



¿QUÉ PASA EN EL PAGO?

Del calor al frío y de la sequía a la inundación en Uruguay

Editoras

**Gabriela Cruz, Alicia Picción
y Claudia Simon**

Montevideo, 2023
ISBN 978-9915-42-151-3

Editoras:

Gabriela Cruz, Alicia Picción y Claudia Simon

Sofía Alvariño

Laura Astigarraga

Mario Caffera

Gabriela Cruz

Romina de Souza

María José Farías

Lucía Gutiérrez Bazterrica

Eduardo Llanos

María Noel López Salgado

Carolina Munka

Hugo Partucci

Soledad Pérez Becoña

Alicia Picción

Celmira Saravia Tomasina

Claudia Simon

Rafael Terra

Emilio Terrani

Daniela Vázquez Mora

Agradecemos el apoyo a —



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



W. LINE 31
AGRONOMIA



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR



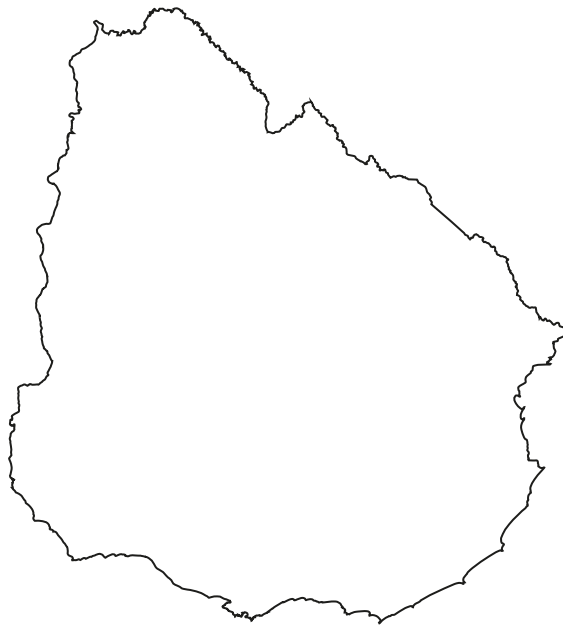
CURE
Centro Universitario
Regional del Cid



ANII
AGENCIA NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN



Espacio Interdisciplinario
Universidad de la República
Uruguay



Contenido

Comité evaluador	06
¿De qué trata este libro?	07
Alicia Picción y Gabriela Cruz	
Capítulo 1	12
Confluencias entre la arquitectura y la agronomía: grupo de investigación interdisciplinario en la Universidad de la República	
Claudia Simón, Alicia Picción y Gabriela Cruz	
Capítulo 2	32
Desempeño ambiental y cambio global: hacia la evaluación ambiental, social y económica del diseño habitacional	
María Noel López Salgado	
Capítulo 3	48
Caracterización de la evapotranspiración de referencia en Uruguay	
Sofía Alvariño, Rafael Terra y Gabriela Cruz	
Capítulo 4	68
Agroclimatología de las deficiencias hídricas en Uruguay	
Soledad Pérez Becoña y Gabriela Cruz	
Capítulo 5	82
El lado Social de la Evapotranspiración	
Hugo Partucci y Gabriela Cruz	
Capítulo 6	98
Impacto de la variabilidad interanual de las precipitaciones primaverales sobre la producción de leche de predios del Litoral Oeste del Uruguay	
María José Farías, Celmira Saravia y Laura Astigarraga	

Capítulo 7	108
¿Se incrementó la ocurrencia de las olas de calor en el siglo XXI con respecto a los últimos 30 años del siglo XX? Estudio de casos Paysandú y La Estanzuela, Colonia, Uruguay Celmira Saravia y Romina de Souza	
Capítulo 8	124
Isla de Calor Urbana en Montevideo, conceptos principales y una metodología para su caracterización Lucía Gutiérrez	
Capítulo 9	136
Efecto del sombreado de alineaciones de árboles sobre la reducción de la temperatura microambiental y el confort térmico en Montevideo Emilio Terrani, Alicia Picción, Oscar Bentancur, Gabriela Cruz	
Capítulo 10	162
Bioclimatología de <i>Aedes ægypti</i> bajo condiciones de Variabilidad y Cambio Climático en Uruguay: 27 años de condiciones dispares R. Mario Caffera	
Capítulo 11	176
Aportes para una gestión sustentable de residuos orgánicos con participación comunitaria. Caso de estudio ciudad de Tacuarembó Daniela Vázquez y Gabriela Cruz	
Capítulo 12	194
Alternativas de aprendizaje en la enseñanza de los problemas ambientales Eduardo Llanos, Celmira Saravia, Carolina Munka, Gabriela Cruz	
Sobre los autores	206

Comité evaluador

El comité estuvo conformado (en orden alfabético de apellidos) por:

Dra. Ana Corbacho.

Coordinación académica. Espacio Interdisciplinario. Udelar, Uruguay.

Dra. María Fernanda de Torres.

Animal's Lab, UMR Innovation, INRAE, Francia.

Dra. Ana Carolina Espasandín.

Mejoramiento Genético Animal, Departamento de Producción Animal y Pasturas. EEMAC. Udelar, Uruguay.

Dr. Gustavo Marisquirena.

Unidad de Enseñanza. Facultad de Agronomía. Udelar, Uruguay.

Dr. Gustavo Nagy.

Grupo de Cambio Ambiental y Gestión Costero-Marina Oceanografía y Ecología Marina. IECA (Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales). Facultad de Ciencias, Udelar, Uruguay.

Dr. Carlos Santos.

Centro Interdisciplinario de Manejo Costero Integrado MCISur. Centro Universitario Regional Este. Facultad de Ciencias Sociales. Udelar, Uruguay.

Dra. Bernadette Soust.

Investigadora Postdoctoral, Universidad de Sevilla, España.

Dra. Guadalupe Tiscornia.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay), Áreas de Sistemas de información y Transformación digital (GRAS). Estación experimental Las Brujas, Uruguay.

¿De qué trata este libro?

En este libro se presentan trabajos realizados en el marco del proyecto “No te olvides del pago...” Clima en ambientes rurales y urbanos, desarrollado desde 2019 a 2023. Este proyecto surgió a través de la interacción de las responsables del curso “Clima y Confort” en la Licenciatura de Diseño del Paisaje (FAGRO-FADU-CURE) que se imparte desde 2011. Partiendo de esta actividad conjunta de enseñanza – y en parte como respuesta a demandas de investigación por parte de estudiantes y egresados – comenzamos a trabajar en conjunto en la línea de investigación de confort térmico en humanos a nivel urbano, complementado con análisis de vegetación y microclima generado en ambientes de sol o sombra. Se trataba de crear y potenciar actividades conjuntas de investigación, enseñanza y formación de recursos humanos, entre los grupos “Variabilidad y Cambio Climático en Sistemas Agropecuarios” y “Departamento de Clima y Confort en Arquitectura” (grupos de investigación CSIC), así como fortalecer las líneas ya existentes al interior de cada uno de estos grupos. En el primer capítulo se analiza el proceso de investigación interdisciplinaria en el proyecto, identificando conceptos, aprendizajes y metodologías valiosas que provienen de la otra disciplina.

Tanto en este libro como en el proyecto, se prioriza el tema del cambio y la variabilidad climática, profundizando los estudios que relacionan el clima con la sustentabilidad a largo plazo de sistemas anclados en ambientes rurales y/o urbanos según el origen disciplinario de los integrantes del equipo.

Si bien la variabilidad y el cambio climático ocurren a escalas espaciales relativamente grandes, afectan de forma diferente a los ambientes rurales o urbanos, lo cual implica que las respuestas de adaptación y mitigación requieran de investigaciones contextualizadas de menor escala. Los efectos que se producen en los seres vivos expuestos al ambiente exterior se pueden reducir básicamente a los intercambios de energía que establecen con el medio, en particular con la atmósfera.

Estos intercambios de energía ocurren a través de los mecanismos de transferencia por radiación, convección, conducción y evaporación, los que responden dinámicamente a las condiciones de la atmósfera tendiendo al equilibrio térmico e hídrico del ser vivo en cuestión.

Cuando las condiciones del ambiente se alejan de la condición climática de adaptación, ocurren situaciones de discomfort o de estrés.

Estos fundamentos físicos sobre el equilibrio térmico e hídrico son comunes a las líneas de investigación en biometeorología de ambos grupos, y esta experticia que ya existía en ambos es lo que se buscó potenciar y articular. En las ciudades, el cambio climático representa una amenaza con altos costos asociados para la estabilidad económica, social, ambiental y política.

Según CEPAL existen tres razones fundamentales para analizar las consecuencias que tendrá el cambio climático en las ciudades: la primera es que la mitad de población mundial vive en las ciudades y que esta cifra alcanzará un 70% al 2050, además de generar más del 80% del PIB mundial y ser responsables del 70-80% de la energía consumida que genera las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

La segunda razón, es la concentración de personas, activos y actividades económicas en las ciudades que son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático y por último, centrarse en la acción climática en las ciudades es más efectivo desde el punto de vista de los costos tanto en las acciones de mitigación como en las de adaptación. En Uruguay, el porcentaje de personas residiendo en áreas urbanas alcanzó en 2014 el 95%, siendo el décimo país en el mundo con mayor porcentaje de población urbana. Con respecto a esto, en el capítulo 2 de este libro, se comparan herramientas de evaluación ambiental para el diseño arquitectónico, mostrando que en condiciones de cambio global, la herramienta de análisis sostenible del ciclo de vida es la que mejor responde a la dimensión ambiental, económica y social para la ciudad de Montevideo.

Respecto a la producción agropecuaria, las sequías agronómicas son un problema histórico y de creciente importancia para la ganadería pastoril del Uruguay y la región. La ganadería en Uruguay genera la mayor proporción del producto nacional bruto de las exportaciones y representa el mayor número de productores de pequeña y mediana escala. Las variables atmosféricas involucradas en la frecuencia de sequías, su duración e intensidad son las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia (oferta y demanda de agua de la atmósfera respectivamente). El aumento de las precipitaciones en la región es algo comprobado y documentado hace ya algunos años, no así la tendencia temporal de la evapotranspiración de referencia.

En el marco del proyecto que motivó este libro se han realizado estudios de tendencia de la evapotranspiración de referencia, encontrándose aumentos significativos para las últimas décadas (capítulo 3). Los resultados obtenidos con las estimaciones de la evapotranspiración de referencia permitieron también realizar una caracterización de las deficiencias hídricas, utilizando por primera vez para Uruguay, datos observados de las variables climáticas involucradas para un período prolongado de años, resultados que se discuten en el capítulo 4.

El tema del agua nos ha llevado también la mirada hacia las dimensiones económica, social y política de las sequías en la producción agropecuaria. En este sentido, en el capítulo 5 se presentan reflexiones de parte del trabajo interdisciplinario llevado adelante por un equipo que integró distintas visiones de acuerdo a su formación disciplinaria: antropología, agronomía, biología y meteorología.

Por otra parte, si bien las tendencias de las precipitaciones han sido estudiadas anteriormente, la elevada variabilidad interanual de las precipitaciones que es característica de nuestro clima, amerita estudios de impacto sobre los principales rubros agropecuarios. En el capítulo 6 de este libro se presenta un estudio de este impacto para la lechería.

En cuanto a la temperatura del aire, el aumento a nivel global se manifiesta de diferentes maneras a nivel regional, incrementando la variabilidad y/o la probabilidad de ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. Para el Sureste de Sudamérica se encontró que los eventos extremos por frío han disminuido en las últimas décadas, mientras que las situaciones sinópticas que determinan la presencia de eventos extremos por calor han aumentado. El calentamiento del aire puede ocasionar un aumento en la frecuencia de olas de calor (capítulo 7), con impacto tanto en la producción animal (para producir carne, leche y lana), como en las condiciones de confort térmico en las ciudades, las que adicionalmente presentan mayores temperaturas debido al efecto “isla de calor urbano” (capítulo 8). Se presentan y discuten aquí resultados preliminares que indican aumento en la frecuencia de olas de calor en el litoral oeste del país y una caracterización del efecto de la isla de calor urbano en Montevideo.

Para contrarrestar el efecto del calor estival en las ciudades, los árboles son esenciales por su efecto moderador de las temperaturas, lo que impacta directamente en el microclima local, a la vez que contribuyen a mitigar el cambio climático mediante la actividad fotosintética. Las copas de los árboles absorben y reflejan la radiación solar, protegiendo eficazmente las superficies del contacto directo con la energía radiante. Los árboles urbanos son quizás la opción más efectiva y de menor costo para la adaptación y mitigación a las temperaturas adversas para el confort humano. En el capítulo 9 se presentan los hallazgos y beneficios del arbolado en las veredas del centro de Montevideo.

La variabilidad climática y el cambio en los patrones del clima van moldeando también otros riesgos, como el riesgo de contagio de dengue a través del mosquito *Aedes aegypti*, especie exótica invasora de hábitos urbanos. En el caso de Uruguay ya se han confirmado casos de dengue por transmisión local (casos “autóctonos”), lo que nos ha llevado a desarrollar y discutir el devenir bioclimático que moldea el riesgo de contagio a través de este vector (capítulo 10).

Otro problema ambiental relacionado con el cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en la gestión de los residuos. Abordar esta problemática requiere analizar, en primera instancia, el contexto geográfico, social y cultural de cada lugar. En el capítulo 11 se presentan los primeros resultados alcanzados sobre este tema en los plazos del proyecto, para la ciudad de Tacuarembó.

En el capítulo 12 se describe una experiencia de enseñanza, también interdisciplinaria y gestada en el marco del proyecto. Sirve para recordarnos que el puntapié inicial de todo este proceso fue en un aula, en un curso de la Licenciatura de Paisaje en el CURE.

Por último, quisiéramos compartir con los lectores en qué se inspira el título del libro. La primera parte (¿Qué pasa en el pago?) alude al propio título del proyecto que le dio lugar y que es parte de una canción de Alfredo Zitarrosa (No te olvides del pago...), en un intento de dar respuestas y mostrar que no nos olvidamos “del pago”, cualquiera sea éste según el lugar donde se realizaron los estudios que se presentan. La segunda parte del título (Del calor al frío y de la sequía a la inundación en Uruguay) intenta rescatar la percepción general de que vivimos en un país con un tiempo “loco”, de cambios abruptos y con un clima que presenta extremos con cierta frecuencia. Es la única licencia poética, si es que así puede llamarse, que nos hemos permitido.

Gabriela Cruz y Alicia Picción

Capítulo 1

Confluencias entre la arquitectura y la agronomía: grupo de investigación interdisciplinario en la Universidad de la República.

Claudia Simón ¹, Alicia Picción ² y Gabriela Cruz ³

¹ Facultad de Agronomía, Udelar e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

² Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Udelar.

³ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

interdisciplina, paisaje, clima, agronomía, arquitectura

Resumen:

En el contexto de la crisis ambiental actual, se reconoce la necesidad de una colaboración interdisciplinaria entre las ciencias naturales y humanas en el diseño y la gestión ambiental de los espacios urbanos y rurales. En la Universidad de la República, se desarrolló el proyecto "No te olvides del pago... clima en ambientes rurales y urbanos" para abordar la relación entre clima, confort y habitabilidad en ambientes urbanos y rurales desde la agronomía y la arquitectura. Este trabajo analiza el proceso de investigación interdisciplinaria en este proyecto, identificando conceptos, aprendizajes y metodologías valiosas que provienen de la otra disciplina. El compartir actividades en el medio, enseñanza e investigación fue marcado como el origen y el camino de sus colaboraciones, jerarquizando las tres funciones al mismo nivel. Se encontraron conocimientos específicos como el análisis estadístico, las simulaciones, diferentes acercamientos hacia el uso de los árboles en espacios públicos, o las metodologías participativas que fueron destacados por una y otra disciplina como un aporte a su práctica docente y de investigación. A pesar de la pandemia y las dificultades inherentes al trabajo disciplinario, se cumplieron las expectativas en cuanto a productos, como las tesis de estudiantes y el desarrollo de líneas de trabajo. Se sentaron las bases para próximos trabajos en conjunto y se identificaron líneas de trabajo para facilitar la continuación en proyectos futuros.

Introducción

La crisis ambiental actual ha generado una necesidad urgente de ampliar los límites de los campos disciplinarios para abordar los complejos problemas a los que nos enfrentamos. El diseño y gestión ambiental de los espacios rurales y urbanos, también conocido como diseño de paisaje, ha sido desafiado por estos problemas, y a nivel local e internacional se reconoce la necesidad de promover la colaboración interdisciplinaria entre las ciencias naturales y humanas para comprender la relación entre la actividad humana y el ambiente. (Phillipson et al., 2009; García, 2011; Torres-Lima et al., 2012).

En consecuencia, la academia ha desarrollado nuevos tipos de investigación con marcos metodológicos interdisciplinarios adecuados para abordar y resolver problemas como la habitabilidad, lo que ha generado un gran debate sobre el significado de la discusión interdisciplinaria y cómo se puede fomentar este enfoque. Se encuentra que es necesario un enfoque interdisciplinario que abarque todas las ciencias del hábitat, donde las múltiples disciplinas pueden desempeñar roles importantes en la provisión de diferentes perspectivas de conocimiento y así inspirar nuevas políticas que promuevan la resiliencia, la sostenibilidad y el cambio social (O'Brien, 2010; Torres-Lima et al., 2012).

Los desafíos socio ambientales complejos no solamente requieren de la interdisciplina, sino también de realizar investigación basada en el trabajo en equipo. Los estudios de posgrado son fundamentales para desarrollar dichas capacidades, pero las oportunidades formales para que se desarrollen son poco frecuentes (Wallen et al 2019).

La Universidad de la República (Udelar) ha promovido explícitamente la investigación interdisciplinaria, por ejemplo, a través de la creación del Espacio Interdisciplinario y la financiación de Centros Interdisciplinarios como el Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y la Variabilidad Climática. Sin embargo, la aproximación interdisciplinaria específica al clima y la interacción entre la agronomía y la arquitectura como disciplinas principales fue una propuesta innovadora del proyecto "No te olvides del pago... clima en ambientes rurales y urbanos", lo que resultó en su financiación por parte de la convocatoria a grupos de investigación de CSIC.

Antecedentes

Uno de los orígenes del grupo de investigación que conforma este proyecto se puede identificar en la creación de la Licenciatura en Diseño del Paisaje en el año 2008, impartida en el Centro Universitario Regional Este (CURE) de la Udelar, con referencia académica en las Facultades de Agronomía y de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. La creación de esta licenciatura habilitó la colaboración y el trabajo conjunto entre estos servicios en proyectos de investigación, enseñanza y extensión. Desde 2011, como parte de esta licenciatura, se imparte el curso "Clima y Confort" (obligatorio de cuarto año) a cargo de la Arq. Alicia Picción y la Ing. Agr. Gabriela Cruz (a su vez, responsables del proyecto "No te olvides del pago.."). Es de destacar que este curso es el único de la licenciatura que se formuló y dicta de forma integrada y cuyas responsables provienen de los dos servicios referentes.

A partir de esta actividad de enseñanza conjunta, y en respuesta a las demandas de investigación de estudiantes y egresados, se comenzó a trabajar en la línea de investigación de confort térmico en humanos a nivel urbano, complementado con el análisis de la vegetación y el microclima generado en ambientes de sol o sombra. Ejemplos de estos proyectos son "Confort térmico en espacios al aire libre" (a cargo de la Lic. en Diseño del Paisaje Daniela Vázquez y la Ing. Agr. Sofía Alvarino,) y "Efecto del sombreado del arbolado urbano de Montevideo en la reducción de la temperatura microambiental" (a cargo del Ing. Agr. Emilio Terrani, financiación CSIC-Iniciación y luego beca ANII para la realización de la maestría).

Es importante destacar que tradicionalmente las universidades, y en particular la Udelar, han formado investigadores en una estructura disciplinaria (Goñi et al., 2018). Sin embargo, de las nuevas licenciaturas, como la Licenciatura en Diseño del Paisaje, egresan futuros profesionales e investigadores con formaciones más interdisciplinarias, considerando la diversidad de docentes y temáticas y que su campo de trabajo aún es joven. Este proyecto se enmarca en vínculos originados por el desarrollo de la licenciatura, pero también se suman otras disciplinas a sus líneas de investigación, como la Antropología.

Previo al trabajo conjunto en el contexto de la licenciatura, se conformó el grupo "Variabilidad y Cambio Climático en Sistemas Agropecuarios" (CSIC N°1745), que ha desarrollado actividades de investigación, enseñanza y extensión en la Facultad de Agronomía y en el Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática, tanto para sus miembros radicados en Montevideo como para las sedes Salto y Paysandú del CENUR Litoral Norte. Por otro lado, el grupo "Departamento de Clima y Confort en Arquitectura" (CSIC N°768) desarrolla sus actividades académicas en el Instituto de Tecnologías de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. La confluencia de estos dos grupos de CSIC en la Licenciatura en Diseño del Paisaje permitió el desarrollo de actividades conjuntas en enseñanza, investigación y formación de recursos humanos.

El grupo "Variabilidad y Cambio Climático en Sistemas Agropecuarios" (CSIC N°1745) tiene como objetivo la creación de conocimiento sobre el rendimiento productivo de los sistemas agropecuarios, los cuales son fuertemente influenciados por el clima y su variabilidad. En este sentido, el grupo desarrolla proyectos de investigación que tienen como objetivo principal analizar las respuestas de los sistemas agropecuarios a diferentes condiciones climáticas y evaluar su vulnerabilidad frente al cambio climático. Asimismo, el grupo trabaja en la generación de herramientas de gestión del riesgo climático y en la identificación de estrategias de adaptación al cambio y la variabilidad climática para el sector agropecuario.

En definitiva, la confluencia de estos grupos de investigación, junto con la Licenciatura en Diseño del Paisaje, promovió la creación el proyecto "No te olvides del pago" que trabajó en torno al estudio de las relaciones entre el clima, el ambiente urbano y los sistemas agropecuarios, con un enfoque en el bienestar de las personas y la sustentabilidad del hábitat. Este espacio de trabajo ha permitido la generación de conocimiento y la formación de recursos humanos altamente capacitados, lo que se considera una contribución al desarrollo científico y tecnológico del país en estas áreas de estudio.

El objetivo del presente capítulo es analizar el proceso de investigación interdisciplinaria en el proyecto "No te olvides del pago... clima en ambientes rurales y urbanos" haciendo foco en la identificación de las características más relevantes por parte de los investigadores involucrados, los aprendizajes obtenidos y las dificultades encontradas.

Conformación de los integrantes del proyecto

Los participantes del proyecto fueron convocados por las responsables del proyecto (Cruz y Picción) de acuerdo a los equipos y redes de investigación en la temática, para presentarlo a la convocatoria CSIC-Grupos (2018) de la Udelar. Además, se tomó en cuenta que la riqueza de las experiencias interdisciplinarias está en función del número de disciplinas, la distancia entre ellas, la novedad y la integración (Nissani, 1995).

Número de integrantes	26
Facultades o Centros	Facultad de Agronomía; Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo; CURE; Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y la Variabilidad Climática (EI)
Disciplinas	agronomía, arquitectura, diseño del paisaje, antropología, biología, ingeniería, meteorología, sociología.

Estrategia metodológica

Con el fin de alcanzar el objetivo de este capítulo, se propuso una metodología que incluyó la realización de entrevistas semi-estructuradas con integrantes del equipo durante 2022 y principio de 2023, así como la observación participante en seminarios grupales de exposición y discusión que tuvieron lugar en 2021. Para diseñar la pauta de entrevista, se consideraron seis dimensiones de análisis clave:

- ***Demanda de la intersección entre disciplinas***
- ***Expectativas sobre el trabajo interdisciplinario***
- ***Experiencias y conocimientos destacados como resultado del trabajo interdisciplinario***
- ***Dificultades encontradas en el trabajo interdisciplinario***
- ***Comunicación***
- ***Metodologías de trabajo***

Se llevaron a cabo un total de seis entrevistas, tres de ellas con integrantes del área de agronomía y tres con integrantes del área de arquitectura, luego de finalizado el proyecto. Para elegir a los entrevistados se eligieron personas de diferentes géneros y experiencia académica, considerando estudiantes de posgrado, investigadores consolidados y responsables de proyecto. Entre estos se encontraban personas con mayor experiencia en equipos interdisciplinarios, en estudiantes de posgrado e investigadores, y de menor experiencia.

