericana de la Salud. (2024). Determinantes ambientales de salud: contaminación ambiental, RAM y agua. <https://iris.paho.org>

Organización Panamericana de la Salud. (2025, 28 de noviembre). Relanzan en Uruguay el Plan Nacional de RAM con el apoyo de la OPS bajo el enfoque de Una Sola Salud. <https://www.paho.org/es/noticias/28-11-2025-relanzan-uruguay-plan-nacional-ram-con-apoyo-ops-enfoque-salud>

Osman, A. I., Fang, B., Zhang, Y. y Ai, P. (2024). Life cycle assessment and techno-economic analysis of sustainable bioenergy production: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 1115–1154.

Pérez Rocha, J. (2020). El estado del campo natural en el Uruguay. FAO, MVOTMA y MGAP.

Ryfisch, S., Díez Boldú, P., Avellán, T., Santos, C., Sciandro, J., Vázquez Cirillo, M., Blicharska, M. y Meerhoff, M. (2026). 'Incoherence Is, in a Way, a Choice': The Production of Policy Coherence at the Intersection of Uruguay's Agricultural, Environmental and Water Policies. *Environmental Policy and Governance*.

Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo de Uruguay: Horizonte 2050. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ECLP_Uruguay_es.pdf

Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. (2025). Elaboración de la Tercera Contribución Determinada a nivel Nacional sobre Cambio Climático. Plataforma de Participación Ciudadana Digital. <https://plataformaparticipacionciudadana.gub.uy/processes/tercera-cdn>

Thapa, A., Park, J.-H., Shin, S. G., Jo, H.-M., Kim, M.-S., Park, Y., Han, U. y Cho, S.-K. (2023). Elucidation of microbial interactions, dynamics, and keystone microbes in high pressure anaerobic digestion. *Science of the Total Environment*, 858, artículo 159718.

Unión Europea. (2023, 31 de mayo). Reglamento (UE) 2023/1115 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización en el mercado de la Unión y a la exportación desde la Unión de determinadas materias primas y productos asociados a la deforestación y la degradación forestal. Diario Oficial de la Unión Europea, L 150/206. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32023R1115>

Uruguay. (2021, 4 de mayo). Decreto N.º 135/021. Reglamento de calidad del aire y límites de emisión. Centro de Información Oficial (IMPO). <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/135-2021>

Xiao, J. y Boschma, R. (2022). The emergence of artificial intelligence in European regions: An evolutionary economic geography approach. *Regional Studies*, 56(9), 1642–1666.

Zabaleta, B., Achkar, M. y Aubriot, L. (2021). Hotspot analysis of spatial distribution of algae blooms in small and medium water bodies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, artículo 221.