Las entrevistas fueron grabadas en video o en audio, dependiendo de si se realizaron en forma virtual o presencial. Las mismas fueron transcritas y analizadas en una etapa posterior considerando las dimensiones de análisis descritas anteriormente. En el **Anexo I** se encuentra la pauta de entrevista.

La observación participante en los seminarios se realizó participando en los seminarios y tomando nota de emergentes, así como analizando posteriormente el video de los mismos.

Resultados y discusión

A continuación se presentarán los resultados y su discusión de acuerdo a las diferentes dimensiones de análisis presentadas en la estrategia metodológica.

Demanda por la intersección entre disciplinas

Surgieron diferentes niveles de demandas relacionadas a este proyecto. Como primer nivel de demanda surgió la necesidad de abordar un problema complejo desde una perspectiva interdisciplinaria, la demanda de conectar disciplinas surgió de la necesidad de abordar temas de estudio que no estaban siendo atendidos y son relevantes para la calidad de vida y el funcionamiento de las ciudades y su periferia. Además, se reconoció la complejidad y multiplicidad de perspectivas relacionadas con los aspectos climáticos, por lo que se hizo necesario abordarlos de manera interdisciplinaria.

En un segundo nivel, se encontró una demanda vinculada a la formación de estudiantes en ámbitos interdisciplinarios. Específicamente la demanda identificada fue la necesidad de formar en estos temas (confort térmico, agrometeorología) a los estudiantes de la Licenciatura en Diseño del Paisaje. Estos temas son cada vez más urgentes debido a las manifestaciones de la variabilidad y el cambio climático.

Hubo otras demandas que se identificaron pero no fueron trabajadas, por ejemplo relacionadas al estrés térmico humano por calor en ciudades del litoral oeste y norte del país. Este tema no se desarrolló completamente en el proyecto, aunque sigue siendo un área de interés a futuro.

Expectativas del trabajo interdisciplinario

Las expectativas iniciales de un grupo interdisciplinario suelen ser elevadas y en la práctica del trabajo en sí, las mismas se van ajustando. La principal expectativa de este proyecto fue consolidar las líneas de investigación en clima y microclima mediante la formación de recursos humanos, buscando soluciones que integren el conocimiento científico a nivel de espacios urbanos y a nivel de sistemas pecuarios. También se mencionó la expectativa de generar nuevos proyectos en temas específicos durante y luego del programa en marcha.

Inicialmente se esperaba una interacción sostenida entre los integrantes, pero debido a la pandemia los investigadores señalan que estas expectativas no se cumplieron en su totalidad. Sin embargo, se cumplieron mayoritariamente las expectativas o resultados esperados del proyecto en cuanto a los productos, como las tesis de los estudiantes de posgrado, cursos y el desarrollo de las líneas de trabajo de cada grupo (de Arquitectura y Agronomía).

Algunas de estas tesis produjeron capítulos en este mismo libro, como los de los que son autores principales Lucía Gutierrez, Sofía Alvarino, Soledad Pérez, Maria Noel López, Emilio Terrani, María José Farías y Daniela Vázquez.

Experiencias y conocimientos destacados como resultado del trabajo interdisciplinario

El conocimiento en análisis estadísticos de los agrónomos fue ampliamente valorado y destacado desde la arquitectura. Consideraron que les ayudó a analizar los datos que manejaban en sus investigaciones, en la forma de analizarlos y en las conclusiones a las que se pueden llegar. A partir de este intercambio comenzaron a trabajar de nuevas formas con sus bases de datos climáticas, a prestar mayor atención a los supuestos que se hacen y qué implican y a cómo se realizan las mediciones en campo de forma rigurosa. Sobre este punto surge la reflexión sobre las repercusiones de las diferentes formaciones de ambas disciplinas. Los Agrónomos, al estar trabajando sobre los procesos biológicos (biogeoquímicos) que incumben a los seres vivos tienen una mayor preocupación y formación sobre las implicancias de cómo se analizan los datos. Esto fue observado con atención desde la arquitectura, que con otro centro de interés, no lo tiene incorporado en su formación metodológica.

Asimismo, encontraron muy enriquecedor y un aporte a sus trabajos los conocimientos sobre el clima y el arbolado. Adquirieron conocimientos más profundos sobre el bienestar de los árboles en ambientes urbanos y a considerarlos de una forma más integral, con sus características y sus necesidades. Sobre la consideración del arbolado en los proyectos habitacionales apuntaron que es necesaria una mayor interacción para que sea tenido en cuenta desde el inicio de la obra.

Desde la agronomía y del diseño del paisaje fueron destacados los aportes respecto a las metodologías participativas utilizadas en algunas de las investigaciones de los arquitectos.

Un concepto mencionado y central en las investigaciones de todos los integrantes es el de confort térmico. Desde la agronomía mencionan que ampliaron su visión de lo que significa el confort al comprender cómo se lo trabaja desde la arquitectura. El confort en agronomía lo conceptualizaban ligado al estrés térmico en el ganado y cómo éste se traduce en disminuciones en la producción, pero a partir de pensarlo desde consideraciones humanas se profundizó más en el bienestar animal y que estar en una situación de confort es estar en un ambiente “óptimo” y no “sin estrés”.

Otros conocimientos o desarrollos mencionados como novedosos desde la agronomía fueron los flujos de energía en las ciudades, las simulaciones, cómo se comporta la temperatura en los diferentes puntos de las ciudades teniendo en cuenta diferentes variables como la insolación y el viento.

Por otra parte, se valoró positivamente la posibilidad de reflexionar acerca de las escalas de trabajo cuando se aborda el clima. Explicaron que cada disciplina, al trabajar a una escala espacial/temporal adecuada a su objeto de estudio (ambientes rurales en la agrometeorología o la escala de espacio público, en plazas, edificios y ciudades desde la arquitectura), colecta los datos y los analiza de una manera que es diferente cuando se pasa a otra escala de trabajo. A partir de este ejercicio surge nuevo conocimiento y una nueva perspectiva de lo que implica el trabajo del otro en esa otra escala de trabajo y las consideraciones y adecuaciones que deben hacerse para que los datos, las mediciones y las conclusiones a las que se llega sean válidas y apropiadas.

Se apuntó que una disciplina que podría ser integrada a los estudios relacionados al clima sería la Medicina, como ejemplo se menciona las influencias de las olas de calor y frío en la salud, las faltas de alerta y planificación en el vínculo clima y salud y que podría haber un aporte desde la arquitectura y la agronomía en el análisis de estos problemas.

Un aspecto remarcado fue la posibilidad no solo de compartir conocimientos sino también de compartir herramientas y materiales para llevar a cabo las investigaciones. A partir del intercambio hubo integrantes que comenzaron a utilizar instrumentos de medición para sus trabajos de tesis que no habían considerado inicialmente.

Entre los aspectos más valorados se remarcó la conformación de una red de docentes investigadores, entre los que se construyó una mirada sobre la importancia de entender el clima y el microclima en las actividades humanas. Una red en la que existe la posibilidad de plantear dudas respecto a estos temas y tener referentes que las puedan responder o sobre las que se pueda intercambiar.

Se destacó también como logro del proyecto el apoyo a la formación de docentes de la Udelar.

Finalmente, en las entrevistas surgió una valoración por el trabajo en la integralidad de funciones. No solamente se valoró la interacción en la investigación sino también en la docencia de aula y en actividades en el medio.

Dificultades del trabajo interdisciplinario

Debido a que el proyecto comenzó en 2019 y a inicios de 2020 fue declarada la emergencia sanitaria por la pandemia de COVID 19, una dificultad que se mencionó en todas las entrevistas fue el corte que se produjo en ese año en la continuidad de las actividades presenciales. Si bien el proyecto continuó y se realizaron gran parte de las actividades propuestas, el impulso inicial y los encuentros presenciales se cortaron abruptamente, lo que se considera que limitó el proceso de intercambio interdisciplinario.

La imposibilidad de encuentros presenciales también fue expresada como una dificultad, a pesar de los esfuerzos por mantener seminarios virtuales de intercambio. Apreciaron que los encuentros iniciales que fueron presenciales fueron más potentes para comenzar a tejer la red de colaboración.

Otra dificultad encontrada, y vinculada también a los efectos de la pandemia, fue la sobrecarga de trabajo de los integrantes, lo que dificultó jerarquizar el trabajo en este proyecto. Esto es un aspecto importante a ser considerado dado que los proyectos interdisciplinarios insumen una gran cantidad de tiempo en su desarrollo.

A su vez, también se mencionó vinculado con los dos puntos anteriores, la falta de tiempo de intercambio entre las disciplinas. Consideraron que se trabajó de una forma más fragmentada.

Comunicación

En lo que refiere a aspectos de comunicación se valoraron nuevamente los encuentros presenciales en los seminarios. En estos encuentros se propició un entorno de confianza interpersonal e intergrupala que aportó al desarrollo posterior del proyecto, que realizó durante la pandemia. También es de destacar la mención como muy enriquecedora a la comunicación informal fuera de los seminarios, en las pausas de café, en los pasillos, en las oficinas de cada facultad o centro en el período presencial.

Otra consideración relevante que hicieron los integrantes del grupo, fue la facilidad para entenderse sin generar explícitamente un lenguaje común ni un glosario interdisciplinario. Destacan la capacidad de no “agarrarse a lo que rechina” (esto alude a la capacidad de ir más allá de las diferencias que pueden encontrarse a partir de la utilización diferente de los conceptos y poder seguir adelante) , y de poder tener bien definidos los términos que se utilizan para poder ser explicados si surge la necesidad. Asimismo, se valoró estar en contacto con nuevos términos y conceptos que ampliaron la visión sobre los temas trabajados.

Metodologías de trabajo

Etapa 1. Presentación de trabajos

A lo largo de 2019 se trabajó en encuentros presenciales diseñados para promover el intercambio y el vínculo entre los integrantes, en los que cada uno presentó su trabajo y recibió comentarios del resto del grupo. También en esta instancia se planteó de qué manera cada trabajo se podía apoyar en el resto del grupo para mejorar su desarrollo. Se valoró esta etapa como muy positiva.

Etapa 2. Avances de cada trabajo

En 2020 (fines) y 2021 se retomó el contacto y se realizaron tres seminarios virtuales en el que se presentaron los avances de cada investigación. Aunque se enriquecieron los resultados obtenidos hasta ese momento en cada trabajo, se consideró que el grado de intercambio fue menor que en los seminarios presenciales..

Etapa 3. Publicación de este libro

En 2022 se propuso la realización de la publicación de un libro del proyecto que reuniera las investigaciones realizadas en su marco, como un texto que deja sentadas las bases del trabajo conjunto y que pueda ser consultado tanto por los integrantes del programa como por externos, a modo de socialización de la experiencia interdisciplinaria.

Caracterización del trabajo interdisciplinario grupal

Los entrevistados consideraron que el trabajo grupal fue colaborativo, armonioso, y que se reconoció la potencialidad del trabajo en conjunto. “Con buena disposición para el intercambio y por buscarle oportunidades a las ideas que surgieran”. Los trabajos disciplinarios se nutrieron del intercambio, y algunos consideran que sería necesario dar continuidad al trabajo conjunto y que se siga profundizando la interacción.

Conclusiones

Desde una perspectiva interdisciplinaria, este proyecto marca una colaboración fructífera entre las disciplinas de arquitectura y agronomía, especialmente en el estudio del clima y microclima en entornos urbanos y rurales. A pesar de que surgieron dificultades imprevistas debido a la imposibilidad de reunirse en persona por la pandemia, se destacó la disposición del grupo para compartir sus conocimientos y escuchar las perspectivas de los demás. Además, se identificaron áreas específicas en las que se necesita la experiencia de ambas disciplinas, como en el análisis estadístico, el estudio de arbolado urbano y la aplicación de metodologías participativas.

En cuanto a la formación, se cumplieron las expectativas del proyecto a través de la realización de tesis de posgrado en las temáticas planteadas, varias de las cuales han sido ya finalizadas exitosamente.

Se considera muy valioso el trabajo en el marco de la integralidad de funciones universitarias que propició el proyecto, como el desarrollo de nuevas propuestas de cursos de grado y posgrado, así como una articulación novedosa de actividades en el medio.

* * *

Referencias bibliográficas

García, R., 2011. Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de metodología de las ciencias Sociales*, 1(1), pp.66-101.

Goñi Mazzitelli, M, Vienni, B., Ferrigno, F and Guedes, P, 2018. Modalidades de trabajo en equipos interdisciplinarios: formatos, conceptos y dificultades, una mirada desde Uruguay.

Nissani, M. 1995. Fruits, Salads, and Smoothies: A Working Definition of Interdisciplinarity. *Journal of Educational Thought (JET) / Revue de la Pensée Éducative*. Vol. 29, No. 2. pp. 121-128.

O'Brien, Karen L., and Johanna Wolf.
"A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1, no. 2 (2010): 232-242.

Phillipson, J., Lowe, P. and Bullock, J.M., 2009. Navigating the social sciences: interdisciplinarity and ecology. *Journal of Applied Ecology*, 46 (2), pp.261-264.

Torres-Lima, P, Ramírez, M.E.C., Valdiviezo, A.C., del Carmen Ramírez-Hernández, M., Castillo, L.R., Lerín-Gutiérrez, M. and Duarte-Yuriar, S., 2012. Environmental design with an interdisciplinary approach. Two case studies from Mexico. *Interciencia*, 37(4), pp.317-324.

Wallen, K.E., Filbee-Dexter, K., Pittman, J.B., Posner, S.M., Alexander, S.M., Romulo, C.L., Bennett, D.E., Clark, E.C., Cousins, S.J., Dubik, B.A. and Garcia, M., 2019. Integrating team science into interdisciplinary graduate education: an exploration of the SESYNC Graduate Pursuit. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 9, pp.218-233.

Anexo I — Pauta de entrevista

- 1 —¿Cómo fue tu involucramiento en el proyecto?
- 2 —¿Qué expectativas recuerdas que tuvieras al comenzar este proyecto interdisciplinario?
- 3 —¿Qué experiencias y conocimientos valiosos identificas resultado del trabajo con colegas de otras disciplinas?
- 4 —¿Hay nuevos conceptos o metodologías que hayas incorporado a tu quehacer académico a partir de la experiencia de trabajar con colegas provenientes de otras disciplinas?
¿Podrías contarnos sobre alguna en específico?
- 5 —¿Cómo surgió la necesidad de trabajar entre estas disciplinas?
¿A partir de una demanda concreta o una problemática en particular o de una necesidad académica?
- 6 —¿En qué aspectos consideras que se complementan, se necesitan o generan una visión común las disciplinas involucradas en el proyecto?
- 7 —¿Qué dificultades encontraste?
- 8 —¿Qué metodología utilizaron para el trabajo interdisciplinario?
¿Identificas etapas dentro de ese proceso de trabajo conjunto?
- 9 —¿Cómo caracterizarías a ese trabajo conjunto entre disciplinas?
- 10 —¿Cómo fue la comunicación?¿Encontraron alguna dificultad?
¿Tuvieron que hacer un proceso de encontrar un lenguaje común?

Capítulo 2

Desempeño ambiental y cambio global: hacia la evaluación ambiental, social y económica del diseño habitacional.

María Noel López Salgado ¹

¹ Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Instituto de Tecnología, Departamento de Ambiente Construido, Área de Clima y Confort. Udelar

Palabras clave:

cambio global, evaluación ambiental, análisis sustentable del ciclo de vida, vivienda social

Resumen:

El planeta está sometido a presiones de origen humano nunca antes conocidas por su velocidad y magnitud de impacto.

La Tierra sufre un cambio global acelerado y cambios en sus ciclos vitales, estas variaciones están teniendo lugar, en espacios de tiempo tan cortos para la evolución del planeta como décadas; y es una única especie, "el hombre", el gran motor de todo. Desde una perspectiva ambiental, los edificios son una de las máquinas que producen el mayor impacto ambiental, la construcción no incorpora un estudio ambiental, energético y de recursos en todo su ciclo (proyecto, construcción, uso, demolición y disposición final).

Este artículo busca avanzar en el análisis de las metodologías para el desempeño ambiental de programas de vivienda social, a través del análisis crítico-comparativo de herramientas de evaluación ambiental, siendo insumos para el diseño arquitectónico y aportando a sectores (políticos) tomadores de decisiones. Se utiliza como técnica de investigación el estudio teórico de las metodologías ambientales, a través de lo cual se caracterizan y diagnostican dichas herramientas. Como resultado se obtiene que la herramienta de análisis sostenible del ciclo de vida es la que mejor responde al análisis ambiental, económico y social en condiciones de cambio global, aunque existen escasos antecedentes en su aplicación.

Introducción

Nuestro planeta está sometido a presiones de origen humano nunca antes conocidas por su velocidad y magnitud de impacto.

En este artículo se plantea discutir sobre dos posibles forzantes de estas presiones: el calentamiento global y las alteraciones de los ciclos vitales de la naturaleza, para brindar herramientas a los diseñadores que minimicen los impactos negativos de las viviendas sociales.

La Tierra sufre un cambio global acelerado, es decir variaciones en sus procesos funcionales afectadas por la actividad humana (Duarte, 2006). El cambio es una condición inherente al sistema Tierra, pero hay dos características únicas en la historia del planeta: la rapidez con la que las variaciones están teniendo lugar, en espacios de tiempo tan cortos para la evolución del planeta como décadas; y el hecho de que una única especie, "el hombre", es el motor de todo.

Este ritmo acelerado no se acompaña con los ciclos naturales, ya que estos van mucho más lento. La causa esencial de estos cambios, es el sistema de producción y consumo económico capitalista, por lo que es una necesidad cambiar o repensar todos los procesos productivos, entre ellos la construcción. Es así que es imprescindible pensar el diseño a partir del desarrollo sustentable, que es "aquel que responde a las necesidades del presente de forma igualitaria pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras". El mayor contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que son uno de los forzantes más importantes de los sistemas ambientales, es el entorno construido, que representa hasta el 50% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono, pero además consume el 40% de los materiales que entran en la economía global (IPCC, 2014).

En Uruguay son apenas incipientes, según existe un gradual pero persistente aumento de la temperatura, se establece además un aumento de eventos extremos: sequías, inundaciones y tormentas (Renom, 2009).

Desde una perspectiva ambiental, los edificios son una de las máquinas que producen el mayor impacto ambiental. De esta manera, si la construcción no incorpora un estudio ambiental, energético y de recursos en todo su ciclo (proyecto, construcción, uso y derribo) y en condiciones de cambio global se seguirán reproduciendo las presiones en los ciclos biogeofísicos del planeta. Se debe pasar al diseño amigable con el ambiente que coloque uno de sus focos en minimizar los impactos negativos ambientales, sociales y económicos.

Dentro de los programas arquitectónicos la vivienda es la más grande inversión que buena parte de los hogares hacen a lo largo de toda su vida (Cuervo y Jaramillo, 2009).

La vivienda social es un tipo de bien especial, por lo tanto es esencial que se minimicen los impactos ambientales, económicos y sociales negativos porque es una población muy susceptible a los cambios globales. A lo largo del tiempo, se han diseñado diferentes metodologías para evaluar el impacto ambiental.

En Uruguay, dentro del sector de la edificación destaca la aparición de la herramienta diseñada por la Intendencia de Montevideo para la evaluación de proyectos de construcción en el sector residencial: Modelo de Sustentabilidad Ambiental de la Vivienda (SuAmVi) que busca la evaluación ambiental de edificios residenciales (IM, 2011). Constituye un método de evaluación sin parámetros todavía que centra su atención en aspectos ambientales y no incorpora criterios sociales ni económicos. Aunque en el contexto uruguayo a nivel estatal aún sigue primando el criterio económico (coste inicial y ahorro de costos económicos iniciales) por sobre otros. Muchas veces esto es debido a la falta de indicadores concretos para evaluar un proyecto sobre otro o la escasez de sistematizaciones de evaluaciones ambientales aplicadas a la vivienda.

Herramientas de evaluación ambiental en edificaciones

En los últimos 30 años han surgido innumerables herramientas de evaluación, aunque la evaluación ambiental del sector de la construcción es compleja, por ser una industria artesanal donde la producción, manufactura de los materiales, y demolición es limitada y casi única. La evaluación implica una medición de un edificio de cómo se desempeña o puede llegar a desempeñarse, en base a un conjunto de criterios declarados (Quesada, 2019).

En Crawley y Ilari. (1999), se expone que hay dos metodologías básicas para evaluar el impacto ambiental de un objeto dado: la *Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)* y el *Análisis del Ciclo de Vida (ACV o LCA)*. En principio ambos comparten el objetivo de inventariar y evaluar los impactos ambientales. En la EIA, el foco se pone en la evaluación de los impactos ambientales reales de un objeto ubicado en un sitio determinado y en un contexto dado, mientras que el ACV está formulado para evaluar los impactos ambientales potenciales no específicos del sitio de un producto, independientemente de dónde, cuándo o por quién se usó aunque esto es relativo ya que se debe indicar de dónde vienen los productos. Claramente el edificio responde a un lugar, un clima, por lo que debería ser evaluado por la EIA, aunque es básicamente una metodología cualitativa de impactos operacionales y se aplica a proyectos de gran escala, que generan importantes impactos económicos. La EIA se utiliza para la escala del programa y/o el proyecto arquitectónico y evalúa básicamente el proyecto en la etapa de operación. En primera instancia se puede utilizar para evaluar un edificio, aunque una de las críticas centrales es que los impactos son solicitados a especialistas de consultoras privadas involucrados en el proyecto, pudiendo determinar sesgos en las evaluaciones y poca participación de la sociedad civil. También tenemos la *Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)*, que es una herramienta que se utiliza para cuantificar impactos pero en la escala de los planes, por lo que no es adecuada para un proyecto arquitectónico.

El ACV es un proceso objetivo que nos permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental (Klöpffer, W. 2006). Esta metodología incluye el ciclo completo, desde la extracción de materias hasta la disposición final. Su práctica y difusión actual la posicionan como un instrumento cada vez más eficiente y reconocido científicamente, y muchas de las certificaciones ambientales de diseño, como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) o BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) tienen a atrás la metodología del ACV. La ACV actualmente se transforma en el Análisis de Sustentabilidad del Ciclo de Vida (ASCV), ya que combina la evaluación ambiental, económica y social.

Sistema habitacional uruguayo del SXXI

En Uruguay se entregan viviendas por parte del Estado sin evaluarlas ambientalmente. El Sistema Público de Viviendas está encabezado por la Dirección Nacional de Vivienda (DINAVI) del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial (MVOT). El MVOT establece quinquenalmente un plan de priorización de las políticas habitacionales.

Si se analizan los programas habitacionales públicos de mayor construcción en el S XXI, a través de los planes quinquenales de vivienda (2000-2004; 2005-2009; 2010-2014; 2015-2019 y 2020-2024), (ver figura 1), los programas de mayor cantidad de viviendas son las cooperativas de viviendas, las viviendas de interés social o promovidas y los realojos, abarcando el 54% de lo construido en estos años.

Figura 1.

Cantidad de viviendas públicas construidas en el S. XXI.

Fuente: elaboración personal.

	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	2020-2024	Totales	%
Viviendas y/o soluciones habitacionales nuevas construidas	8529	17682	25434	47557	46652	172854	100
	100%	100%	100%	100%	100%		
Cooperativas	1924	5531	9697	14358	12501	44011	25,46
	23%	31%	38%	30%	27%		
Precio, proyecto terreno I Vivienda 1d, 2d, 3d y 4d	220	2294	3545	0	13058	19117	11,06
	3%	13%	14%	0%	28%		
Realojos asentamientos / Programa mejoramiento I de barrios	600	802	2785	13411	5119	22717	13,14
	7%	5%	11%	28%	11%		
NBE y NBE Mejorado	3317	0	0	0	0	3317	1,92
	39%	0%	0%	0%	0%		
SIAV	0	3029	0	0	0	3029	1,75
	0%	17%	0%	0%	0%		
MEVIR	1039	4775	5317	3724	2250	17105	9,90
	12%	27%	21%	15%	5%		
Vivienda Jubilados	1429	1251	1590	499	607	5376	3,11
	17%	7%	6%	2%	1%		
Plan Juntos	0	0	0	3065	1117	4182	2,42
	0%	0%	0%	15%	2%		
Vivienda VIS I promovidas	0	0	2500	12500	12000	27000	15,62
	0%	0%	10%	26%	26%		

2005

2015

*Reestructura sistema público de vivienda
Gobierno Frente Amplio
Cambios políticas institucionalidades*

Objetivo

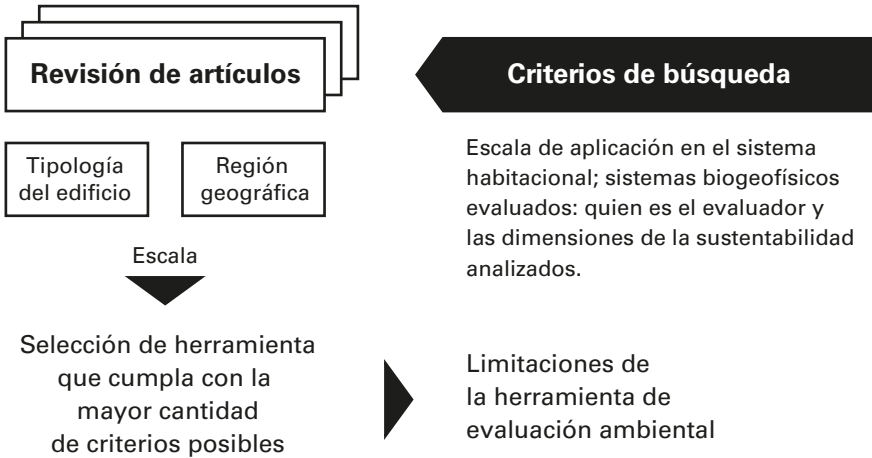
Este artículo presenta un análisis crítico de algunas Metodologías de Evaluación Ambiental (MEAs) para la determinación de impactos ambientales y valoración del diseño de la vivienda social en contextos de cambio global.

Metodología

De acuerdo con Monterotti, (2013), las MEAs existentes no deberían ser aplicadas en sus formatos originales en cualquier contexto. Se seleccionan estas metodologías por ser las más abordadas a escala edilicia (A. Forsberg et al.2006 y Cole 1999). Por este motivo en una primera etapa se comparan las distintas MEAs a partir de determinados criterios en diversos artículos que abordan estos temas: escala de aplicación en el sistema habitacional, sistemas biogeofísicos evaluados, quien es el evaluador y dimensiones de la sustentabilidad analizados. La escala de aplicación de la metodología en el sistema habitacional: se convierte en un elemento básico a la hora de comprender la realidad. El otro criterio que se analiza es identificar qué sistemas ambientales son evaluados, le sigue la identificación de quien es el que evalúa, prosigue el tipo de impacto operacional (sólo consideran el edificio en uso) o incorporados (de la cuna a la tumba), después las áreas de las sustentabilidad que se consideran para terminar con los impactos desde los materiales hasta la demolición.

En lo que respecta a la vivienda es central la escala del proyecto y del programa, que considere todos los sistemas ambientales, sobretudo en la escala de proyecto, siendo deseable que terceros al proyecto evalúen el mismo, pero que además considere todos los aspectos de la sustentabilidad desde la cuna a la tumba. En la segunda etapa se recopilan las aplicaciones de la metodología mejor evaluada en la vivienda social, ver figura 2.

Figura 2.
Esquema del desarrollo metodológico desarrollado.



Resultados

La comparación de todas las metodologías ambientales muestra que, todas tienen limitaciones en sus enfoques. En general, los MEAs sólo aplican las herramientas de medida de eficiencia energética y de carbono además utilizan en el inventario específico de las tipologías de construcción, que se basan en las zonas climáticas específicas (Cornejo, 2016). Los impactos ambientales evaluados por estas herramientas se reducen a una sola o dos de las dimensiones de la sustentabilidad. En el caso del diseño de un edificio, la elección de algunos materiales, por ejemplo, puede ser preferible durante su fase de construcción; sin embargo, puede causar problemas durante la fase de demolición debido a su manejo, ver *Figura 2*. En consecuencia, es necesario aplicar conceptos que permitan enfoques multicriterio que consideren no solo los impactos operacionales sino los impactos incorporados, lo social y lo económico.

Figura 3.

Comparación de herramientas de evaluación ambiental.

Fuente: elaboración personal.

		Certificaciones Ambientales	EIA	EAE	ASCV
Escala de aplicación <i>Fuente:</i>	Proyecto	X	X		X
	Programa			X	X
	Plan			X	
Sistema ambientales evaluados <i>Fuente:</i>	Política			X	
	Agua	(X)	X	X	X
	Suelo	(X)	X	X	X
	Aire	(X)	X	X	X
	Pasaje		X		X
	Residuos	(X)			X
Tipos de evaluación <i>Fuente:</i>	Expertos	(X)			X
	Expertos invol.		X		
	Expertos adm.	X		X	
Tipos de impacto <i>Fuente:</i>	Operacionales	X	X	X	X
	Incorporado				X
Escala de analisis <i>Fuente:</i>	Urbana	(X)			X
	Meso escala	(X)		X	X
	Escala proyecto	(X)	X	X	X
Dimensiones de sustentabilidad <i>Fuente:</i>	Ambiente	X	X	X	X
	Económica			(X)	X
	Social			X	X
Fases de analisis <i>Fuente:</i>	Materias primas				X
	Diseño	X	X	X	X
	Obra				X
	Funcionamiento	X	X	X	X
	Fin de vida				X

Referencias: X lo aplica (X) lo aplica parcialmente

X

X

Del análisis de la *Figura 3*, se desprende que la herramienta mejor evaluada es el ASCV, aunque la literatura de referencia reconoce la complejidad y dificultad de su aplicación principalmente por lo engorroso de la recopilación de datos.

La aplicación del ACV en vivienda en el contexto latinoamericano sigue siendo limitada (Soust-Verdaguer, 2020) y limitada básicamente a los aspectos ambientales. Esto principalmente se debe a diversas barreras que impiden su utilización, por ejemplo, la inexistencia o limitada existencia de datos adaptados al contexto de aplicación, así como la cantidad de supuesto que se deben asumir asociada a la falta de datos. Soust-Verdaguer et al. (2020) y Soust-Verdaguer et al. (2022) evalúan comparativamente viviendas en Uruguay a través de la aplicación del ACV, demuestran que los mayores impactos ambientales se producen en las fases de producto y de uso.

En su tesis Hernández Sánchez (2013) propone una modificación al ACV al aplicarla a una vivienda en España, incorporando lo social y lo económico. Así como la limitada existencia de valores de referencia y valores objetivos que permitan dar sentido y orientar la aplicación de este tipo de metodologías hacia la práctica y durante la fase de diseño (Soust-Verdaguer, 2020). Klöpffer (2008) es quien aplica y evalúa todos los aspectos de la sustentabilidad aunando: el Análisis del Ciclo de Vida (Ambiental) (ACV), el Costo del Ciclo de Vida (CCV) y el Ciclo de Evaluación Social (S-ACV), comienza así el ASCV.

La ASCV sería entonces un marco transdisciplinario para la integración de modelos. Llatas et al (2020) evidencian que el ASCV, es escasamente aplicado en la edificación, siendo una de las principales barreras para la aplicación del ASCV en la edificación: la recopilación de datos, especialmente para fines económicos y aspectos sociales. Si bien el ASCV, incorpora otras dimensiones de la sustentabilidad, se indica que sería deseable que se incorporen aspectos más cualitativos.

Esto es muy difícil debido a que se trata de un método que requiere la utilización de una gran cantidad de datos y que resulta difícil incorporar indicadores cualitativos, debido principalmente a la componente subjetiva y la necesidad de generar reglas claras para permitir la comparación. Una posibilidad podría ser mapear el diseño tipológico, su vínculo con el mayor o menor impacto asociado, ver *Figura 4* primera aproximación en este sentido.

Figura 4.
Mapeo tipológico de los programas habitacionales de mayor cantidad de viviendas en Montevideo.



Conclusiones

La mayoría de MEAs se caracterizan por la limitación de los enfoques, aunque es la ACV la metodología mayormente reconocida a nivel internacional para ser aplicada a productos del sector de la construcción porque sirve como herramienta para la toma de decisiones en las etapas de diseño y construcción del edificio. Es reconocida como la más completa para evaluar los impactos ambientales, al tiempo que aún encierra prejuicios sobre su complejidad y esfuerzo en la recopilación de datos (Nwodo y Anumba, 2020). Del análisis de las MEAs se desprende que es fundamental que los métodos superen su enfoque ambiental e incluyan aspectos sociales y económicos en sus evaluaciones, para lo cual se debe ampliar la escala de evaluación, integrando a la edificación su entorno urbano y sus usuarios por lo que es deseable aplicar la ASCV pero incorporando aspectos cualitativos de evaluación por ejemplo lo funcional en las tipologías. La incorporación de aspectos cualitativos es la limitante y una posible línea de trabajo futura.

* * *

Referencias bibliográficas

- Cornejo, C., 2016. Sostenibilidad, Arquitectura y Evaluación.
- Ding, G.K., 2008. Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of environmental management*, 86(3), pp.451-464.
- Duarte, C.M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., Ríos, A.F., Simó, R. and Valladares, F., 2006. Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- Forsberg, A. and Von Malmborg, F., 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. *Building and environment*, 39(2), pp.223-228.
- Hernández Sánchez, J.M., 2013. Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios.
- Hu, M., Kleijn, R., Bozhilova-Kisheva, K.P. and Di Maio, F., 2013. An approach to LCSA: the case of concrete recycling. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, pp.1793-1803.
- Intendencia de Montevideo, 2011. SuAmVi [WWW Document]. URL <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/modelosuasamvi1ra.edicion1.pdf>
- Change, I.C., 2013. The physical science basis. . Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Klöpffer, W., 2006. The Hitch Hiker's Guide to LCA-An orientation in LCA methodology and application. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), pp.142-142.

Llatas, C., Soust-Verdaguer, B. and Passer, A., 2020. Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach. *Building and Environment*, 182, p.107164.

Monterotti, C., 2013. Análisis y propuesta sobre la contribución de las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios a su eficiencia ambiental.

Nwodo, M.N. and Anumba, C.J., 2020. Exergetic life cycle assessment: A review. *Energies*, 13(11), p.2684.

Quesada Molina, F., 2018. Development of new building sustainability assessment methods from the revision of the state of art. *ACE-ARCHITECTURE CITY AND ENVIRONMENT*, 13(37), pp.51-+.

Cole, R.J., 1999. Building environmental assessment methods: clarifying intentions. *Building Research & Information*, 27(4-5), pp.230-246.

Renom Molina, M., 2009. Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Pombo, O., Rivela, B. and Neila, J., 2016. The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner production*, 123, pp.88-100.

Serrano, A., Molina, F.O., Catalán, M.L., Mena, V.G. and Valdez, D.O., 2015. Sobre la evaluación de la sostenibilidad de materiales de construcción. ASRI: Arte y sociedad. Revista de investigación, (9), p.13.

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. and Moya, L., 2020. Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage. Journal of Cleaner Production, 277, p.121958.

Soust-Verdaguer, B., Moya, L. and Llatas, C., 2022. Evaluación de impactos ambientales de viviendas en madera: El caso de “La casa Uruguaya”. Maderas. Ciencia y tecnología, 24.

Capítulo 3

Caracterización de la evapotranspiración de referencia en Uruguay

Sofía Alvariño¹, Rafael Terra² y Gabriela Cruz³

¹ Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República, Uruguay.

² Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

³ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

ET0, sequías, tendencias climáticas

Resumen:

La sequía es el evento de origen climático de mayor impacto en la producción agropecuaria, se caracteriza por un período persistente de precipitación anormalmente deficiente y suficientemente prolongado como para provocar un desbalance hídrico. Si bien las precipitaciones serían el factor determinante en la ocurrencia de las sequías, se ha demostrado que la evapotranspiración tiene un rol importante.

Las precipitaciones han sido estudiadas tanto en el país como en la región, sin embargo, la evapotranspiración no ha sido lo suficientemente estudiada y en un contexto de cambio climático, cobra importancia su estudio. Se estimó la evapotranspiración de referencia (ET0) según Penman-Montieth, utilizando datos diarios provenientes de las estaciones meteorológicas de INIA (La Estanzuela, Las Brujas y Treinta y Tres) y de INUMET (Paysandú, Melo, Rocha y Mercedes) para el período 1991-2015.

Se calculó la tendencia de los acumulados de ET0, ET0-Precipitación (ET0-P) anual, multiestacional y estacional, así como en rachas de 20, 40 y 60 días. En el caso de las rachas, también se calculó la tendencia de la anomalía de ET0 (ET0-ET0_{climática}). Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar la variable meteorológica de mayor influencia en la variabilidad del acumulado anual de ET0. Se constató una tendencia positiva de ET0 a nivel anual, multiestacional y estacional, en particular en primavera y verano. Sin embargo, al incluir la precipitación en el análisis (ET0-P), solamente los períodos que contienen al otoño mantuvieron una tendencia positiva. En el análisis de las rachas se verificó una tendencia positiva y significativa en ET0 y ET0-ET0_{climática} para varias localidades en los tres períodos (20, 40 y 60 días).

En las rachas de ET0-P la tendencia positiva se mantuvo en general, aunque disminuyó la significancia estadística. Del análisis de sensibilidad resultó que la temperatura mínima es la variable que más influyó en la variabilidad interanual de ET0 en el período estudiado.

Introducción

Sequías

La sequía es el evento de origen climático de mayor impacto en la producción agropecuaria (World Meteorological Organization, WMO, 1994), es comúnmente caracterizada por un período persistente de precipitación anormalmente deficiente (WMO, 1992) y suficientemente prolongado como para provocar un significativo desajuste en el balance hidrológico (American Meteorological Society, 1997).

Desde el punto de vista agronómico, la sequía se produce cuando el nivel de almacenaje de agua en el suelo es lo suficientemente bajo como para afectar el desarrollo y mantenimiento de las plantas, por ello es importante su caracterización en duración, frecuencia e intensidad.

En Uruguay, según datos oficiales presentados en el Anuario Estadístico Agropecuario elaborado por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2017), el sector agroindustrial en este año tuvo una participación del 8,9 % del Producto Interno Bruto (PIB), de los cuales el 6 % corresponde al sector agropecuario y el 2,9 % restante a las industrias asociadas al agro. En este contexto se ha identificado a las sequías como el principal factor agrometeorológico de impacto detrimental (MGAP-FAO, 2013).

Los efectos de una sequía resultan diferentes según ocurra en épocas que determinan o condicionan el producto a cosechar, por ejemplo, la producción de granos para consumo humano o animal, o la cosecha de forraje que realizan los rumiantes en un pastizal.

En la producción ganadera es fundamental la producción de pasturas en los meses de primavera ya que es el momento de mayor producción de forraje (MGAP-FAO, 2013). Esta productividad puede alterarse por un factor de hasta cinco debido la variación climática interanual.

En las sequías ocurridas en 2005-2006 y 2008-2009, el indicador de tasa de preñez a nivel nacional disminuyó entre un 10 a 15 %, la tasa de mortalidad se elevó sustancialmente y, adicionalmente, se produjo una pérdida de mejoramientos forrajeros (MGAP-FAO, 2013).

En cuanto a la producción lechera, Astigarraga (2004) estimó que el impacto de las sequías es importante principalmente en primavera-verano ya que se produce el 70 % del forraje.

En la agricultura, la deficiencia de agua es importante en los períodos críticos de los cultivos (Doorembos et al., 1976). El déficit hídrico en primavera limita el crecimiento de los cultivos de invierno (MGAP-FAO, 2013), y cuando ocurre en los meses de enero, febrero o marzo, afecta a los cultivos de verano, principalmente maíz y soja (Minetti, 2006).

La evapotranspiración de referencia (ET₀) puede utilizarse como una medida de la necesidad del riego, ya que implica movimientos de agua desde la tierra hacia la atmósfera (evaporación) y la transpiración de las plantas. Conocer los requerimientos de agua de riego ayuda a los productores a mejorar el uso del agua, aumentar sus rendimientos y reducir el consumo de energía (Ghiat et al., 2021).

En el caso agropecuario, es importante entonces considerar períodos de déficit hídrico de corta duración en días (en este trabajo le llamamos rachas), por sus efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de los pastizales y los cultivos, así como también en algunos casos, para adecuar las necesidades de riego.

Si bien la precipitación sería el principal factor determinante de la ocurrencia de eventos secos, estudios han demostrado que la evapotranspiración juega un rol importante en la severidad de dichos eventos (Vicente-Serrano et al., 2010; 2011; 2017) y teniendo en cuenta un escenario de cambio climático, que se caracteriza por un aumento de las temperaturas (Barros et al., 2006, Vincent et al., 2006) y cambios en la precipitación (Barros et al., 2006, Giménez, 2006), es de interés conocer la evolución de la evapotranspiración de referencia.

Son muy escasos los antecedentes sobre la posible tendencia de la ET0 en el contexto de cambio climático actual, tanto para Uruguay como a nivel internacional. Por esta razón, es necesario en primer lugar encontrar patrones climáticos temporales y espaciales de un período reciente y suficientemente extenso, para poder interpretar luego el comportamiento de la ET0 en períodos cortos. En este sentido, se plantea en este trabajo comenzar por una caracterización de la ET0 para 25 años en Uruguay y posteriormente analizar períodos secos de corta duración (rachas secas), aunque no necesariamente estén alineados con los meses calendario.

Se entiende que esto permitirá identificar posibles tendencias de ET0 independientemente de su comportamiento estacional esperado, por lo que amerita analizar el comportamiento de la anomalía de la ET0 (ET0-ETClimatológica) en las rachas secas.

Entonces, la contribución de este trabajo es aportar información sobre la evolución reciente de la ET0 en Uruguay a distintas escalas temporales, para ser utilizada tanto a nivel climatológico como agronómico en estudios sobre sequías. Se aporta también acerca de su caracterización espacial.

Evapotranspiración de referencia o ET0

La Evapotranspiración de referencia está determinada por condicionantes del balance de energía en superficie y factores aerodinámicos. La condicionante energética depende del flujo de radiación en superficie y la temperatura del aire; los factores aerodinámicos dependen del contenido de vapor de agua y la velocidad de viento.

En Uruguay, la ET0 se caracteriza por una fuerte variación estacional, con un máximo en verano y un mínimo en invierno (relación 7:1) como respuesta a la evolución anual de la radiación solar.

Como se mencionó, los antecedentes de variación interanual y/o tendencia de la ET0 para Uruguay son muy escasos. Sin embargo, existe un antecedente reciente donde se analizó la tendencia en cinco puntos de Uruguay para el período octubre – febrero de 1973 a 2011, encontrándose resultados disímiles (MGAP-FAO, 2013).

La evapotranspiración de referencia se define como la evapotranspiración de una superficie vegetal herbácea, de una altura de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70s m-1 y un albedo de 0,23.

La superficie es similar a una superficie de pasto verde bien regada, de altura uniforme y dando sombra totalmente al suelo (Allen et al., 1998).

La ecuación de Penman-Montieth es uno de los métodos utilizados para el cálculo de la demanda atmosférica ya que tiene buena precisión tanto en climas áridos como húmedos y tiene en cuenta todas las variables que la determinan: radiación neta, temperatura del aire, contenido de vapor de agua y velocidad de viento. Esta ecuación combina el balance de energía con el método de transferencia de masa; deriva en una ecuación para calcular la evapotranspiración de una superficie abierta de agua a partir de datos meteorológicos (horas de sol, temperatura, humedad atmosférica y viento).

El método fue ampliado agregándole factores de resistencia para diferentes cultivos, como la resistencia superficial (r_s) que es la resistencia por parte de los estomas, del área total de la hoja y de la superficie del suelo; y la resistencia aerodinámica (r_a) que es la resistencia de la parte superior de la hoja e incluye la fricción del aire.

Balance hídrico del suelo

Una metodología muy utilizada para estimar el contenido de agua de un suelo y las deficiencias hídricas es la del balance hídrico (BH) (Thornthwaite y Mather, 1967). Para nuestro clima, la variación a lo largo del año de la ET₀ es muy grande ya que está en un 80 % determinada por causas astronómicas (radiación neta y temperatura).

En este sentido, y considerándose que la variabilidad interanual de las precipitaciones siempre fue elevada, una práctica común al realizar el BH de un suelo es incluir datos observados de lluvia y datos climáticos de ET₀. Estos valores climáticos se obtienen calculando la ET₀ con datos medios (período normal) de cada variable meteorológica incluida. Si se trata de un balance seriado, donde se computan los valores para períodos (meses, décadas, días) de años particulares, se repiten los mismos valores de ET₀ en cada período de los distintos años, y los datos que cambian para cada período/año son los de la precipitación.

Esta práctica puede no ser adecuada actualmente en el contexto del cambio climático, ya que el aumento de temperatura reportado (Barreiro et al., 2019, Giménez, 2009) podría implicar un aumento en los valores de ET₀. Aunque las causas astronómicas (radiación solar incidente) no han cambiado, sí lo ha hecho la temperatura del aire (aumento) debido al aumento en la concentración de gases con efecto invernadero, con el consecuente aumento de la radiación de onda larga que recibe la superficie.

Adicionalmente, como la evapotranspiración de referencia depende de muchas variables meteorológicas, su cálculo diario tiene una dificultad logística e instrumental ya que se requiere gran cantidad de datos con buena cobertura espacial y temporal. Las variables meteorológicas que se utilizan para el cálculo de la ET₀ podrían tener evoluciones disímiles en el tiempo, por tanto, la evolución de la variable derivada (ET₀) no puede deducirse inmediatamente de la de sus componentes.

Materiales y Métodos

Localidades incluidas

Para las condiciones de Uruguay, la estimación de ET₀ requiere considerar, además del balance de energía, a la humedad y el viento. Por esto, en este trabajo se seleccionó el método de Penman-Montieth que se describe a continuación:

Para el cálculo de ET₀ se recuperaron y digitalizaron datos diarios provenientes del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET), desde 1991 al 2015 de: Artigas, Paysandú, Melo, Mercedes y Rocha. También se accedió a la información meteorológica proveniente del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) desde 1991 al 2014 de: Treinta y Tres, La Estanzuela y Las Brujas.

En un principio se consideró la localidad de Salto ya que se contaba con datos de INUMET, pero estos fueron descartados ya que en el período de tiempo estudiado la estación meteorológica tuvo cambios de ubicación. Posteriormente se consideraron los datos de INIA, aunque al realizar los cálculos se verificó que estaban influenciados por el embalse de Salto Grande (Cruz et al., 2018).

Por lo tanto, no pudo incluirse en el estudio la información de esa localidad. Tampoco se consiguieron datos de suficiente extensión y/o calidad para localidades ubicadas en el centro del país.

Datos y ecuación de estimación de ET0

Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad de viento a 2 m, heliofanía relativa, humedad relativa y precipitación. Se realizó control de calidad y homogeneidad de las series de datos de cada localidad (Skansi et al, 2014).

El cálculo se realizó con la fórmula de ET0 de Penman-Montieth (Allen et al.,1998) a nivel diario:

$$ET0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \frac{900}{T+273} u2 (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u2)}$$

Donde:

Rn: representa a la radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m2/día) y se calculó a partir de la heliofanía relativa utilizando los coeficientes de Angstron (Allen et al., 1998) obtenidos en el mapa solar específico para cada localidad (Abal et al., 2011).

G: representa el flujo de energía en suelo (MJ/m2/día) y se considera 0 para cálculos diarios (Allen et al., 1998)

T: representa la temperatura media del aire (°C) al abrigo meteorológico

u2: es la velocidad de viento a 2 m de altura (m/s).

En nuestro caso, cuando se disponía solamente de la información de velocidad del viento a 10 m, se realizó la siguiente adaptación propuesta por Allen et al. (1998):

$$u2 = u10 \frac{4,87}{\ln(67,8-5,42)}$$

$$u2 = u10 \frac{4,87}{\ln(67,8-5,42)} \text{ siendo } u10 \text{ la velocidad de viento a 10 m}$$

es representa la presión de vapor de saturación (Kpa) a la temperatura dada

ea representa la presión real de vapor (Kpa) y se obtuvo por: $e = HR/100 * es$.

Se consideró la humedad relativa de las 9 a.m. como indicador de la HR media (Saravia et al., 2011).

γ : pendiente de la curva de presión de vapor en función de la temperatura (Kpa/°C)

Γ : Constante psicométrica (Kpa/°C).

Metodología de caracterización de ET0

Se calculó el acumulado anual de ET0, el estacional (verano, otoño, primavera e invierno) y combinaciones de estaciones-multiestacionales (primavera-verano, verano-otoño y primavera-verano-otoño). Las estaciones del año se consideraron como: verano (diciembre, enero, febrero), otoño (marzo, abril y mayo), invierno (junio, julio y agosto), primavera (setiembre, octubre, diciembre).

El mismo cálculo se realizó para las diferencias de ET0 – Precipitación (ET0-P).

En todos los casos se calculó el coeficiente de regresión y se realizó el test de Mann-Kendall (1975) para verificar si hay tendencia positiva o negativa y el nivel de significancia.

Metodología de identificación de rachas secas

Se calcularon rachas secas de ET0 para períodos de 20, 40 y 60 días. Se definió como “racha seca” al máximo acumulado de ET0 en 20, 40 y 60 días en cada año. Estos máximos acumulados de ET0 se identificaron a través de ventanas móviles utilizando el programa estadístico MATLAB (2017). Este procedimiento se fundamenta en que la ocurrencia de los máximos acumulados de ET0 no necesariamente estarían asociados a los meses calendario, si bien es de esperar que sucedan en el período caluroso del año.

El mismo cálculo se realizó para las diferencias de ET0 – Precipitación (ET0-P) y para la anomalía de ET0 ($ET0 - ET0_{\text{climatológica}}$).


Resultados

Acumulados anuales, multiestacionales y estacionales

ET0

En la gran mayoría de las localidades se verificó una tendencia al aumento de ET0 anual, multiestacional y estacional (Cuadro 1). En un número importante de casos, la tendencia fue significativa al 95 % e incluso al 99 %. Los valores mayores y más significativos se dieron en períodos que contienen las estaciones de primavera y verano.

	Anual	P-V-O	P-V	V-O	V	O	P	I
Paysandú	1,18**	1,50**	1,78**	1,45**	2,20*	0,96	1,53*	0,26
Las Brujas	0,74*	0,87	0,7	1,13	1,07	1,20**	0,33	0,40
La Estanzuela	0,71**	0,78*	0,91**	0,75**	0,98*	0,52	0,84*	0,52**
Melo	0,72	0,94	1,30*	0,87	1,52**	0,22	1,07**	0,11
Artigas	0,66	0,97	0,81	1,35	1,52*	1,28	0,11	- 0,22
Treinta y Tres	0,43	0,44	0,38	0,48	0,41	0,56	0,35	0,41*
Rocha	0,35	0,39	0,52	0,42	0,69	0,15	0,35	0,22
Mercedes	0,06	0,19	0,33	0,23	0,55	- 0,07	0,11	- 0,32

Tendencia - |  Tendencia +

* 90% de significancia ** 95% de significancia *** 99% de significancia

Cuadro 1:

Coefficientes de regresión lineal de acumulados anuales, multiestacionales y estacionales de ET0 (0,01mm/año/día)(P: primavera, V: verano, O: otoño, I: invierno). Significancia estadística y tendencia (colores) según test de Mann Kendall.

Desde el punto de vista espacial, en el invierno se observó un aumento leve en el sur del país, explicado por la tendencia encontrada en La Estanzuela y Treinta y Tres.

Se verificaron claras tendencias espaciales en verano e invierno (no mostrado), pero no resultó claro el gradiente para las estaciones intermedias (otoño y primavera, no mostrado). Debe recordarse que no se dispuso de la información necesaria que permitiera representar algún punto del centro del país. Es deseable que, en trabajos posteriores y una vez obtenida una serie de datos con la suficiente extensión y calidad, se representen las tendencias espaciales para otoño y primavera

ET0-P

Cuando analizamos ET0-P se observa que la mitad de las localidades y períodos revirtieron la tendencia positiva, que resultó cancelada por las tendencias de aumento en la precipitación (operan como negativas en ET0-P) (*Cuadro 2*). Solamente los períodos que contienen al otoño (O, V-O y en menor medida P-V-O) mantuvieron una tendencia positiva (aumento de ET0-P) en la mayoría de las localidades.

	Anual	P - V - O	P - V	V - O	V	O	P	I
Paysandú	- 1,44	- 1,21	- 4,14	- 0,89	- 3,79	- 1,44	- 4,14	- 2,21
Las Brujas	- 0,5	0,37	- 2,46	2,90	- 3,79	6,04**	- 2,46	- 3,14
La Estanzuela	1,15	1,30	- 0,46	4,19	- 0,46	6,27	- 1,18**	0,75
Melo	2,79	3,16	0,27	5,46	1,99	8,92	0,27	1,86
Artigas	2,54	2,47	7,34	- 4,60	- 1,93	16,61	- 7,27**	2,89
Treinta y Tres	1,29	0,35	- 2,58	2,54	- 1,14	6,21	- 2,58	4,19
Rocha	1,64	2,61	2,29	1,86	0,48	3,25	2,29	- 1,16
Mercedes	- 0,78	- 0,04	0,31	0,75	0,92	0,49	0,31	- 3,02

Tendencia - |  Tendencia +

* 90% de significancia ** 95% de significancia *** 99% de significancia

Cuadro 2.

Coefficientes de regresión lineal de acumulados anuales, multiestacionales y estacionales de ET0-P (0,01mm/año/día)(P: primavera, V: verano, O: otoño, I: invierno). Significancia estadística y tendencia (colores) según test de Mann Kendall

La tendencia de la precipitación resultó positiva (no mostrado) y a pesar que el período no es muy extenso para analizar precipitaciones en Uruguay, coincide con lo reportado por Beaethgen y Giménez (2009). La alta variabilidad de la lluvia se ve reflejada en valores de coeficientes de regresión de ET0-P (Cuadro 2) más altos que los acumulados de ET0 (Cuadro 1) pero con menor significancia. En suma, el balance atmosférico para el período de 25 años analizado nos indica un aumento sistemático del déficit (ET0-P) para el otoño y para verano-otoño.

Espacialmente, en verano se observó una tendencia negativa (disminución de ET0-P) en la mayor parte del país, más acentuada en el noroeste y el sur; y un leve aumento en el borde este y en la zona de influencia de la localidad de Mercedes (no mostrado). En invierno el gradiente fue más marcado, aunque menor respecto a ET0 (no mostrado).

Rachas

Como se mencionó anteriormente, resulta importante el estudio de la evapotranspiración en períodos cortos de tiempo (20,40 y 60 días) a través de ventanas móviles para identificar las rachas secas, en lugar de utilizar períodos fijos. Por ejemplo, una racha fija de 40 días desde el 10 de diciembre al 20 de enero de un año particular, no sería considerada si los 10 primeros días de diciembre y/o los últimos 10 de enero de dicho año fueran muy lluviosos.

ET0

Se verificó un aumento generalizado de los acumulados de ET0 en 20, 40 y 60 días para todas las localidades excepto Las Brujas (*Cuadro 3*). Esta tendencia positiva y significativa en la intensidad de ET0 para las rachas, indica que las rachas de alta demanda atmosférica serían cada vez más intensas.

	20 días	40 días	60 días
Paysandú	2,20*	2,37*	2,20**
Las Brujas	- 0,005	- 0,01	0,07
La Estanzuela	2,05*	1,85*	1,71**
Melo	1,64	1,66	1,64
Artigas	0,30	0,86	1,37
Treinta y Tres	0,39	0,33	0,60
Rocha	1,26	0,63	0,55
Mercedes	1,58	1,39	1,66

Cuadro 3:

Coefficientes de regresión lineal de acumulados de ET0 en rachas de 20, 40 y 60 días (0,01mm/año/día). Significancia estadística y tendencia (colores) según test de Mann Kendall

Tendencia - |  Tendencia +

* 90% de significancia

** 95% de significancia

*** 99% de significancia

Este resultado es relevante desde el punto de vista agronómico para sistemas de producción con períodos críticos de necesidad de agua, ya que, a pesar que en este estudio no se llega a identificar el momento en que las rachas ocurren, es claro que los períodos secos (20, 40 y 60 días) tienden a aumentar en intensidad. La identificación de las fechas de ocurrencia de estas rachas excede el alcance de este trabajo, por lo que es deseable que se continúe en trabajos posteriores.

Anomalía de ET0 ($ET0 - ET0_{climatológica}$)

La tendencia de la anomalía de ET0 en las rachas (*Cuadro 4*) mostró coeficientes de regresión más altos y más significativos que la tendencia de las rachas de ET0 (*Cuadro 3*) para los tres períodos cortos analizados (20, 40 y 60 días). Esto reafirma que las rachas de por sí secas, tienden a ser más secas, aumentando la cantidad de milímetros evapotranspirados con valores superiores a la climatología.

Además, las mayores anomalías de ET0 pueden registrarse en momentos del año que difieren de lo que normalmente ocurre en un año «típico», lo que será posible de detectar en trabajos posteriores, al haberse independizado del año calendario como se explicó anteriormente.

	20 días	40 días	60 días
Paysandú	1,25	1,34**	1,19**
Las Brujas	0,10	0,29	0,27
La Estanzuela	2,05*	1,85*	1,29**
Melo	2,03**	1,83**	1,76**
Artigas	1,19*	1,27	1,50
Treinta y Tres	1,34	1,12	1,15
Rocha	0,74	0,46	0,25
Mercedes	1,05	1,01	1,03

Cuadro 4:

Coefficientes de regresión lineal de acumulados de la anomalía de ET0 en rachas 20, 40 y 60 días (0,01mm/año/día). Significancia estadística y tendencia según test de Mann Kendall.

Tendencia -  Tendencia +

* 90% de significancia
 ** 95% de significancia
 *** 99% de significancia

ET0-P

Los valores de los coeficientes de regresión de ET0-P (*Cuadro 5*) resultaron positivos para todas las localidades y períodos, excepto en Las Brujas y Rocha para las rachas de 60 días (*Cuadro 4*).

Aunque los coeficientes de regresión de ET0-P (*Cuadro 5*) resultaron mayores que los de ET0 (*Cuadro 3*) y los de anomalía de ET0 (*Cuadro 4*), hay menos valores significativos, lo que se debe a la variabilidad de la lluvia al igual que lo que se observó para la tendencia de (ET0-P) (*Cuadro 2*).

	20 días	40 días	60 días
Paysandú	1,43	3,58	3,15
Las Brujas	1,36	0,13	- 0,81
La Estanzuela	2,92*	3,53	3,56
Melo	3,11	5,34**	4,04
Artigas	2,38	3,29	4,12
Treinta y Tres	2,20	1,96	1,93
Rocha	1,10	0,68	- 0,44
Mercedes	4,09*	5,35***	4,49

Cuadro 5:

Coefficientes de regresión lineal de acumulados de ET0-P en rachas de 20, 40 y 60 días (0,01mm/año/día). Significancia estadística y tendencia según test de Mann Kendall.

Tendencia -  Tendencia +

* 90% de significancia
 ** 95% de significancia
 *** 99% de significancia

Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad verificamos que la ET0 calculada con temperatura mínima observada, acompaña la curva de ET0 observada en el periodo estudiado (Figura 1).

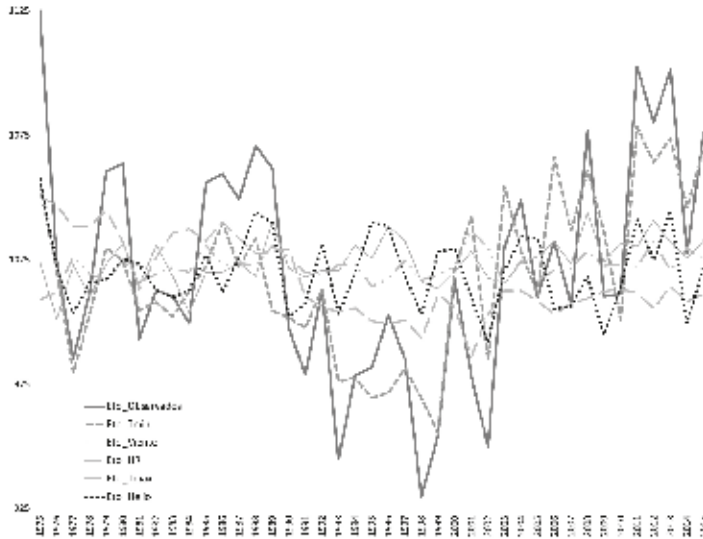


Figura 1:
 ET0 observada, ET0 humedad relativa, ET0 temperatura máxima,
 ET0 temperatura mínima, ET0 viento y ET0 heliofania relativa (mm)
 en Las Brujas para el periodo 1975 - 2015

Asociación de ET0 y:	ET0 temp. máx.	ET0 temp. mín.	ET0 viento	ET0 humedad	ET0 heliofania
R²	0,2	0,63	0,13	4,22*10 ⁻⁶	0,36

Se realizó el coeficiente de determinación, donde verificamos que la mayor asociación con la variabilidad de ET0 se obtuvo con la temperatura mínima (R2 =0,63)

Conclusiones

En este trabajo se verificó una tendencia de aumento en la intensidad de la evapotranspiración de referencia para todos los períodos estudiados, desde un período anual hasta períodos cortos como rachas de 20, 40 y 60 días. Esta tendencia de aumento estuvo explicada mayoritariamente por un aumento de las temperaturas mínimas.

El contar con una base de datos de ET₀ a nivel diario, habilita la realización de balances hídricos del suelo con datos observados en el período 1991 – 2015 (ver capítulo de caracterización agroclimática de sequías).

A continuación se resumen los hallazgos más importantes.

- Se constató una tendencia positiva de ET₀ anual, multiestacional y estacional para todas las localidades analizadas. En particular en los períodos que involucran primavera y verano, más acentuada hacia el norte del país.
- Al incluir la precipitación en el análisis (ET₀-P) la mayoría de las localidades perdieron la tendencia positiva debido a la tendencia de la precipitación. Sin embargo, para este caso, aún se mantuvo la tendencia positiva de ET₀-P en los períodos que contienen al otoño.
- Para períodos cortos de tiempo (rachas de 20, 40 y 60 días) también se verificó una tendencia positiva y significativa bastante generalizada. La tendencia positiva resultó aún mayor al analizar la anomalía de ET₀ (ET₀-ET₀climatológica). La significancia disminuyó cuando se involucra a la precipitación (ET₀-P) debido, como se mencionó anteriormente, a la variabilidad de la lluvia.
- El análisis realizado mediante ventanas móviles permitió identificar que las mayores tendencias positivas se dieron en las rachas de anomalía de ET₀ (ET₀-ET₀climatológica).
- La variabilidad interanual de las temperaturas mínimas es la que mejor representó la variabilidad de los acumulados anuales de ET₀.

* * *

Referencias bibliográficas

Abal D, D´Angelo M, Cataldo J, Gutierrez A, 2011. Mapa Solar del Uruguay. Versión 2.1.Memoria Técnica. Pág. 1-57

Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M.,1998. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje.vol 300 (9):1-322.doi: D05109.

American Meteorological Society, 1997. Meteorological drought-policy statement. Bulletin of the American Meteorological Society, 78, pp.847-849.

Astigarraga L., 2004. Desafíos técnicos de la intensificación. Análisis de los resultados productivos de las empresas en seguimiento.En: INIA-FUCREA, Facultad de Agronomía. Intensificación de la lechería: La alternativa rentable. Montevideo, Uruguay. CREA.1-69

Barreiro, M., Arizmendi, F. and Trinchin, R., 2019. Variabilidad observada del clima en Uruguay. Producto realizado en el marco del Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptación en Ciudades, Convenio MVOTMA–Facultad de Ciencias, 52.

Barros V, Berbery E H, Doyle M., 2006. Regional precipitation trends.En: Barros V, Clarke R, Silva Dias P. Climate Change in the la Plata Basin. Buenos Aires. CIMA –CONICET UBA. 1-221.Universidad de la República (Uruguay).Facultad de Ciencias. 2019. Variabilidad observada del clima del Uruguay –Protocolo 2. Montevideo. 1-52

Cruz, G., Bidegain, M., Bocco, A., Alvariño, S. and Terra, R., 2018. Impactos en el régimen térmico producidos por el embalse de Salto Grande. Revista Argentina de Agrometeorología RADA, 9, pp.45-56.

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1976. Las necesidades de agua de los cultivos (No. 631.587). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Ghiat, I., Mackey, H.R. and Al-Ansari, T., 2021. A review of evapotranspiration measurement models, techniques and methods for open and closed agricultural field applications. *Water*, 13(18), p.2523.

Giménez, A., 2006. Climate change and variability in the mixed crop/livestock production systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas. Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC).

Giménez, A., Castaño, J.P., Baethgen, W. and Lanfranco, B., 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario (No. 929-2016-74306).

Kendall, M.G., 1948. Rank correlation methods.

Mann, H.B., 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrika* 13, 245–259. Go to original source.

MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca) - DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias), 2017. Anuario estadístico agropecuario. 214p

MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca)-FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2013. Clima de Cambios-Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Montevideo, Uruguay. 306p.

Minetti, J.L., Vargas, W.M., Vega, B. and Costa, M.C., 2007. Las sequías en la pampa húmeda: impacto en la productividad del maíz. *Revista brasileira de meteorología*, 22, pp.218-232.

Prohaska, F., 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. *Climates of Central and South America*, 12, pp.13-112.

Saravia, C., Cruz, G. and Franco, J., 2002. Cálculo del Índice de Temperatura y Humedad diario y su estimación a partir de un mínimo de registros. En Congreso Argentino de Agrometeorología. Anales. AADA. Córdoba, Argentina.

Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., 1967. Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico.

Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Berlato, M.A. and Grimm, A.M., 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of climate*, 18(23), pp.5011-5023.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I., 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), pp.1696-1718.

Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., López-Moreno, J.I. and Espejo, F., 2014. Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961–2011). *Water Resources Research*, 50(11), pp.8458-8480.

Vicente-Serrano, S.M., Bidegain, M., Tomas-Burguera, M., Dominguez-Castro, F., El Kenawy, A., McVicar, T.R., Azorin-Molina, C., López-Moreno, J.I., Nieto, R., Gimeno, L. and Giménez, A., 2018. A comparison of temporal variability of observed and model-based pan evaporation over Uruguay (1973–2014). *International Journal of Climatology*, 38(1), pp.337-350.

World Meteorological Organization, 1992. *International Meteorological Vocabulary*, WMO No.182, 2nd ed.784 p.

World Meteorological Organization, 1994. *A decadal against natural disasters*. WMO - No. 799. 20 pp.

Capítulo 4

Agroclimatología de las deficiencias hídricas en Uruguay

Soledad Pérez Becoña ¹ y Gabriela Cruz ²

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar

² Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y
Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

índice de bienestar hídrico; regionalización; sequías.

Resumen:

Las sequías constituyen el evento climático de mayor relevancia en el sector agropecuario de Uruguay en general y en el sector ganadero en particular, impactando en la tasa de crecimiento de las pasturas, con la consecuente disminución de determinados indicadores productivos. Las tendencias de cambio climático indican un aumento en las precipitaciones (RR), sobre todo en la temporada cálida, aunque también un aumento en la demanda atmosférica o evapotranspiración de referencia (ET₀). El objetivo de este capítulo es realizar una caracterización y regionalización de las deficiencias hídricas en Uruguay (ocurrencia, duración e intensidad), y conocer las probabilidades de ocurrencia de eventos críticos y severos, utilizando datos observados de lluvia y ET₀, para el período 1991- 2015.

Se calculó el índice de bienestar hídrico (IBH=ETR/ET₀) a través de la realización de balances hídricos para ocho localidades del país (lámina de 100 mm), utilizando umbrales de IBH $\leq 0,5$ y $\leq 0,3$. Se encontraron deficiencias hídricas en todas las estaciones del año para todas las localidades analizadas. Las deficiencias encontradas en otoño-invierno fueron mayores a lo reportado utilizando datos climatológicos de ET₀. Se registraron eventos de deficiencias hídricas de corta duración y de larga duración. Las mayores probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas severas se dieron en el suroeste (SO) y las menores en el este (E), generando un gradiente marcado E- SO.

Las probabilidades de deficiencias hídricas en el E estuvieron más correlacionadas con los valores de ET₀, mientras que en el SO con las precipitaciones.

Introducción

Las sequías constituyen el evento climático de mayor relevancia en el sector agropecuario de Uruguay en general y en el sector ganadero en particular, afectando la tasa de crecimiento de las pasturas, con la consecuente disminución de determinados indicadores productivos (MGAP-FAO, 2013). El impacto que ocasionan las deficiencias hídricas se relaciona a la frecuencia de ocurrencia, su intensidad y duración.

Respecto a las tendencias de cambio climático, se ha observado un incremento de las precipitaciones (Caorsi et al., 2018), sobre todo en la temporada cálida (Bidegain et al., 2012; Giménez et al., 2009), aunque también un aumento en la demanda atmosférica o evapotranspiración de referencia (ET₀) (Alvariño et al., 2018).

El alimento principal del ganado en los sistemas ganaderos pastoriles de Uruguay es la pastura/campo natural. El bioma pastizal ocupa más del 70% de la superficie del territorio (Altesor et al., 2011). Por este motivo el enfoque de este trabajo está puesto en las pasturas naturales. Para estudiar las deficiencias hídricas, una de las metodologías más utilizadas es la de los balances hídricos (BH) de suelos (Thorntwaite y Mather, 1967).

Uno de los resultados que se puede obtener mediante la realización de balances hídricos es el índice de Bienestar Hídrico (IBH; Petrasovis, 1990; Cruz et al., 2012; 2014), siendo este índice el cociente entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración de referencia (ETR/ET₀), tomando valores entre 0 y 1. El IBH es útil para hacer comparaciones sobre el efecto de las deficiencias hídricas en los cultivos, así como para estimar su grado de susceptibilidad a partir de su frecuencia de ocurrencia. Para Uruguay se realizó una adaptación de la escala de Petrasovis (1990), ajustando las categorías de severidad hídrica para campo natural en condiciones locales. Se encontró que a partir de valores de IBH menores o iguales a 0,5 existe una escasez de agua que provocaría síntomas en la pastura (pérdidas de biomasa) y valores menores a 0,3 implica un déficit hídrico severo y pérdida total en caso de que persista el estrés (Cruz et al., 2012). Los valores cercanos a 1 determinan que el agua no es limitante. El objetivo de este capítulo es realizar una caracterización a nivel del país de las deficiencias hídricas en cuanto a su ocurrencia, duración, intensidad, y probabilidad de ocurrencia, utilizando datos observados de lluvia y ET₀.

Materiales y métodos

Se trabajó con ocho estaciones meteorológicas del país:

Artigas (30,4°S; 56,5°O), Paysandú (32,2°S; 58,1°O), Melo (32,4°S; 54,2°O), Mercedes (33,3°S; 58,1°O), Treinta y Tres (33,3°S; 54,4°O), La Estanzuela (34,3°S; 57,7°O), Las Brujas (34,7°S; 56,3°O) y Rocha (34,5°S; 54,3°O).

Para estudiar las deficiencias hídricas se llevaron a cabo balances hídricos de suelo (Thornthwaite y Mather, 1967) (BH) a paso decádico (diez días), utilizando datos de precipitaciones (RR) y de ET₀ a nivel diario para el período 1991-2015. Usualmente se utilizan datos de ET₀ a nivel climatológico (promedio de 30 años) debido a la dificultad de obtener toda la información que requiere la estimación de Penmann-Montieth (Allen et al., 1998), con la dificultad de incorporar en el análisis su variabilidad interanual (Cruz et al., 2014). En este caso se utilizó información de ET₀ estimada con el método de Penmann-Montieth a paso diario, para incorporar la variabilidad interanual de la ET₀ (Alvaríno, 2023, ver capítulo 3 de este libro).

La información de las RR se obtuvo del Instituto Nacional de Meteorología (INUMET) y en el caso de Las Brujas, La Estanzuela y Treinta y Tres, de la base de datos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

Para realizar el BH del suelo se consideró una capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo de 100 mm en todas las localidades a los efectos de su comparación.

Se calculó el IBH como ETR/ETP, considerando un valor de $IBH \leq 0,5$ para identificar eventos de deficiencia hídrica (Cruz et al., 2014).

Para analizar la intensidad de las deficiencias hídricas se consideró el rango $0,31 \leq IBH \leq 0,5$ a los efectos de identificar deficiencias hídricas severas. Para identificar deficiencias hídricas críticas se consideró un umbral de $IBH \leq 0,3$ (Cruz et al., 2012).

La asociación entre el contenido de agua en el suelo y el IBH resulta importante ya que permite estudiar una variable discontinua como el IBH, a partir de una variable continua como el almacenaje de agua en el suelo. Esto habilita posteriormente a realizar el cálculo de probabilidades de ocurrencia de distintos niveles de deficiencias hídricas.

En este trabajo se corroboró que la evolución del IBH presentara un comportamiento similar al del almacenaje. Posteriormente, utilizando frecuencias acumuladas, se calculó la probabilidad de ocurrencia de eventos de deficiencias hídricas a partir del máximo almacenaje de agua que puede contener el suelo con un $IBH \leq 0,5$.

Complementariamente, para conocer cuál o cuáles de las variables que componen el IBH tuvieron mayor peso sobre su valor, se realizó una correlación de Pearson entre el IBH y la ET₀ y RR. Las correlaciones que presentaron diferencias significativas fueron aquellas que presentaron un coeficiente de Pearson menor o igual a 0,05.

Para la representación espacial, se realizaron mapas con el programa Surfer (<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>), utilizando la interpolación espacial "kriging"; ya que es la que representa mejor la variabilidad espacial de la lluvia.

Resultados

Época del año en que ocurren las deficiencias hídricas

Para definir la época del año de ocurrencia de deficiencias hídricas se definieron las siguientes clases: verano (V, diciembre, enero y febrero), otoño (O, marzo, abril y mayo), invierno (I, junio, julio y agosto), primavera (P, setiembre octubre y noviembre), verano- otoño (V-O), verano- otoño- invierno (V-O-I), primavera- verano (P-V), primavera- verano- otoño (P-V-O), otoño- invierno (O-I), todo el año o más (T).

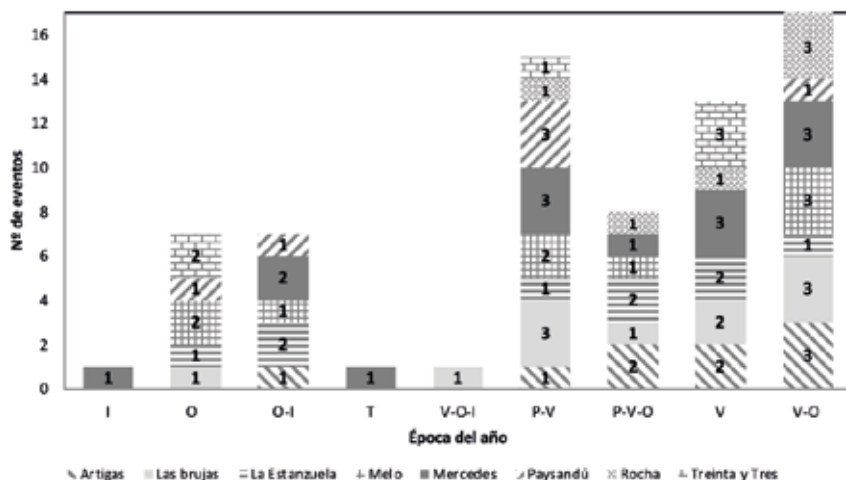


Figura N° 1:

Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad según época del año para un suelo de 100 mm almacenaje. Período 1991-2015.

Se puede observar que la mayor cantidad de eventos se registraron en verano- otoño (Figura 1). Además, otoño es la estación más incluida dentro de las diferentes clases. Este comportamiento es esperable y responde a cómo se comporta el agua en el suelo: en primavera generalmente hay uso del agua del suelo y luego se generan las deficiencias, y el otoño comienza con deficiencias pero se recarga el agua del suelo a medida que avanza la estación. Por este motivo no se registran deficiencias hídricas solo en primavera; sí en primavera-verano, pero en su mayoría comienzan hacia fines de primavera y continúan durante el verano, permaneciendo en algunos casos hasta el otoño.

Las deficiencias que no eran esperables a nivel climatológico son las de otoño- invierno, ya que estos son los períodos donde generalmente se ha recargado el agua del suelo y se generan excesos (Bettolli et al., 2010). Este resultado se obtuvo en varias de las localidades, lo que implica que los resultados obtenidos de un balance hídrico con información climatológica de ET0 ya no serían representativos.

Duración de las deficiencias hídricas

La duración de las deficiencias hídricas es otro aspecto importante a analizar. En el período estudiado se identificaron eventos de diferente duración (*Figura 2*).

En primera instancia se creería que los eventos de deficiencias hídricas más recurrentes serían aquellos que comprendan menor cantidad de décadas, como por ejemplo 3 o 4 décadas.

Sin embargo, se registraron en el período de análisis casi la misma cantidad de eventos de 3 décadas que de 7 o de 9.

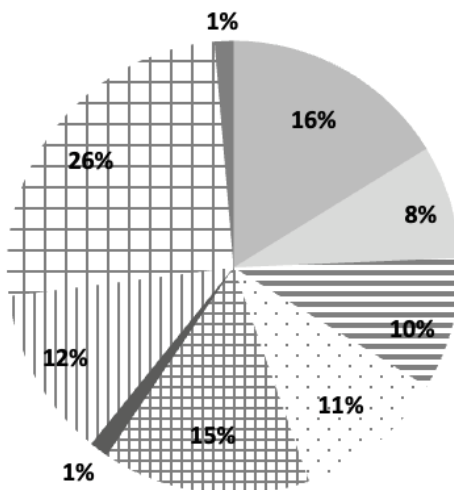


Figura N° 2:

Porcentaje de deficiencias hídricas según duración (en décadas).

En todas las localidades se registraron eventos de deficiencia hídrica de entre 3 y 9 décadas, así como eventos de muy larga duración (10 a 20 décadas) (*Figura 3*). En este último caso, la única localidad que no presentó deficiencias hídricas de muy larga duración fue Treinta y Tres.

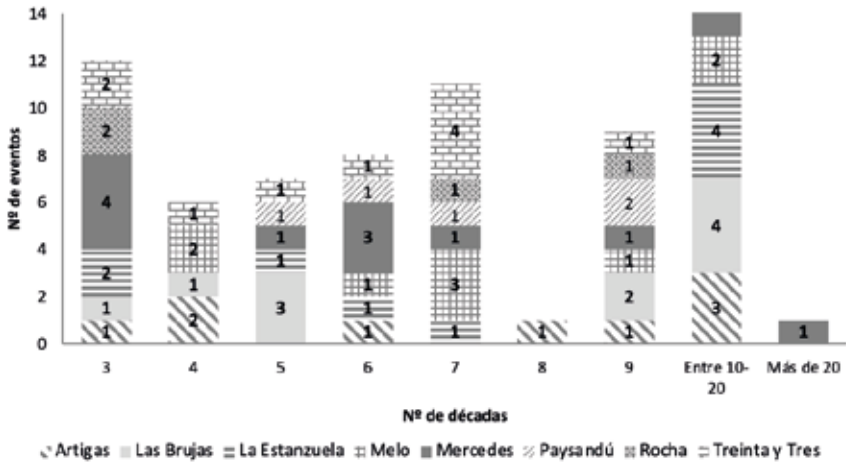


Figura N° 3:

Número de eventos de deficiencias hídricas por localidad según duración (décadas) para un suelo de 100 mm almacenaje. Período 1991-2015.

Entre 3 y 9 décadas existe al menos un episodio de deficiencia hídrica en al menos una localidad; de 10 décadas en adelante ya estos eventos no son tan recurrentes.

Como particularidades se observa que la única localidad que tuvo un evento de deficiencia hídrica durante más de un año fue Mercedes, que corresponde a la sequía 2008- 2009. Paysandú y Rocha son las localidades que han registrado menor cantidad de eventos de deficiencias hídricas, aunque esto no se relaciona con la duración ya que en ambas se registraron eventos de corta y larga duración.

Intensidad de las deficiencias hídricas

La intensidad está determinada por la cantidad de veces que el IBH en cada localidad toma valores entre 0,31 y 0,5 (deficiencia hídrica severa) o entre 0 y 0,3 (deficiencia hídrica crítica) (Figura 4).

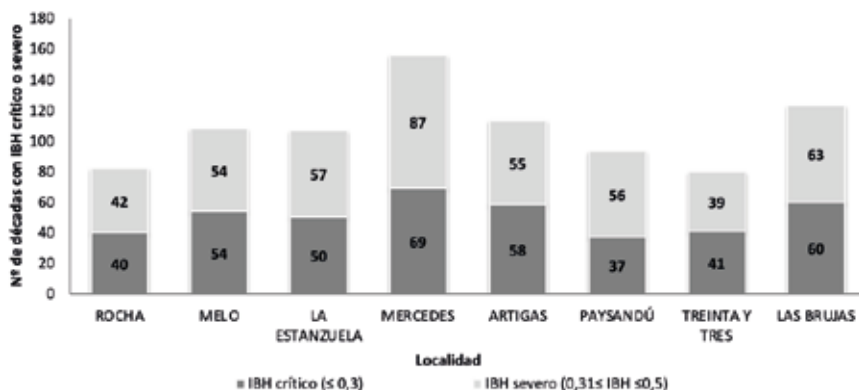


Figura N° 4:

Número de décadas con IBH crítico o severo por localidad, para un suelo de 100 mm de almacenaje. Período 1991-2015.

La localidad que presentó mayor cantidad de eventos, tanto severos como críticos fue Mercedes, seguido de las Brujas.

En la mayoría de los casos se registraron mayor cantidad de décadas con IBH severo, sin embargo, en Treinta y Tres y Artigas ocurrieron mayor número de IBH crítico que severo.

Si se contabilizan todos los eventos juntos, tanto severos como críticos, Treinta y Tres y Rocha fueron las localidades que presentaron menor número de eventos; por otra parte, si consideramos los IBH críticos, es decir $\leq 0,3$, Paysandú fue la localidad con menores eventos, y luego le siguen Rocha y Treinta y Tres.

Probabilidad de ocurrencia de deficiencias severas

Para el cálculo de probabilidades, se consideró el máximo almacenaje de agua que puede tener cada suelo con un $IBH \leq 0,5$. Este supuesto se basó en que el almacenaje presentó una correlación mayor al 75% con el IBH en todas las localidades, y esto permite el cálculo de probabilidades a partir de una variable continua, como es el almacenaje. Los resultados se presentan a nivel anual, ya que se considera que 25 años (el período analizado) no serían suficientes para capturar la alta variabilidad interanual de la lluvia en períodos estacionales y/o mensuales.

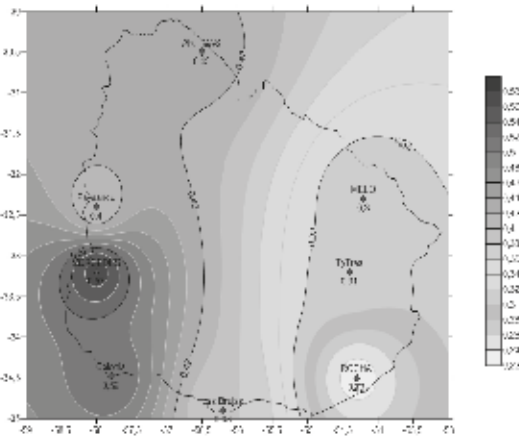


Figura N° 5:
Probabilidades de ocurrencia de eventos severos de deficiencias hídricas a nivel anual.

Tabla N° 1:
Correlación de Pearson entre el IBH, las RR y la ET0.

	ROCHA			MERCEDES		
	RR	ET0	IBH	RR	ET0	IBH
RR		0,0051061	9,48E-41		0,0077547	6,12E-53
ET0	-0,093268		1,66E-64	0,058867		1,04E-32
IBH	0,42486	-0,52361		0,47954	-0,38238	

Se constató un gradiente marcado E- SO, en el que las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas van en aumento (*Figura 5*)

Los coeficientes de correlación de Pearson indicaron que las menores probabilidades hacia el E están mayormente relacionadas a la ET0, mientras que, hacia el SO, los altos valores de probabilidades estuvieron más correlacionados a los valores de RR (*Tabla 1*).

En ambas localidades existió una correlación significativa de las RR y la ET0 con el IBH. Mayores RR provocan aumentos en el IBH (correlación positiva), mientras que mayores valores de ET0 implican una bajada del IBH (correlación negativa).

Conclusiones

La mayor parte de las deficiencias hídricas se dieron en primavera-verano, verano-otoño y verano, en coincidencia con lo reportado a nivel climatológico (Bettolli et al., 2010). En otoño, otoño-invierno e invierno se registraron deficiencias mayores a lo esperado a nivel climatológico, posiblemente explicado por la tendencia de aumento en la ET0 (Alvariño et al., 2018).

Se registraron eventos de deficiencia hídrica prolongada en todas las localidades. La cantidad de eventos fue similar tanto para los eventos de menor duración (3 décadas) como para algunos de mayor duración (7 y 9 décadas).

En cuanto a la intensidad, la localidad que presentó mayor cantidad de eventos críticos y severos fue Mercedes, mientras que Treinta y Tres y Rocha fueron los que presentaron menor cantidad de eventos y de menor intensidad.

A nivel anual, las mayores probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas severas se dieron en el SO y las menores en el E, generando un gradiente marcado E- SO. Las bajas probabilidades en el E estuvieron más correlacionadas con bajos valores de ET0, mientras que en el SO con una menor cantidad de precipitaciones.

* * *

Referencias bibliográficas

Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56).

Altesor, A.; Ayala, W.; Paruelo, J. M. 2011. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de patizales. Serie: FPTA N° 26.

Alvariño, S. 2023. Caracterización de la Evapotranspiración de Referencia en Uruguay. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias.

Alvariño, S.; Bocco, A.; Terra, R.; Bidegain, M.; Cruz, G. 2018. Caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la evapotranspiración de referencia en Uruguay. En: Alternativas tecnológicas para el sector arrocerero en un escenario desafiante. INIA serie técnica N° 246, p. 6-8.

Bettolli, M.L.; Altamirano, M.A.; Cruz, G.; Rudorff, F.; Martínez, A.; Arroyo, J.; Armoa, J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. Revista Brasileira de Meteorologia, 25(2): 248-259.

Bidegain, M.; Crisci, C.; Del Puerto, L.; Inda, H.; Mazzeo, N.; Taks, J.; Terra, R. 2012. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo. En Clima de Cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay (Vol. 1). Montevideo, MGAP- FAO. pp. 43- 99.

Caorsi, M. L.; Cruz, G.; Terra, R.; Astigarraga, L. 2018. Variación de la precipitación y la ocurrencia de sequías en la cuenca lechera del SW del Uruguay en el período 1939- 2011. 2018. Agrociencia Uruguay- Volumen 22 1:116- 123.

Cruz, G.; Baethgen, W.; Picasso, V.; Terra, R. 2014. Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. Agrociencia Uruguay. Vol.18, n.1, pp.126-132. ISSN 2301-1548.

Cruz G, Baethgen W, Modernel P. 2012. Validación de un índice de deficiencia hídrica para campo natural de Uruguay. En: Actas XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. Malargue: UniRío. pp. 39-40.

Giménez, A., Baethgen, W., Castaño, J. P. y Lanfranco, B. (2009). Cambio Climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. Montevideo: INIA. (Serie Técnica 178). Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429071209133815.pdf>.

MGAP, FAO. 2013. Adaptación a la variabilidad climática. Informe en el marco del proyecto TCP-FAO 3302. Montevideo. [En prensa].

Petrasovits, I. 1990. General review on drought strategies. En: Transactions 14th International Congress on Irrigation and Drainage; 30 abril-04 mayo, 1990; Rio de Janeiro, Brazil. Río de Janeiro: ICID. pp. 1-11.

Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1967. Instrucciones y tablas para el cómputo de la ETP y el balance hídrico. Buenos Aires, INTA. 55 p.

Capítulo 5

El lado Social de la Evapotranspiración

Hugo Partucci ¹ y Gabriela Cruz ²

¹ Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

² Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

ciencia y sociedad, interdisciplina, sequía agropecuaria

Resumen:

En este trabajo se comparten reflexiones en torno al concepto de evapotranspiración y sus implicancias desde una mirada mucho más social que técnica. “El lado social de la evapotranspiración”, como frase, refiere a lo que repetidamente se aludía durante la realización de algunos proyectos por parte del equipo interdisciplinario, para encontrar puntos de intersección entre las ciencias sociales y las naturales. Sin embargo, advertimos al lector que la frase insignia “El lado social de la evapotranspiración” tendrá que continuar desarrollándose.

El capítulo se desarrolla en forma de relato, por lo que en este resumen se sintetizan algunos aspectos metodológicos y hallazgos principales. El equipo estuvo conformado por investigadores de las ciencias agrónomas, meteorológicas, biológicas y sociales, algunos de ellos también se encontraban realizando sus tesis de posgrado en ese momento. En ese marco, se realizaron 45 entrevistas individuales y 6 talleres con productores agropecuarios ganaderos, funcionarios de instituciones de la política pública y de la academia, vinculados al problema de las sequías agrónomas, en el período 2015 - 2021.

Uno de los aspectos a señalar es que no debíamos crear un lenguaje común para entendernos, sino tener la intención explícita de hacernos entender y buscar la forma de traducirnos lo mejor posible, ejercicio que ampliamos para comunicarnos con actores no académicos. En el diálogo con los productores agropecuarios encontramos dificultades en el acceso y comprensión de la información climática y cuestionamientos sobre la capacidad de los pronósticos meteorológicos para contemplar las particularidades locales. Por otro lado, encontramos que las dimensiones de tiempos y escalas en las dinámicas de trabajo de quienes se desempeñan desde los ámbitos científico-técnico y de toma de decisión política, son muy diferentes a los de quienes se dedican a la actividad agropecuaria, lo que se termina percibiendo como ineficiencia institucional en la gestión de información agroclimática.

También encontramos que la sobre presencia discursiva de cambio climático por encima de otras problemáticas, lleva a descartar otras razones que puedan explicar la escasez del recurso hídrico en suelo, o impide encontrar opciones más integrales para la gestión de riesgo de sequía.

De un chiste a un tema serio de preocupación.

Durante el desarrollo de un proyecto de investigación inicial (Cruz et al., 2014), que luego dio pie al proyecto “No te olvides del pago”, se ha reflexionado mucho sobre las formas de intercambio interdisciplinario de investigadoras e investigadores, entre quienes había tesis de maestría y de doctorado (Simón et al., 2016 b). En este contexto, surgió una frase en los intercambios entre algunos de sus participantes y se utilizó como referencia para encontrar puntos de intersección entre ciencias sociales y naturales. Dicha frase “El lado social de la evapotranspiración” se convirtió en una referencia frecuentemente citada, a veces a modo de broma y otras a modo de una reflexión profunda. Pero se volvió básicamente en evidencia de una voluntad compartida de encontrar las mejores maneras posibles de trabajar interdisciplinariamente entre antropología y agronomía, principalmente, pero también meteorología.

Desde la agronomía o ciencias naturales, la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO, 1998). Imaginarse las maneras en que concretamente se podría comprender la relación de lo social, en sentido amplio, con la evapotranspiración no resultó tan fácil como se podría creer en un principio.

Si pensáramos en esta frase como título de una película, probablemente podría describirse en una variedad de categorías cinéfilas cuyas sinopsis contendrían señalamientos como “comedia de enredos disciplinares”, “drama sobre el crecer comprendiendo las diferencias y lo que no se sabe”, “ciencia ficción de multiverso, donde cada saber es un universo que amenaza con acabar con otro”, “suspenso de intriga científica en lo profundo de las relaciones humanas”, “bélica historia donde las ciencias y saberes se encuentran en varios campos de batalla”, y muchos otros posibles. Pensándolo como título de una película documental “para toda la familia” o de amplia audiencia, podría decirse algo como: una historia de un grupo de investigadores e investigadoras que, en el camino de aprender a convivir, aceptaron sus diferencias y se lanzaron a una aventura de mezclar números con perspectiva social.

“El lado social de la evapotranspiración” se convirtió inesperadamente en una especie de hipótesis de investigación compartida tácitamente, que tenía atrás el peso de lograr que la interdisciplinariedad fuese exitosa y, que nuestras investigaciones se construyeran sobre la base de un uso social que trascienda más allá del ámbito académico. Las preguntas de investigación en base a la hipótesis, pasarían de una amplia y obvia como ¿cuál sería específicamente el lado social de la evapotranspiración? a más específicas, como ¿de qué manera los productores agropecuarios la observan? ¿qué aspectos científicos-políticos podrían relacionarse con ella? Entre muchas otras.

Esas preguntas específicas apuntaron a tres actores sociales clave, en cuanto a su involucramiento a las problemáticas de sequías (Partucci et al., 2018). Nos preguntamos cómo se presenta la percepción del fenómeno desde distintas personas ubicadas en y desde la producción agropecuaria, la ciencia-técnica y la toma de decisión política: ¿Qué es la evapotranspiración para cada actor social? y, desde aquí, ¿Cuál es el alcance de la evapotranspiración como variable relacionada a las sequías?

Con el tiempo, poder dar una respuesta clara, concisa y que denotase buenos argumentos a las preguntas detrás de este relacionamiento, se volvió, para parte de integrantes del proyecto, una especie de meta a lograr tan importante como lograr finalizar nuestras investigaciones de tesis individuales. Parecía que, si pudiésemos explicar qué es el lado social de la evapotranspiración, estaríamos aproximándonos a encontrar un puente más real y sólido entre la diversidad de disciplinas y saberes.

Cabe destacar que, durante los intercambios entre colegas durante el proyecto, no fue siempre fácil la convivencia de miradas de cada disciplina (Partucci, videos 2016 y 2017). El mandato del texto del proyecto institucional formal de hacer interdisciplina no garantizaba de por sí lograrla. En el caso de quienes realizábamos trabajos de campo compartido, a lo que llamábamos “interdisciplina en terreno” (Simón et al., 2016 a) entre colegas de antropología y agronomía, cada uno observaba al otro, con respeto, pero internamente preguntándose: ¿Qué hace?¹ ¿Por qué pregunta así? ¿Por qué esos métodos de indagación? ¿Por qué hace lo que hace?

En este recorrido, empezamos a comprender que no debíamos esperar a crear un lenguaje común para entendernos, sino tener la intención y buscar la forma de traducirnos lo mejor posible. Traducirnos es reconocer lo que desconocemos del y de lo otro, y dejar de competir por colonizar la verdad, sino compartir el camino del proceso de aprendizaje científico en desarrollar las mejores explicaciones posibles sobre problemáticas de la realidad con varias voces. En este sentido, aquí se apunta a una búsqueda hacia lo transdisciplinar, donde la construcción de conocimiento sea relacional entre saberes académicos y no académicos.

¹ En el caso más específico de la disciplina antropológica y su quehacer en varias experiencias de interacción en proyectos interdisciplinarios invitamos a leer este trabajo que se basa en situaciones de diversos proyectos interdisciplinarios:

“La antropología interpelada: reflexión sobre sus prácticas de investigación.”

Partucci, H; Carabajal, M.I.; Pastorino, N; Muzi, E. y Amato, B. (Pág.195)

<http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20181023041424/Encrucijadas.pdf>

Todos traductores:

Productores Agropecuarios, Antropólogos, Agrónomos.

A lo largo del desarrollo de las investigaciones de tesis y del proyecto UNCOMUCO² (Cruz y Partucci, 2020) que fue parte del proyecto general “No te olvides del pago...”; en varias entrevistas realizadas de manera compartida entre antropología y agronomía, los productores manifestaron varios aspectos sobre sus formas de utilizar información climática para prever eventos de sequía y otros fenómenos agrometeorológicos extremos y, cómo percibían sensorialmente en sus terrenos los efectos del sol y la temperatura sobre los cultivos, las pasturas, las vacas, terneros y, obviamente, la humedad del suelo.

En principio, las percepciones sensoriales resultaron mucho más interesantes para quien observaba desde lo antropológico, mientras que comentarios relacionados a la información climática utilizada llamaron la atención de la mirada agronómica. Sin embargo, con el tiempo, estas informaciones se volvieron mutuamente interesantes y se fue dando en un proceso de aprendizaje donde cada investigador/a argumentaba su relevancia y explicaba su significado y cómo podía interpretarse. A este proceso lo fuimos entendiendo como un “perfeccionamiento de la traducción entre disciplinas”; en la que cada quién incorporaba términos y conceptos cada vez más específicos de la otra disciplina.

² Proyecto Investigación e Innovación Orientados a la Inclusión Social UNCOMUCO: “Un conocimiento, muchos conocimientos. Hacia una construcción co-participativa de conocimiento para una mejor gestión de riesgo por sequías.”

Dir.: Dra. Gabriela Cruz Brasesco. Fagro – Dto. de Sistemas Ambientales – UdelaR
Página web del proyecto para socialización de procesos de investigación con productores agropecuarios y otros actores sociales:
<https://muchosconocimiento.wixsite.com/uncomuco>

A su vez, fuimos compartiendo otro proceso de aprendizaje, el de ampliar el ejercicio de traducción con actores no académicos. Fomentar una coparticipación en la construcción de conocimiento con estas voces, expertas por una disciplina de lo vivencial, implica que la traducción de lenguajes vaya no sólo más allá de lo interdisciplinario, sino que implica una revisión de la naturalización -a veces tácita, a veces explícita- de una jerarquía de saberes, donde lo académico detenta una mayor legitimidad.

El enfoque de estos procesos investigativos, se enmarcan en los lineamientos de la ciencia posnormal (Funtowicz y Ravertz, 2000). Los problemas climático-ambientales actuales traen aparejadas unas incertidumbres altas, como las que, por ejemplo, conllevan el riesgo ambiental por sequías. Esta situación, que viene haciéndose cada vez más manifiesta en las últimas décadas, invita necesariamente a repensar el rol social de las prácticas científicas en las realidades actuales, ya que no pueden encomendarse las respuestas y soluciones sólo al arco de sus saberes, sino que requieren generar nuevos contextos de producción de conocimiento. Aquí la calidad de la ciencia depende en ir mucho más allá de contemplar y concentrarse primordialmente en el producto de su quehacer, sino que debería incluir en sus análisis al proceso mismo de la producción de conocimiento y a diversos actores sociales no científicos que puedan contribuir como coparticipantes de ella.

En la medida que fuimos generando diálogos con los saberes de los actores de la producción agropecuaria, desde la antropología y la agronomía dinamizamos la manera de compartir e intercambiar diferentes análisis que nos fue aproximando a lecturas sociales/naturales más entrelazadas de cómo las sequías eran parte de su vida. Y aquí, las traducciones se volvieron una tarea compartida entre actores sociales académicos y no académicos, donde productores y productoras también nos introducían de forma más compleja a significaciones propias de los fenómenos climáticos extremos y sus contextos.

¿De qué manera los productores agropecuarios observan la evapotranspiración?

Indagando en cómo se articulan las propias percepciones agrometeorológicas de quienes habitan, frecuentan y producen en el ámbito rural con la información climática (de fuentes de base más científica), hemos encontrado que, además de sus dificultades en el acceso y comprensión de la información climática, el pronóstico es cuestionado en su capacidad de contemplar particularidades locales. Por ejemplo, un productor decía que sabía que iba a llover a determinadas horas, al ver el color azulado oscuro en la base de una sierra y que había acertado, aunque el pronóstico así no lo avisaba. O, cuando una productora mencionaba que en su predio el color “amarillo seco” que fueron tomando los pastizales ya anticipaba mucho antes “la seca” que tardó tanto en confirmarse como una emergencia gubernamental por sequía.

Este tipo de situaciones, se reiteran en distintos ejemplos, incluso en relaciones interculturales en la región. Experiencias relatadas por el antropólogo Renzo Taddei³ (2017), dan cuenta sobre las distintas formas de comprender al tiempo y al clima desde los saberes de pueblos originarios en Brasil donde se realizan lecturas climático-ambientales que brindan, en varios aspectos, una información compleja y precisa de manera más localizada. Aquí no se está comparando informaciones de observaciones climáticas que provienen de diferentes actores sociales, en el sentido de contraponerlas para establecer cuál es mejor. Sino que nos preguntamos, a partir de los casos estudiados, si sería posible generar alguna instancia de sistematización entre observaciones micro/macro, en las que las percepciones locales anticipatorias y los pronósticos más globales de fenómenos del tiempo y clima se articulen complementariamente en el territorio.

³ Renzo Taddei, integrante del equipo en el proyecto proyecto IAI CRN 3106.

Para algunos/as colegas de la academia, este tipo de percepciones locales fueron, desde un principio desestimadas y categorizadas como anecdóticas. Se les hacía muy difícil considerar como legítimas a estas observaciones climáticas-ambientales que la gente local realizaba previendo una sequía, si los registros de precipitaciones no guardaban una relación directa a esa posibilidad. Con una incuestionada contundencia de los datos de precipitación, desestimaban esas otras observaciones desde un principio. En este sentido, estas personas tomaban la frase “El Lado Social de la Evapotranspiración” más como una broma, por querer articular algo que sería incombible. Cabe preguntarse entonces, como mencionamos antes, sobre las naturalizadas y hegemónicas jerarquías del saber que podrían estar activas en estas situaciones.

Quienes sí considerábamos relevantes esas observaciones, insistíamos en que allí había un potencial de información que podría posiblemente contribuir con precisiones complementarias a los pronósticos oficiales que podrían lograr un alcance mucho más localizado en el territorio. Por supuesto, no se aseguraba tener ya, el cómo sería posible articular informaciones de percepción de productores locales con pronósticos meteorológicos más regionales, pero -por lo menos- pensar la posibilidad como un desafío posible. Encararlo exigiría probablemente mucho más trabajo de investigación coparticipativa y de una mayor creatividad, instancia difícil de imaginar muchas veces en las estructuras de funcionamiento de los tiempos y espacios académicos.

A modo muy sintético, del ejercicio logrado de “traducciones coparticipativas”; señalamos algunos puntos destacados que nos permitieron conocer y comprender:

- ***Las razones multicausales de por qué los productores eligen uno u otro medio de información climática y no se accede o se confía a otros.***
- ***La existencia de un conocimiento basado en observaciones multisensoriales (oído, olfato, tacto, etc.) desde los territorios de los fenómenos agrometeorológicos que, muchas veces no se manifiestan inicialmente desde los y las productores/as, por lo que suponemos⁴ una autocensura ante la jerarquía de saberes científicos-técnicos más socialmente tomados como legítimos.***
- ***Cómo las relaciones afectivas con lo no-humano (ganado, suelo, vegetación, agua, etc.) influyen en muchas decisiones ante situaciones de riesgo agroclimático.***
- ***Mayor comprensión sobre las dificultades socioeconómicas que hacen que las sequías tenga mayor impacto sobre la vida y los territorios de quienes viven como productores/as.***

⁴ En entrevistas y conversaciones con productores, al preguntar sobre percepciones ambientales que preveían ciertos fenómenos, muchos tardaban en responder y aludían diciendo que eran “cosas de los abuelos”, como algo lejano y que ya no se utilizaba. Pero al tiempo, empezaban a recordar y surgían muchas “maneras de observar” que estaban actualmente incorporadas en sus prácticas cotidianas.

¿Qué aspectos científicos-políticos podrían relacionarse con la evapotranspiración?

Más allá de la relación con actores de la producción agropecuaria, las dimensiones de tiempos y escalas en las dinámicas de trabajo de quienes se desempeñan desde los ámbitos científico-técnico y la toma de decisión política mantienen una relación complicada (Partucci et al., 2018). Aunque deban articularse obligadamente ante eventos que exigen respuestas de su trabajo en conjunto, esta relación ciencia-política no está exenta de dificultades de relación (Cruz et al., 2014). Por ejemplo, ante la declaración de una emergencia por sequía, dicha relación genera instancias cruciales que inciden de forma directa en la vida de quienes se dedican a la actividad agropecuaria, principalmente desde la pequeña o mediana producción⁵.

A partir de los análisis de la evapotranspiración, nos hemos encontrado que, desde lo social, podemos pensar en aspectos como la eficiencia institucional en la gestión de información agroclimática, la sobre presencia discursiva de cambio climático por encima de otras problemáticas asociadas o disociadas a él, los datos relevantes para aportar a respuestas más integrales en la gestión de riesgo agropecuario.

Por ejemplo, en la comparativa climatológica (histórica) de datos de variación de la evapotranspiración, se puede encontrar que ciertos discursos sobre cambio climático no necesariamente se adecúan a ciertas situaciones locales.

⁵ Las investigaciones de los proyectos que involucraban actores de la producción agropecuaria, principalmente de la ganadería, han sido quienes se consideran pequeños o medianos productores. Que entran en su mayoría en la categoría de “Productores Familiares” (Resoluciones MGAP 527/008 y 219- 387/14)

Si los valores de evapotranspiración no varían a lo largo de cierto tiempo⁶, en un mismo sitio con la lluvia en aumento y, aun así, se habla de una disminución del recurso hídrico en suelo, puede inferirse que las razones de escasez se deben a otros factores (Cruz et al., 2014). Muchas veces los discursos de cambio climático resultan encubridores del mal manejo social y gestión gubernamental del agua cuyas causas no llegan a estudiarse en profundidad. En este sentido, sería importante realizar otros estudios para crear un caso, por ejemplo, investigar desde lo social cómo se están dando ciertas prácticas productivas o de otros desarrollos que, a través de análisis (agronómicos, biológicos, meteorológicos, hidrológicos, etc.), podrían estar incidiendo en la calidad, cantidad y presencia del agua de diferentes formas en el suelo.

Por otro lado, a la hora de realizar estudios que precisan información histórica o más actual de evapotranspiración, muchas veces desde lo institucional, el acceso a ciertos datos de relevancia se dificulta.

El problema de compartir datos entre instituciones y espacios de investigación científica limita la posibilidad de contar con información relevante y significativa a la hora de realizar análisis que requieren de datos precisos. Aquí, los desafíos propios de cualquier investigación se ven innecesariamente entreverados al complicarse el acceso en tiempo y forma, por problemas históricos de burocracia, secularización y de política institucional.

⁶ Un estudio sistemático y actual de tendencia temporal de la evapotranspiración muestra la existencia de una tendencia positiva (aumento) (Alvariño et al., 2018). Basado en la tesis de maestría de la Ing. Agr. Sofía Alvariño. Al momento que describen los autores de este capítulo no se había finalizado la tesis mencionada y por lo tanto no se contaba con esa información. Igualmente, la información reciente de tendencias no necesariamente invalida las afirmaciones presentadas aquí, resta mucho análisis por hacer para establecer atribuciones en la ocurrencia de sequías, donde se pueden incluir factores no meteorológicos.

Palabras finales:

El lado evapotranspiratorio de lo social

En el punto anterior, como en este texto en general, apenas nos aproximamos a todo lo que la idea del título de este texto nos dispara analíticamente.

Como venimos planteando, en el intercambio y articulación de saberes diversos fuimos encontrando mucho más sentido, en todo lo que aporta, el analizar a la evapotranspiración como parte de un entramado que va más allá de las disciplinas que la tienen como protagonista. Se facilita el descubrir entramados de lo social y lo ambiental que pueden contribuir a una comprensión más compleja de las sequías y su contexto social (cultural, político, económico, ambiental, etc.) y, así, apuntar a un mejor conocimiento para la prevención y respuesta de una manera más integral ante situaciones de riesgo agropecuario.

En este sentido, es fundamental que los actores sociales involucrados tengan la voluntad de plantear o replantear su articulación entre sí, para pensar en una construcción de conocimiento coparticipativa que se oriente a respuestas integrales a los riesgos, enfocadas de forma más justa, pertinente y efectiva. Para esto, consideramos necesario que la articulación se base en un encuentro de la diversidad de saberes, donde el objetivo no sea un lenguaje unificado ideal ni fortalecer sólo dinámicas interdisciplinarias, sino encontrar instancias de intercambio donde cada actor aprenda a traducir los términos del lenguaje de su saber a los otros actores. Así, consideramos primordial resaltar aquí la idea de un conocimiento constituido de muchos conocimientos, encaminándonos a una transdisciplinarietà que apunte hacia la coparticipación multiactoral en la construcción de conocimientos, a través de la creación de un espacio donde convivan de forma fluida relacionalmente las diversas traducciones de saberes académicos y no académicos.

Por lo tanto, si nuestro objetivo más trascendente es generar conocimientos que contribuyan de formas más diversas, específicas, socializadas y útiles para la resolución de problemas de riesgo socioambiental, deberíamos cuestionarnos y asumir, de manera reflexiva, autocrítica y deconstructiva de los propios andamiajes (académicos y personales en general), en cuáles etapas de aprendizaje nos encontramos actualmente.

Siguiendo a Funtowicz y Ravertz (2000) cuando planteaban que, ante la dificultad de saber el resultado de la transición rápida y profunda que nos interpela a preocuparnos por las futuras generaciones, otros seres vivos y los ambientes del planeta, nuestra contribución como actores científicos sería “ayudar a crear condiciones y herramientas intelectuales por las cuales los procesos de cambio podrán manejarse en mayor beneficio de la humanidad y el ambiente global”, nos preguntamos: ¿Qué estamos haciendo para garantizar de alguna forma una contribución en esos términos?

Aún estamos y estaremos aprendiendo sobre esta forma de relacionar saberes, siguiendo hasta aquí solo nos hemos decantado a una primera aproximación a modo de síntesis al cierre de un proyecto que nos convocó. Probablemente, y eso esperamos, surjan más reflexiones donde la frase insignia “El Lado Social de la Evapotranspiración” se continuará desarrollando.

Por eso y, mientras tanto, invitamos, a quien esté leyendo, a pensar y reflexionar sobre la relación entre lo social y natural y sus consecuencias, tomando como punto de partida a la evapotranspiración.

* * *

Referencias bibliográficas y videográficas

Alvariño, S., Bocco, A., Terra, R., Bidegain, M., Cruz, G., 2018. Caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la evapotranspiración de referencia (ET₀) en Uruguay. Libro: Alternativas tecnológicas para el sector arrocero en un escenario desafiante. INIA, Serie Técnica 246.

Cruz, G. y Partucci, H., 2020. Informe Final Proyecto Investigación e Innovación Orientados a la Inclusión Social UNCOMUCO: "Un conocimiento, muchos conocimientos. Hacia una construcción co-participativa de conocimiento para una mejor gestión de riesgo por sequías." FAGRO – UDELAR.

Cruz, G., Picasso, V., Taks, J., Podestá, G., Taddei, R., Vinocur, M., Vienni, B., Morales, H., Lorenzo, I., 2014. Transferencia de conocimiento climático en la interfaz ciencia-política para la adaptación a las sequías en Uruguay (06/2014 - 11/2017). <https://www.agrodrought.ei.udelar.edu.uy/>

Cruz, G., Baethgen, W., Picasso, V. and Terra, R., 2014. Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), pp.126-132.

FAO, 1998. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No 56. ISSN 0254-5293.

Funtowicz, S.O. and Ravetz, J.R., 2000. La ciencia posnormal: ciencia con la gente (Vol. 160). Icaria editorial.

Partucci, H.B., Alvariño, S., G.C., 2019. PARECE, PERO NO ES LO MISMO. Tekoporá. *Revista Latinoamericana de Humanidades Ambientales y Estudios Territoriales*. ISSN 2697-2719, 1(1), pp.98-112.

Partucci, H. Video, 2016. Interdisciplina en el proyecto CRN3106 Agosto 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=ilmY7bR0H4k>

Partucci, H. Video, 2016. Informe Abril 2016 Proyecto IAI-CRN 3106
<https://youtu.be/rD4hug3JL6U>

Partucci, H. Video, 2017. Proyecto IAI CRN 3106 Taller V-día 2
Interdisciplina, Ciencia y Política.
Visto en <https://www.youtube.com/watch?v=qa4q7WYFUjE>

Partucci, H., 2020. Video síntesis general y video específico sobre uno de los ejes de trabajo del proyecto UNCOMUCO:
<https://muchosconocimiento.wixsite.com/uncomuco/divulgacion>

Simón, C., Vienni, B., Cruz, G., Alvariño, S., Partucci, H., Bocco, A., 2016 a.
Juntos a la par. Una aproximación analítica sobre la interdisciplina en una experiencia de investigación interdisciplinaria sobre sequías agronómicas en Uruguay. 1er Congreso Latinoamericano de Investigación y Educación Superior Interdisciplinaria. Espacio Interdisciplinario, Montevideo, Uruguay.

Simón, C., Alvariño, S., Partucci, H., Bocco, A., González, R., Cruz, G., 2016 b.
La sequía agronómica en Uruguay abordada desde una cohorte colaborativa interdisciplinaria de tesis de posgrado: desafíos y oportunidades. Segundo Congreso Argentino de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (CAESCyT) Bariloche, Argentina

Simón, C., Vienni, B., Taks, J. and Cruz, G., 2. Aportes interdisciplinarios para el caso de estudio de la sequía agronómica en Uruguay. Encrucijadas interdisciplinarias.

Taddei, R. y Hidalgo, C., 2016. Antropología posnormal. Cuadernos de antropología social, (43), pp.21-32.4

Taddei, R., 2019. Meteorologistas e profetas da chuva: conhecimentos, práticas e políticas da atmosfera. Editora Terceiro Nome. Sobre ésta y otras experiencias afines se presentan estos materiales: dos videos sobre las experiencias interdisciplinarias del proyecto IAI CRN 3106 <https://www.youtube.com/watch?v=ilmY7bR0H4k> y <https://youtu.be/qa4q7WYFUjE>

Capítulo 6

Impacto de la variabilidad interanual de las precipitaciones primaverales sobre la producción de leche de predios del Litoral Oeste del Uruguay

María José Farías¹, Celmira Saravia¹
y Laura Astigarraga²

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Estación Experimental de Salto. Udelar

² Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal y Pasturas, y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

exceso hídrico, discomfort animal, vaca lechera

Resumen:

En los sistemas de producción pastoriles de Uruguay, los animales se encuentran expuestos permanentemente a la variabilidad del ambiente meteorológico. Esta variabilidad determina en algunos momentos del año, condiciones en las cuales los animales pueden llegar a encontrarse fuera de su zona de confort. El objetivo del trabajo fue cuantificar a nivel productivo en sistemas lecheros, el impacto de eventos extremos de precipitaciones en la región del Litoral Oeste de Uruguay.

Se analizaron los registros de 2006 a 2016, de cuatro tambos ubicados en Rio Negro (Menafrá, Paso de la Piedras, San Javier) y en Paysandú (Quebracho). Para cada tambo, se calculó la producción de leche expresada en litros/ vaca en ordeño (L/VO) promedio, máximo y mínimo cada diez días para los años considerados en el análisis, de los meses de primavera. En base a ello, se analizó la disminución relativa (en porcentaje) de cada década en relación a la década anterior.

En los casos que se registró una disminución de la producción mayor al 5%, se caracterizaron las condiciones agrometeorológicas en la década precedente y en la década actual, mediante balances hídricos utilizando la metodología Thornthwaite y Mather (1957). En base a este análisis, se analizó en particular la primavera de 2012 en la cual se produjo un evento extremo de exceso hídrico en la primera década de octubre. El análisis de la mayor disminución relativa de la producción de leche en los tambos, se registró en la segunda década de octubre para los tambos de Quebracho y Paso de las Piedras, mientras que en Menafrá fue durante la segunda y tercera década de octubre. Para el tambo de San Javier, esta disminución relativa se produjo en la primera década de noviembre. De este trabajo se desprende que situaciones de excesivas precipitaciones determinan períodos de discomfort en animales en situación de pastoreo. En este trabajo en particular, se caracterizó este discomfort en primavera para tambos localizados en el Litoral Oeste de Uruguay, que afectó la productividad diaria medida en L/VO en el momento que se produjo el evento hídrico extremo, con consecuencias posibles sobre la recuperación del nivel de producción posterior al momento del evento, lo cual resta aun por analizar.

Introducción

En los sistemas de producción pastoriles, los animales se encuentran expuestos permanentemente a la variabilidad del ambiente meteorológico. Esta variabilidad determina condiciones en las cuales los mismos pueden llegar a encontrarse fuera de su zona de confort. Los eventos meteorológicos extremos provocan pérdidas económicas en la producción agropecuaria por reducir la productividad de los animales (Valtorta et al., 2002). Sumado a esto, la tendencia positiva del incremento del stock y de la productividad en las últimas décadas no se ha visto acompañada en un esfuerzo de incrementar la adaptación de los animales domésticos a la variabilidad y eventos extremos (Lacetera et al., 2003; Nardone et al., 2010).

Se define como evento extremo al evento meteorológico “raro” que se da en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, la rareza normal de un evento meteorológico extremo sería igual o superior al percentil 90 o menor o igual al percentil 10 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada para la variable en cuestión en relación a una serie de datos de al menos treinta años (IPCC, 2013).

Se ha estudiado que el exceso de precipitaciones en situación de pastoreo, disminuyen temporalmente el consumo de alimento en un 10 a 30%, asociado a la presencia de barro, que además incrementa el gasto energético por actividad (NRC, 1981). Este trabajo tiene como objetivo cuantificar el impacto de eventos extremos de exceso de precipitaciones en la productividad de leche (L/VO) en cuatro establecimientos lecheros de la región del Litoral Oeste.

Materiales y métodos

Se analizaron los registros diarios de producción de leche (L) y el número de vacas en ordeño (VO) de setiembre a noviembre desde 2006 a 2016 de cuatro tambos ubicados en el Litoral Oeste: Quebracho (departamento de Paysandú); Menafrá, Paso de las Piedras y San Javier (departamento de Río Negro). Con los datos se calculó el valor de producción de leche (L/VO) promedio, máximo y mínimo cada diez días (década) durante el periodo setiembre-noviembre para cada uno de los años considerados. Al registrarse una disminución relativa mayor al 5% de una década con respecto a la década precedente, se caracterizaron además las condiciones agrometeorológicas.

La caracterización se realizó a partir de registros diarios de precipitaciones (P) brindados por el Instituto Uruguayo de Meteorología y evapotranspiración potencial (ETP) de Paysandú y de Young, mediante balances hídricos según Penman-FAO (1996). Estos balances hídricos fueron decádicos (totales cada diez días de P y ETP) utilizando la metodología Thornthwaite y Mather (1957) desde enero de 2006 hasta diciembre de 2016. Esta metodología permite cuantificar la relación entre los aportes de agua realizados a través de la precipitación más el aporte por riego y las pérdidas hacia la atmósfera (ETP) desde la vegetación existente mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Lluvia + Riego = ET + Var. Alm. + Ecurr. + Drenaje}$$

Donde:

ET: evapotranspiración real;

Var. Alm.: variación del almacenaje en el suelo;

Ecurr.: escurrimiento superficial;

Drenaje: drenaje profundo

Para el cálculo, se utilizaron las características de los suelos dominantes de las Unidades San Manuel y Young, correspondientes a las localidades donde se encuentran ubicados los tambos analizados, los cuales tienen una capacidad de almacenaje de agua disponible de 117 mm y 145 mm respectivamente (Molfino y Califra, 2001).

En función del análisis, en este trabajo se presentan los resultados de la primavera de 2012, que es el período en donde se dan los valores de disminución relativa iguales o mayores al 5% y se registraron precipitaciones excesivas iguales o superiores a 200 mm en la primera década de octubre.

Se caracterizó la probabilidad de ocurrencia de un valor de precipitación acumulada en diez días en primavera desde 1980 a 2021 se utilizó la Frecuencia Acumulada ($F_a = k/(m+1)$; siendo k el número de orden y m el número de datos de la serie). En base a ello, se estimó el período de retorno en años ($PR = 1/F_a$), como indicador de cada cuantos años es de esperar que se repita el evento.

Resultados y discusión

La situación hídrica de la primavera (septiembre, octubre y noviembre) del periodo analizado (2006 a 2016) mediante balances hídricos decádicos, resultó que en algunos periodos se colmó el almacenaje máximo del suelo, generando excesos como es el caso de la primavera del 2012. La magnitud del exceso alcanzó 300 mm en el mes de octubre, resultado de la ocurrencia de precipitaciones de más de 200 mm en la primera década, y un total de 380 mm para todo el mes. Esta situación determinó la “falta de piso” en el área de pastoreo de las vacas lecheras y la disminución de producción de leche en los cuatro tambos (Cuadro 1).

Cuadro 1:

Mínimo y máximo decádico promedio (LVO) y disminución relativa (%) de producción para los rodeos de Quebracho, Menafra, San Javier y Paso de las Piedras para la primavera del año 2012.

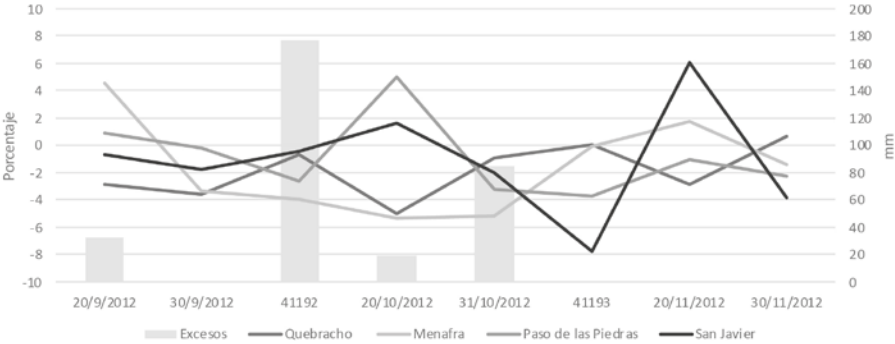
RODEO	Mínimo decádico promedio (LVO)	Máximo decádico promedio (LVO)	Disminución relativa (%)
Quebracho	19.2	22.6	5
Menafra	17.9	21.6	5.3
San Javier	27.4	30.8	8
Paso de las Piedras	20	24	5

En cuanto a la probabilidad de que ocurran precipitaciones iguales o superiores a 200 mm en una década de la primavera, en base a la serie 1980-2021, la misma es de 0,03%.

Según definición del IPCC (2013) un evento extremo se caracteriza como "raro" cuando la probabilidad de ocurrencia es menor al 10% (este evento analizado no alcanza el 1%). Este valor de probabilidad indica que se esperaría que un evento extremo de esta magnitud se repita cada 379 años (calculando el período de retorno como el inverso de la probabilidad, $1/0,026$).

En cuanto al porcentaje de disminución relativa en la producción de leche (Figura 1), las mayores pérdidas ocurren en el momento en que los excesos hídricos son mayores, para tres de los cuatro tambos analizados y en San Javier durante un período más prolongado.

Figura 1:
Disminución relativa (%) de producción y excesos hídricos decádicos (mm) para la primavera del año 2012 para la Unidad Young



Conclusiones

En localidades del Litoral Oeste de Uruguay, se constató la ocurrencia de un evento extremo de exceso de precipitaciones en la primavera de 2012, que dificultaron el pastoreo y resultaron en una disminución de la producción de leche mayor al 5% con respecto a la década precedente a la ocurrencia del evento.

En la primera década de octubre, las precipitaciones fueron de 223 mm, lo cual es diez veces mayor a la mediana decádica (23 mm) calculada del periodo 1980 a 2021. Este evento resultó extremadamente raro según definición del IPCC (2013), con una probabilidad de ocurrencia de menor a 1%.

Situaciones de excesivas precipitaciones determinan pérdidas de producción en animales en situación de pastoreo. Esta disminución estaría asociada a un disconfort de la vaca (ya sea por disminución del consumo y/o por mayor gasto por caminata debido al barro).

Se requiere analizar aún como eventos de estas características pueden afectar la recuperación del nivel de producción a lo largo de la lactancia.

* * *

Referencias bibliográficas

IPCC, 2013. Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)].
En: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of
the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin,
G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V.
Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge,
United Kingdom and New York, NY, USA.

Lacetera, N., Bernabucci, U., Ronchi, B. and Nardone, A., 2003.
Physiological and productive consequences of heat stress.
The case of dairy ruminants. Interaction between climate
and animal production, pp.45-59.

Molfino, J.H. and Califra, A., 2001.
Agua disponible de las tierras del Uruguay. Segunda aproximación.
División Suelos y Aguas. Dirección General de Recursos Naturales
Renovables Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca:
Available online at: [http://www. google. com. uy/url](http://www.google.com.uy/url).

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S. and Bernabucci,
U., 2010.
Effects of climate changes on animal production and sustainability
of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), pp.57-69.

National Research Council, 1981.
Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals.
Thorntwaite, C.W., 1957. Instructions and tables for computing
potential evapotranspiration and the water balance.
Publications on Climatology, 10, pp.185-310.

Valtorta, S.E., Leva, P.E., Gallardo, M.R. and Scarpati, O.E., 2002,
Octubre. Milk production responses during heat waves events
in Argentina. In *Proceedings of the 16th International Congress
on Biometeorology*, Kansas City, USA (Vol. 27, pp. 98-101).

Capítulo 7

¿Se incrementó la ocurrencia de las olas de calor en el siglo XXI con respecto a los últimos 30 años del siglo XX?

Estudio de casos Paysandú y La Estanzuela, Colonia, Uruguay

Celmira Saravia ¹ y Romina de Souza ¹

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Estación Experimental de Salto. Udelar

Palabras clave:

eventos extremos, régimen agroclimático, cambio en índices de temperaturas extremas

Resumen:

Conocer la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos en los sistemas de producción es necesaria ya que posibilita la adopción de medidas para atenuar su impacto. Si bien en Uruguay es conocida la alta variabilidad climática y su impacto en los sistemas productivos, es necesario caracterizar la ocurrencia de los eventos extremos y como ha sido su evolución en el tiempo.

Por tanto, el objetivo del presente trabajo es caracterizar la ocurrencia de eventos extremos de temperatura (olas de calor) en dos localidades del litoral oeste de Uruguay durante los últimos 30 años del siglo XX y durante los primeros 22 años del siglo XXI.

Para esto se analizaron registros diarios de temperatura del aire máxima y mínima desde el 1 de julio de 1970 al 30 de junio del 2022 (52 años agrícolas), de las estaciones meteorológicas ubicadas en Paysandú y La Estanzuela; Colonia. Con esta información se identificó la ocurrencia de olas de calor tanto severas (OCS) como leves (OCL), además se calcularon índices climáticos extremos a partir del uso del paquete de R RCLimDex1.0. Del total de la serie de años (52 años agrícolas) se identificaron 58 OCS y 102 OCL en La Estanzuela y 40 OCS y 112 OCL en Paysandú. Para ambas localidades solo en tres años del total de la serie no ocurrió ningún tipo de ola de calor.

Comparando entre los últimos 30 años del siglo XX y durante los primeros 22 años del siglo XXI se constató un aumento en la duración del período medio con ola de calor para ambas localidades.

A su vez se encontró una tendencia significativa a incrementarse los días con temperatura máxima mayor a 25°C (días cálidos) durante los primeros 22 años del siglo XX, con el consiguiente aumento del período medio con olas de calor.

Introducción

La adopción de medidas de adaptación a los eventos meteorológicos extremos en los sistemas de producción es necesaria a corto y largo plazo para hacer frente a los impactos del calentamiento global (IPCC, 2012). En Uruguay, la significativa influencia de la variabilidad climática en los sistemas productivos, tornan prioritarios los estudios que habiliten la adopción de medidas para atenuar su impacto (MGAP-FAO, 2013). A su vez, las prácticas de adaptación a la variabilidad climática, tienden también a la adaptación al cambio climático (IPCC, 2012).

Existen evidencias del incremento de la temperatura del aire a nivel global (Seneviratne et al, 2012) y el impacto de esto es diferente a nivel regional, incrementando la variabilidad y/o la probabilidad de la ocurrencia de eventos extremos. De esto se desprende que es importante caracterizar y conocer las tendencias de las temperaturas extremas como tales o integradas en índices para relacionarla con la productividad animal y así establecer recomendaciones de adaptación.

Para toda Sudamérica para el período 1960–2000 (Vincent et al., 2005) han encontrado tendencias significativas en el incremento (calentamiento) de las temperaturas nocturnas extremas y cambios más débiles en las temperaturas extremas diurnas. Ese trabajo muestra que las noches más frías del año incrementaron su temperatura y hay más noches cálidas. El porcentaje de noches cálidas se ha ido incrementando y estos cambios son más pronunciados en el verano y el otoño. Para Argentina (Barrucand, 2008) detectó un aumento en la frecuencia de noches cálidas, excepto en julio que presentó una tendencia negativa en el centro-este de ese país.

En un estudio realizado en Uruguay para el período 1907-2005 se ha registrado una disminución de las temperaturas máximas anuales, así como un aumento en los valores mínimos absolutos de las temperaturas mínimas, evidenciando un calentamiento en la época fría del año (Renom, 2009).

Las evaluaciones de la probabilidad y/o la confianza de ocurrencia de las siguientes proyecciones para el final del siglo XXI (en relación con el clima al final del siglo XX) a escala mundial determinaron: a) los modelos proyectan un calentamiento sustancial de las temperaturas extremas hacia finales del siglo, b) es altamente probable el aumento de la frecuencia y la magnitud de extremos cálidos de la temperatura y disminución de los días extremadamente fríos y c) es muy probable que la duración, la frecuencia y/o intensidad de las olas de calor aumentará en la mayoría de áreas de Tierra (Seneviratne et al., 2012). El análisis de series de temperaturas extremas de 1950 a 2008 para toda Sudamérica proporciona evidencia del calentamiento ocurrido desde la mitad del siglo XX en adelante para este continente. Los índices calculados para las temperaturas mínimas muestran las mayores tasas de incremento p. e. para noches tropicales (días con temperaturas mínima mayores a 20°C), para noches frías (días con temperatura mínima menor al percentil 10 de la serie 1970-2000) y noches cálidas, días con temperaturas mínimas mayores al percentil 90 de la serie 1970-2000). Mientras que durante el día (temperaturas máximas) los índices de temperatura también apuntan al incremento. Las tendencias para los índices promedio de toda Sudamérica resultaron moderados a débiles, y la mayoría de ellos apuntan a una Sudamérica menos fría durante el día y con temperaturas nocturnas más cálidas (Skansi et al., 2013).

Según el glosario del IPCC (2013, 8) se definen como eventos extremos un evento meteorológico raro en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, la rareza normal de un evento meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 90 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada para la variable en cuestión en relación a una serie de datos de al menos treinta años.

Según Della-Marta y Beniston (2008) un día cálido es definido como el día en el cual la temperatura máxima excede el percentil 95 de temperaturas máximas diarias. Una ola de calor es definida como el máximo número de días consecutivos donde la máxima temperatura diaria excede el percentil 95 de la temperatura máxima diaria. Ese percentil 95 es calculado utilizando una serie de datos diarios de un período climático. En analogía al criterio definido por Della-Marta y Beniston (2008) para los días cálidos, una noche cálida puede definirse como el día en que la temperatura mínima excede el percentil 95 de las temperaturas mínimas diarias de esa localidad para una serie de 30 años o más.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la ocurrencia de eventos extremos de temperatura (olas de calor) en dos localidades de nuestro país durante los últimos 30 años del siglo XX y durante los primeros 22 años del siglo XXI.

Materiales y métodos

Se analizaron registros diarios de temperatura del aire máxima y mínima desde el 1 de julio de 1970 al 30 de junio del 2022 (52 años agrícolas), de las estaciones meteorológicas ubicadas en dos localidades del Litoral Oeste del Uruguay: Paysandú -32.348 -58.037 (dependiente del Instituto Uruguayo de Meteorología) y de La Estanzuela (LE), Colonia -34.337 -57.709 (dependiente del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Considerando el comienzo del año agrícola el 1 de julio de un año y el fin el 30 de junio del año siguiente.

Para este trabajo se estimó la temperatura correspondiente al percentil 95 de la temperatura mínima (T_{min}) y la temperatura correspondiente al percentil 95 de la temperatura máxima del aire (T_{MAX}) de la serie de datos 1971-2021 para ambas localidades.

En base a esas temperaturas máximas y mínimas percentil 95 (p_{95}) se identificaron la ocurrencia de las olas de calor y su severidad según los siguientes criterios:

- ***Ola de calor severa (OCS):***
Si durante tres días consecutivos o más, las temperaturas mínimas del aire fueron iguales o superiores al p_{95} de la T_{min} y las temperaturas máximas del aire fueron iguales o superiores al p_{95} de la T_{MAX} .
- ***Ola de calor leve (OCL):***
Si durante tres días consecutivos o más, las temperaturas mínimas del aire fueron iguales o superiores al p_{95} de la T_{min} o las temperaturas máximas del aire fueron iguales o superiores al p_{95} de la T_{MAX} (solo uno de los criterios).

A las series de tiempo de temperatura se les realizó control de calidad utilizando el RCLimDex1.0. Este programa fue desarrollado por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) y se encuentra disponible libremente en la web.

El análisis del RCLimDex1.0 fue complementado con un procedimiento extra de control de calidad (QC) (Aguilar et al., 2010). El RCLimDex1.0 también permite calcular varios índices climáticos extremos.

De la gran cantidad de índices que permite calcular, se seleccionaron dos para caracterizar las tendencias de las temperaturas extremas durante los últimos 30 años del siglo XX vs los primeros 22 años del siglo XXI: Tropical nights o noches cálidas (TR20) que indica el número de días al año cuando las temperaturas mínimas son mayores a 20°C y Summer days o días cálidos (SU25) que indica el número de días al año cuando las temperaturas máximas son mayores a 25°C.

Los gráficos indican además de la tendencia de esos registros en el período analizado, la probabilidad de que esa tendencia sea estadísticamente significativa.

Resultados

La temperatura correspondiente al p95 de la T_{min} para La Estanzuela fue de 20,1°C y de 21,0°C para Paysandú. La temperatura correspondiente al p95 de la T_{MAX} fue de 31,9°C en La Estanzuela y de 34,4°C para Paysandú. En base a estas temperaturas se identificaron en los 52 años agrícolas 58 OCS y 102 OCL en La Estanzuela y 40 OCS y 112 OCL en Paysandú. En el régimen agroclimático de olas de calor (OC) que se presenta en el Cuadro 1 se indica que solo en tres años agrícolas no ocurrió ningún tipo de ola de calor del total de la serie en ambas localidades. En el *Cuadro 1* se describen todas las características relacionadas a las fechas de ocurrencia de los eventos extremos, así como la cantidad de OC según su severidad.

Cuadro 1.

Ocurrencia de olas de calor en el Litoral Oeste del Uruguay (Paysandú y La Estanzuela) durante el período 1970/1971 al 2021/2022 (52 años agrícolas) en cantidad y en porcentaje (%).

Media y desvío estándar (\pm DE); OC: ola de calor.

	Paysandú	La Estanzuela
Años con olas de calor	49 (94,2%)	49 (94,2%)
Años con olas de calor severas	28 (53,8%)	27 (51,9%)
Años con olas de calor leves	49 (94,2%)	49 (94,2%)
Inicio del período medio \pm DE con OC (día)	179 \pm 30 (26 de diciembre)	179 \pm 23 (26 de diciembre)
Fin del período medio \pm DE con OC (día)	224 \pm 25 (9 de febrero)	227 \pm 23 (12 de febrero)
Período medio con OC (día)	46	49
Fecha de inicio OC extrema mas temprana	10 setiembre 2013	26 de octubre 2021
Fecha de inicio OC extrema mas tardía	22 de marzo 1987	5 de abril 2014

En el *Cuadro 2* se presentan los resultados del mismo procesamiento, pero diferenciando los eventos que ocurrieron en los últimos 30 años del siglo XX de los acaecidos en los primeros 22 años del siglo XXI, indicando cambios en todas las variables descritas y por resaltar algunos de ellos: los días del período medio con ola de calor aumentaron en ambas localidades (8 para Paysandú y 12 para LE) y en Colonia se han registrado OC todos los años de este siglo.

Cuadro 2.

Ocurrencia de olas de calor en el Litoral Oeste del Uruguay (Paysandú y La Estanzuela) durante el período 1970/1971 al 1999/2000 (30 años agrícolas) y durante el período 2000/2001 al 2021/2022 (22 años agrícolas); cantidad y en porcentaje (%) OC.

Media y desvío estándar ($\pm DE$); OC: ola de calor.

Periodos (años)	1970/1971 a 1999/2000	
Localidades	Paysandú	La Estanzuela
Años con olas de calor	29 (96,6%)	27 (90%)
Años con olas de calor severas	14 (46,6%)	21 (70%)
Años con olas de calor leves	29 (96,6%)	49 (94,2%)
Inicio del período medio $\pm DE$ con OC (día)	186 \pm 28 (2 de enero)	183 \pm 22 (30 de diciembre)
Fin del períodomedio $\pm DE$ con OC (día)	227 \pm 27 (12 de febrero)	220 \pm 26 (5 de febrero)
Período medio con OC (día)	43	39
	2000/2001 a 2021/2022	
Años con olas de calor	20 (90,9%)	22 (100%)
Años con olas de calor severas	13 (59,1 %)	19 (86,4%)
Años con olas de calor leves	20 (66,6%)	22 (100%)
Inicio del período medio $\pm DE$ con OC (día)	169 \pm 31 (16 de diciembre)	174 \pm 24 (21 de diciembre)
Fin del períodomedio $\pm DE$ con OC (día)	219 \pm 23 (4 de febrero)	235 \pm 16 (20 de febrero)
Período medio con OC (día)	51	63

Del régimen agroclimático también se presentan la cantidad de OC según su severidad por mes del año tanto para el total de la serie como para los dos períodos (*Figura 1*); destacándose que para Paysandú en los últimos años del siglo XX solo un 35% del total de ese período de OCS ocurrieron en enero, y para los primeros años del siglo XXI ocurrieron el 55%, mientras que en LE los valores son similares 45% y 41,4% respectivamente.

También para el siglo XXI se pueden observar la ocurrencia de al menos una OC en los meses de septiembre y octubre (OCL en Paysandú) y en octubre y abril (OCL en LE) a diferencia del período anterior para esas localidades.

Los *Summer days* o *días cálidos* (SU25) (*Figura 2*) estimados para la serie 1971-2021 presentan una tendencia altamente significativa a incrementarse (Paysandú p-value=0,002 y LE p-value=0,006). Mientras que las *Tropical nights* o *noches cálidas* (TR20) (*Figura 3*) para el total de la serie en Paysandú, aunque se observa una tendencia a incrementarse esta no es significativa (p-value=0,144) a diferencia de LE donde la tendencia es altamente significativa (p-value=0,001).

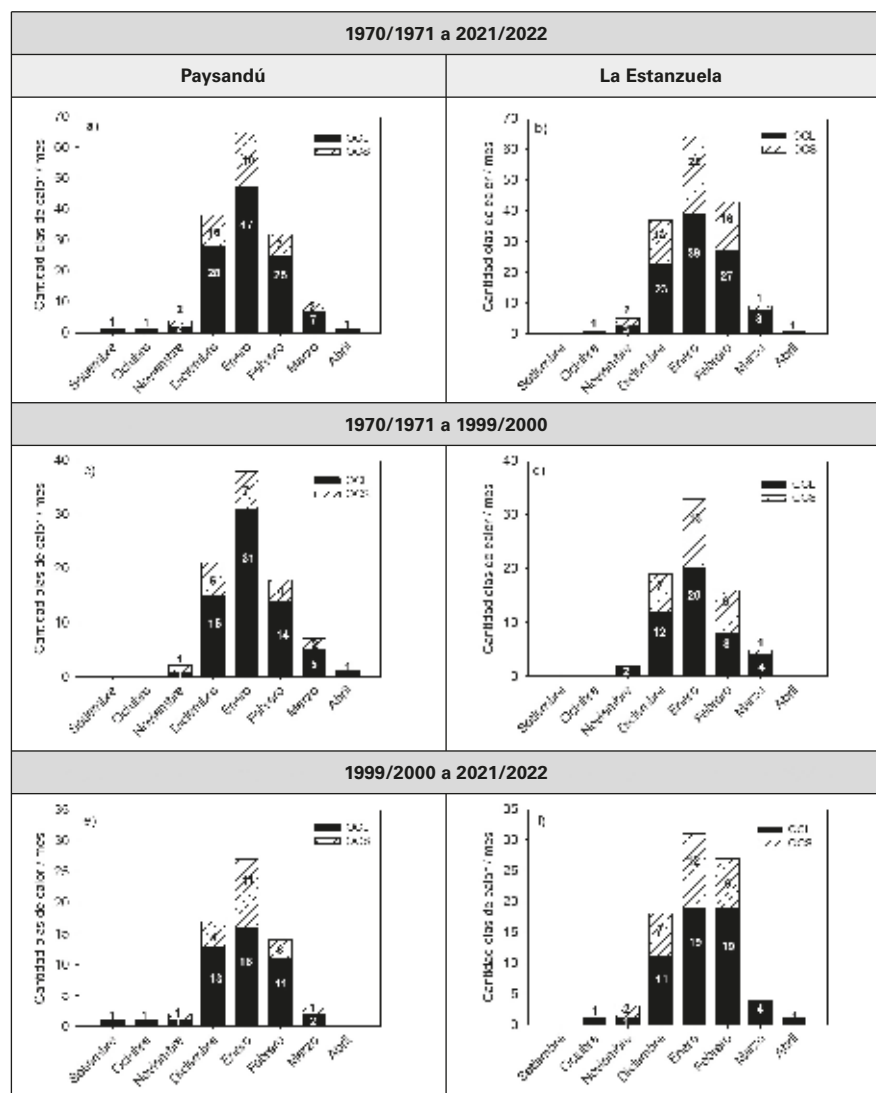


Figura 1.
 Cantidad de olas de calor (OCS olas de calor severas y OCL olas de calor leves) por mes del año para las localidades de Paysandú y La Estanzuela

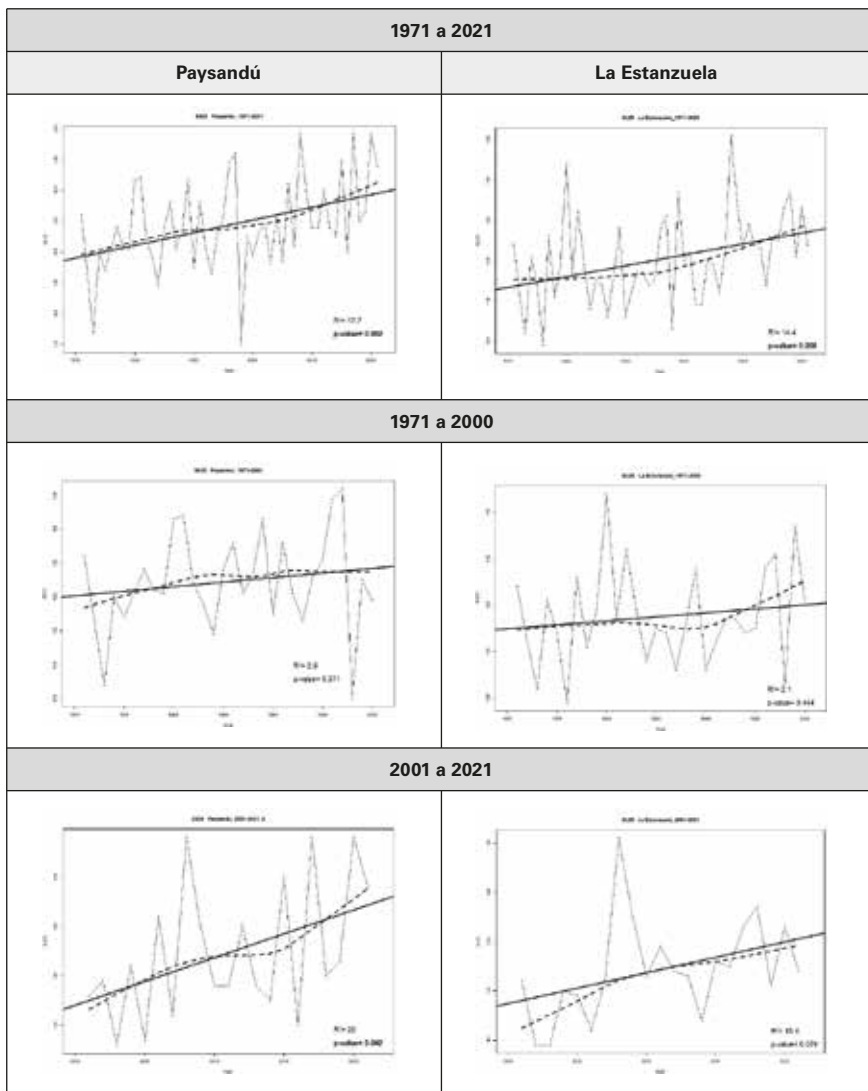


Figura 2.
 Índice climático básico estimado SU25 (Summer Day)
 para Paysandú y La Estanzuela

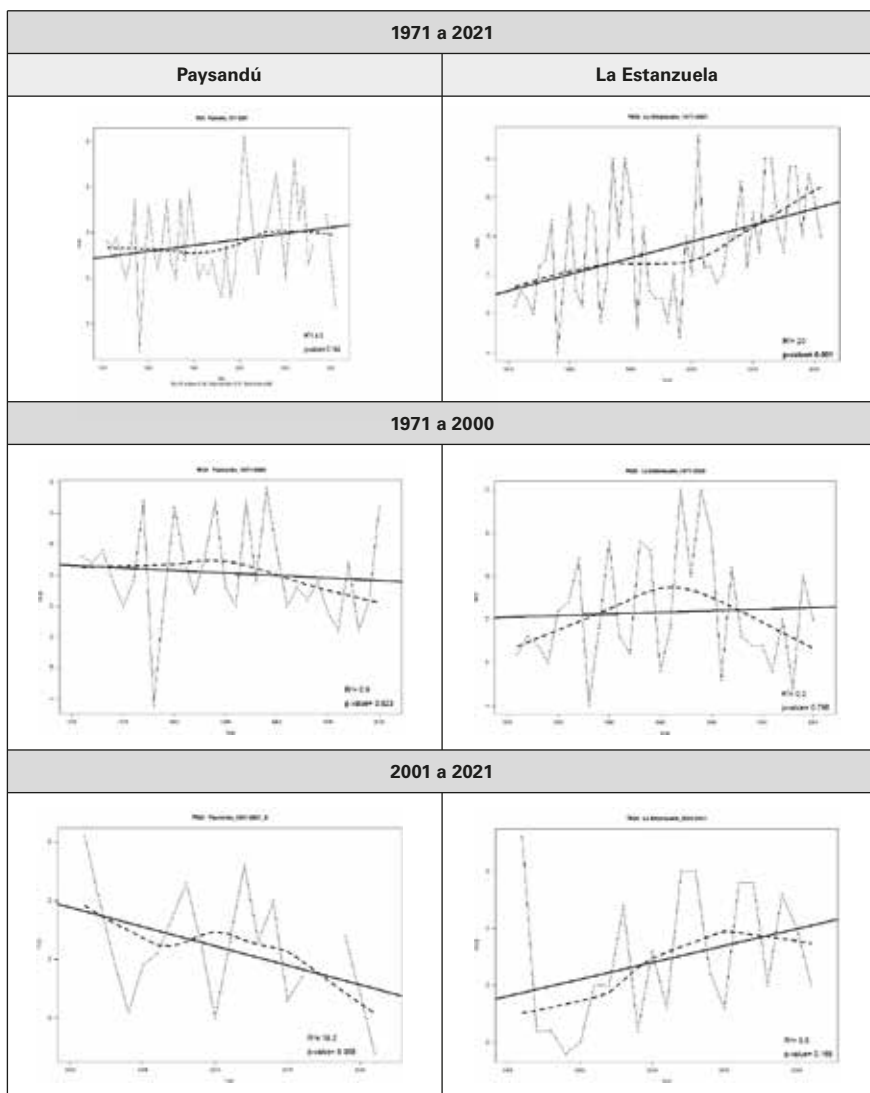


Figura 3.
 Índice climático básico estimado SU25 (Summer Day)
 para Paysandú y La Estanzuela

Estos índices presentan tendencias diferentes al separar los 52 años en dos períodos, en la *Figura 2* para el SU25 del 1971 al 2000 no hay tendencia significativa para ninguna de las dos localidades, mientras que para el período 2001-2021 hay una tendencia a incrementarse los días con TMAX mayor a 25°C con p-value=0,042 (significativo) en Paysandú y un p-value=0,079 (no significativo, solo indica tendencia) en LE. En la *Figura 3* para TR20 se observa algo similar, no presentando una tendencia significativa para los últimos años del siglo XX y una tendencia a disminuir las noches con temperaturas mínimas mayores a 20°C con un p-value=0,068 (no significativo, solo indica tendencia) para Paysandú y una tendencia no significativa a aumentar en LE (p-value=0,168).

Se identificó que en los últimos 22 años (siglo XXI) de los 52 años agrícolas analizados en LE ocurrieron el 55% de las OCL y el 50% de las OCS y en Paysandú el 40% de las OCL y el 50% de las OCS.

* * *

Referencias bibliográficas y videográficas

Aguilar, E., Sigró, J., Brunet, M., 2010.

RCLIMDEX con funcionalidades extras de Control de Calidad. Manual de Uso, versión 1.0, Centre for Climate Change self-editing, Tarragona.

Barrucand, MG, 2008. Extremos de temperaturas en Argentina: cambios observados en la variabilidad espacio-temporal y su relación con otras características del sistema climático. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires.

Della-Marta PM., Beniston, M., 2008.

Summer heat waves in Western Europe, their past change and future projections. In: Climate variability and extremes during the past 100 years. S. Brönnimann et al. (eds.), Springer, Dordrecht p 235-250

Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), 2002. En: World Climate Research Programme (WCRP) disponible en <https://www.wcrp-climate.org/etccdi> acceso agosto 2022.

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca-(MGAP) - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-(FAO), 2013. Estudio sobre políticas públicas y medidas de adaptación del sector agropecuario al cambio climático. Volumen VII de Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Autores: Rosas, JF; Arboleya, I.; Carriquiry, MA.; Licandro, H.; Millán, J.; Picasso, V.. Resultado del proyecto FAOTCP URU 3302, Montevideo.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2013. Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

Renom, M. 2009. *Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.

Skansi, M., Brunet, M., Sigró, J., Arevalo, J., Bentancur, O., Aguilar, E., Castellón, Y., Correa Amaya, R., Jácome, H., Malheiros-Ramos, A., Oria, C., Pasten, M., Sallons, S.; Villarroel, C., Martínez, R., Alexander, L., Jones, P., 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change* 100: 295–307.

Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess C., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., Zhang, X., 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. En: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C. et al. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, pp.109-230.

Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Berlato, M.A. and Grimm, A.M., 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of climate*, 18(23), pp.5011-5023.

Capítulo 8

Isla de Calor Urbana en Montevideo, conceptos principales y una metodología para su caracterización

Lucía Gutiérrez ¹

¹ Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Departamento de Ambiente construido, Udelar

Palabras clave:

Isla de Calor Urbana, Confort, Cambio y Variabilidad Climática.

Resumen:

El presente trabajo forma parte del desarrollo de la Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano en curso, en él se presentan inicialmente los principales conceptos y hallazgos a nivel internacional en el estudio de la Isla de Calor Urbana. Luego, se presentan los estudios previos realizados para la ciudad de Montevideo y sus conclusiones. Finalmente, se presenta la metodología utilizada en la tesis para la caracterización de la Isla de Calor Urbana, sus resultados principales y algunas conclusiones. Los resultados, aunque aún preliminares, muestran la existencia del fenómeno en el período analizado, con intensidades mayores hacia el centro de la ciudad y en las primeras horas de la madrugada.

Introducción

Hace más de un siglo, con los estudios de Luke Howard en Londres, comenzaron a registrarse las alteraciones que las urbanizaciones generan sobre el clima local, hoy podemos decir que es una de las áreas más relevantes en este campo de investigación (Palme & Salvati 2021). A escala local o microclimática, el clima puede verse afectado por su entorno próximo -la rugosidad de la superficie, la materialidad del espacio construido, la vegetación, el agua, la topografía, etc.-, en las ciudades, la interacción entre las condiciones meteorológicas, la estructura urbana y la actividad humana, da lugar a microclimas con características diferentes a las de su entorno próximo.

El fenómeno más documentado de los microclimas urbanos es la llamada Isla de Calor Urbana (ICU o UHI por sus siglas en inglés) (Alchapar 2014). La ICU es consecuencia de las diferencias en el balance energético de la superficie urbana en comparación con el entorno no urbano circundante. Debido a la rugosidad de la ciudad se genera una estratificación atmosférica que da lugar a diferentes tipos de ICU: la ICU a nivel de dosel urbano (CUHI por su sigla en inglés), ICU de la capa límite urbano (BUHI), ICU de superficie (SUHI) y la ICU de sustrato (GUHI). De estas, CUHI y SUHI son las más estudiadas, siendo el estudio de CUHI lo que se aborda en este trabajo, refiere a la diferencia de temperatura del aire en la capa de dosel urbano (debajo de la altura promedio de los edificios) de una zona urbana y la temperatura del aire en el área rural circundante (Oke 1982, Arnfield 1982).

En contexto de cambio y variabilidad climática este fenómeno cobra crucial relevancia ya que se genera una retroalimentación con los fenómenos previstos de aumento de las temperaturas medias, y la frecuencia y duración de olas de calor. Esto, por un lado, impacta directamente en el confort de las personas, los estudios realizados han observado que las ciudades responden de manera diferente a las olas de calor que las áreas rurales, y el estrés térmico durante las olas de calor en la ciudad puede ser mayor. Además, se vienen registrando aumentos en la mortalidad y morbilidad relacionadas al calor, y en la concentración de contaminantes nocivos.

Por otro lado, numerosos estudios han mostrado la relación del fenómeno con un fuerte incremento en la demanda energética de los edificios (Santamouris 2020).

El fenómeno de ICU es multicausal y se debe a interacciones complejas, los factores que influyen en su intensidad pueden derivar de la localización geográfica de la ciudad -clima, topografía, entorno rural-, el tiempo -día, estación-, el clima sinóptico -viento, nubosidad- y de la forma y función de la ciudad -materiales, geometría, infraestructura verde, uso de la energía, uso del agua, polución-.

Oke (1982) destaca que la variable meteorológica más importante que rige la intensidad de la isla de calor es la velocidad del viento y la siguiente es la nubosidad. En las ciudades de latitudes templadas, donde se han realizado la mayor cantidad de estudios, se registra una variación estacional de la ICU, con mayor frecuencia e intensidad en la mitad más cálida del año (Oke, 1982).

Alchapar (2014) concluye de los estudios de Jauregui, Montavez et al. y Kim & Baik, que el 75 % del total de las observaciones de intensidad de ICU fueron registradas durante la noche. Por otro lado, Parlow (2011) y Venter (2020) afirman que la intensidad de la ICU está correlacionada positivamente con el tamaño de la ciudad.

Mills (2021) resume como los principales hallazgos respecto a las características de la CUHI que: es más fuerte bajo cielos despejados y en condiciones de calma durante un período seco, aumenta su intensidad a partir de la puesta del sol y es mayor unas 4 horas después, aumenta espacialmente desde el borde de baja densidad urbana hacia su centro o centros de mayor densidad, incluye zonas más frías que coinciden con zonas de cubierta vegetal o agua, tiene implicaciones para la agricultura, el diseño de asentamientos, la previsión meteorológica y la salud humana.

Isla de Calor Urbana en Montevideo

Si bien se trata de un fenómeno muy estudiado en diversas ciudades del mundo, en nuestro país es aún muy incipiente su estudio y no se cuenta con información que permita caracterizar este fenómeno, siquiera en la ciudad de mayor tamaño, densidad de población y capital del país, Montevideo.

Molinari (2016) realizó el estudio de ICU en la ciudad de Montevideo a través de imágenes satelitales Landsat 5 concluyendo que “la tendencia en la zona urbana es mayor -en valor absoluto- que en la rural tanto en la temporada cálida (positiva) como en la fría (negativa). Esto evidencia un comportamiento diferencial entre ambas áreas, sugiriendo que la urbanización genera un efecto de ICU en la temporada cálida” (Molinari 2016). Si bien el estudio confirma la existencia del fenómeno, las conclusiones se ven limitadas espacial y temporalmente debido a la baja disponibilidad de imágenes y a la condicionante del horario en que pasa el satélite.

En 2020, en el marco del convenio de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-Nap Ciudades, se desarrolló el trabajo “Adapta. Aproximaciones disciplinares para la adaptación de ciudades y edificaciones al cambio y variabilidad climática” (Sierra et al. 2021). En él se realizaron las primeras simulaciones de clima urbano para cuatro localidades del país, entre ellas Montevideo, utilizando el software Urban Weather Generator. Si bien los resultados no son precisos, pues muchos de los datos de entrada se calibraron por defecto ya que no se cuenta con información local, estos muestran la existencia de una ICU nocturna, en la que la temperatura de la ciudad comienza a despegarse de la rural a partir de las 18 hs y alcanza las mayores diferencias en las primeras horas de la madrugada.

Si bien ambos estudios confirman la existencia del fenómeno, no alcanzan a caracterizarlo territorialmente, lo que se entiende necesario para aportar insumos a la planificación y diseño urbano.

Metodologías utilizadas para su caracterización

Según el tipo de ICU que se estudia se han utilizado diferentes herramientas y metodologías. Para la medición de la intensidad de CUHI, pueden utilizarse sensores fijos o móviles, a esta última metodología se le llama transectos y es la que se desarrolla en este trabajo. De acuerdo a la bibliografía consultada es un método aceptado para la observación de las variaciones del clima urbano, utilizado a nivel internacional desde hace varios años (Evans y de Schiller 2005, Correa et al. 2004, Maristany 2008).

Siendo que el trabajo se desarrolla en el marco de una tesis de maestría, el objetivo de la medición fue por un lado, aplicar y ajustar una metodología validada para la medición de la ICU, realizar un relevamiento que confirme la existencia del fenómeno y justifique el desarrollo de un estudio sistemático futuro que permita la caracterización territorial del fenómeno, por último, la detección de áreas críticas, donde se profundizará el estudio y se calibrarán modelos de simulación para el ensayo de estrategias de mitigación y adaptación.

Para las mediciones móviles sobre los transectos se utilizaron sensores Elitech RC-4HC con certificado de calibración vigente, colocados sobre vehículos y protegidos por una caseta plástica, ventilada y forrada en su interior con aluminio para disminuir su emitancia.

Los recorridos se realizaron en dos momentos del período caluroso en 2022, el día 9 de febrero a las 18 hs y 23 hs y 10 de febrero a las 6 hs; y 28 de febrero a las 18 hs y 23 hs y 1 de marzo a las 6 hs.

La definición de los horarios para realizar los recorridos se tomó de la revisión bibliográfica y de los resultados de las simulaciones realizadas en el trabajo antes mencionado. La definición de los días en que se realizaron las mediciones estuvo condicionada por la disponibilidad de quienes dispusieron su vehículo y tiempo para realizarlas.

El relevamiento de datos se realizó mediante el recorrido simultáneo, a una velocidad de entre 25 y 30 km/h (Saz Sánchez et al. 2002), de cuatro transectos (ver *Figura 1*). Cada datalogger fue programado para tomar un registro de temperatura por minuto, paralelamente se registró la ubicación de los vehículos mediante la aplicación GPSTLogger de libre acceso.

Por otro lado, se registran los datos de temperatura y humedad de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología ubicada en el aeropuerto internacional de Carrasco, para su posterior comparación con los datos registrados.

Los datos de temperatura y humedad registrados se georeferenciaron por su coincidencia en horario con el registro del gps de cada vehículo y se mapearon con el sistema de información geográfica de libre acceso Qgis.



Figura 1.
Recorridos de los transectos. Fuente: Elaboración propia.

Transecto 1
Ciudad Vieja a Carrasco

		T(°C) Transecto (a)	T(°C) Est.Carrasco (b)		
18 hs	Máx.	27,6	25,7	1,9	Máx. Δ (a-b)
	Min.	25,1	24,9	0,2	Min. Δ (a-b)
	Δ	2,5	0,8		
22 hs	Máx.	21,5	19,6	1,9	Máx. Δ (a-b)
	Min.	20,3	19,3	1,0	Min. Δ (a-b)
	Δ	1,2	0,3		
06 hs	Máx.	19,7	14,7	5,5	Máx. Δ (a-b)
	Min.	16,4	13,4	3,0	Min. Δ (a-b)
	Δ	3,3	1,3		

Transecto 2
Carrasco a Ciudad Vieja

		T(°C) Transecto (a)	T(°C) Est.Carrasco (b)		
18 hs	Máx.	28,4	25,7	2,7	Máx. Δ (a-b)
	Min.	25,9	24,9	0,7	Min. Δ (a-b)
	Δ	2,5	0,8		
22 hs	Máx.	20,5	19,6	0,9	Máx. Δ (a-b)
	Min.	20,0	19,3	0,5	Min. Δ (a-b)
	Δ	0,5	0,3		
06 hs	Máx.	17,5	14,6	4,0	Máx. Δ (a-b)
	Min.	15,8	13,5	1,4	Min. Δ (a-b)
	Δ	1,9	1,1		

Cuadro 1.

Resumen de resultados de mediciones de 4 transectos realizados el 28 de febrero a las 18:00 hs y a las 23:00 hs y el 1 de marzo a las 6:00 hs.

Transecto 3
Parque Rodó a
Bella Italia

		T(°C) Transecto (a)	T(°C) Est.Carrasco (b)		
18 hs	Máx.	26,7	25,7	1,0	Máx. Δ (a-b)
	Min.	25,6	25,3	0,3	Min. Δ (a-b)
	Δ	1,2	0,4		
22 hs	Máx.	21,7	19,6	1,7	Máx. Δ (a-b)
	Min.	19,8	19,4	0,4	Min. Δ (a-b)
	Δ	1,9	0,2		
06 hs	Máx.	19,0	14,6	4,8	Máx. Δ (a-b)
	Min.	14,9	13,4	1,5	Min. Δ (a-b)
	Δ	4,2	1,3		

Transecto 4
Barrio Sur a
Colón

		T(°C) Transecto (a)	T(°C) Est.Carrasco (b)		
18 hs	Máx.	26,5	25,7	0,8	Máx. Δ (a-b)
	Min.	25,5	25,3	-0,1	Min. Δ (a-b)
	Δ	1,0	0,4		
22 hs	Máx.	20,5	19,6	1,0	Máx. Δ (a-b)
	Min.	19,7	19,3	0,4	Min. Δ (a-b)
	Δ	0,8	0,3		
06 hs	Máx.	18,4	14,6	4,0	Máx. Δ (a-b)
	Min.	14,9	13,4	1,5	Min. Δ (a-b)
	Δ	3,5	1,3		

Resultados

En el *Cuadro 1* se muestra un resumen de los principales resultados de las mediciones realizadas el 28 de febrero y 1ro de marzo y su comparación con la temperatura medida en la estación meteorológica de Carrasco. En él se observa que en todos los horarios y en todos los transectos se registraron diferencias de temperatura entre la medida y la registrada en la estación meteorológica. En todos los horarios, las máximas diferencias de temperaturas (mayores intensidades de CUHI) se registraron geográficamente hacia la zona céntrica de la ciudad. Se destaca que las mayores intensidades de CUHI se registraron en los transectos realizados a las 6:00 hs, alcanzando valores de entre 4,0 y 5,5 grados de diferencia entre la temperatura medida en la zona céntrica de la ciudad y la registrada en la estación meteorológica.

Conclusiones

Los resultados de las mediciones confirman las hipótesis de partida obtenidas de la revisión bibliográfica. Por un lado, se registró una CUHI con mayor intensidad hacia el centro de la ciudad en todos los horarios registrados. Por otro, de los tres horarios en los que se realizaron las mediciones, las mayores intensidades de CUHI se registraron en el recorrido de las 6:00 hs.

El fenómeno de ICU afecta al confort y la salud humana, en los próximos años su impacto cobrará mayor relevancia debido a su interacción con el fenómeno de CVC. Los estudios realizados confirman la existencia del fenómeno en la ciudad de Montevideo, en el período caluroso. Si bien esto representa un avance, es necesario continuar investigando y generar información local que pueda alimentar los softwares de simulación para el trabajo con escenarios futuros, así como para informar a los tomadores de decisión en la generación de políticas adaptadas al contexto.

* * *

Referencias bibliográficas

Alchapar, N., 2014. Materiales de la envolvente urbana. Valoración de su aptitud para mitigar la isla de calor en ciudades de zonas áridas (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta.

Arnfield, A.J., 1982. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. *Physical Geography*, 3(2), pp.97-122.

Correa, É.N., Godeau, N., Rosa, C.D. and Lesino, G., 2004. Estudio de la estructura de la isla de calor urbana de la ciudad de Mendoza a partir de mediciones móviles en el área metropolitana. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8.

Evans, J.M. and Schiller, S.D., 2005. La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9.

Maristany, A.R., Abadía, L., Angiolini, S., Pacharoni, A. and Pardina, M., 2008. Estudio del fenómeno de la isla de calor en la ciudad de Córdoba. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12.

Mills, G., Futcher, J. and Stewart, I.D., 2021. The urban heat island: its energetic basis and management. *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, pp.23-53.

Molinari, M., 2016, 'Caracterización de la evolución del efecto isla de calor en la ciudad de Montevideo', *Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República*, Montevideo, Uruguay.

Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), pp.1-24.

Palme, M. and Salvati, A., 2021. Introduction: Anthropocene or Urbanocene?. *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, pp.1-9.

Parlow, E., 2011, 'Urban climate', in *Urban ecology*, New York: Oxford University Press, 31–44.

Santamouris, M., 2020. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, p.109482.

Sánchez, M.A.S., Serrano, S.V. and Prats, J.C., 2003, September. Spatial patterns estimation of urban heat island of Zaragoza (Spain) using GIS. In *Proc. 5th Int. Conf. Urban Climate (Vol. 2, pp. 409-412)*.

Sierra, P et al., 2021, *Adapta. Aproximaciones disciplinares para la adaptación de ciudades y edificaciones al cambio y variabilidad climática*, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Venter, Z.S., Krog, N.H. and Barton, D.N., 2020. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Science of the Total Environment*, 709, p.136193.

Capítulo 9

Efecto del sombreado de alineaciones de árboles sobre la reducción de la temperatura microambiental y el confort térmico en Montevideo

Emilio Terrani ¹, Alicia Picción ²,
Oscar Bentancur ³, Gabriela Cruz ³

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales. Udelar

² Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Udelar

³ Facultad de Agronomía, Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Udelar

⁴ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

arbolado urbano, confort térmico exterior, microambiente urbano.

Resumen

Los árboles al sombrear superficies refrescan el microambiente local ya que el calor que sienten las personas depende en mayor medida de la temperatura de los objetos del entorno y del grado de insolación, que de la temperatura del aire. En ese sentido el objetivo general fue analizar el efecto y contribución del sombreado del arbolado viario en la ciudad de Montevideo sobre la reducción de la temperatura microambiental y el confort térmico humano. Para esto se midió la temperatura en tres calles céntricas de la ciudad con tramos arbolados y tramos sin sombra, a través de la colocación de sensores de temperatura durante el verano, donde se encontraron diferencias de hasta 14°C entre sitios sombreados y sitios sin sombra. A su vez, se realizaron encuestas a peatones en cada mes estival, para indagar sobre su nivel de confort térmico. Al momento de la encuesta se midió la temperatura de superficies, temperatura del aire y velocidad del viento. Se comparó el efecto de las alineaciones de árboles sobre los parámetros físicos y sobre el confort térmico percibido por los peatones. El efecto refrescante local de la sombra de los árboles mejoró el nivel de confort de las personas. A su vez, esta sombra permite a los individuos alcanzar condiciones de neutralidad térmica más fácilmente y por otro lado, elimina la sensación extrema de “disconfort” por calor. Se analizaron las asociaciones entre las variables físicas y las respuestas de los encuestados, donde se encontró que el principal efecto de la sombra se asocia a la disminución de la temperatura que resulta de la emisión de las superficies construidas del entorno. Así, las alineaciones de árboles constituyen una herramienta en la mejora microambiental de calles en ciudades de clima templado disminuyendo la incomodidad por calor percibida por las personas durante el verano.

Introducción

Árboles y ciudades

El uso de vegetación en ciudades es una de las estrategias más prometedoras para la adaptación al cambio climático, que involucra también la capacidad de mitigación, además de ser en sí misma una herramienta de acondicionamiento del espacio urbano (Gill et al., 2007; Nowak et al., 1997).

Los árboles en las ciudades proporcionan múltiples beneficios sociales, físicos, biológicos y económicos. Con un adecuado marco de plantación y a gran escala, pueden contrarrestar parte de los efectos adversos que genera el medio urbano, como atemperar el clima y los cambios de temperatura, capturan partículas contaminantes del aire, proporcionan aislación acústica, disminuyen el agua de escorrentía y brindan refugio a la fauna. Modifican el microclima urbano ya que alteran la velocidad del viento, evapotranspiran y sombream superficies (Nowak et al., 1997). Llegan a interceptar hasta un 85% de la radiación solar que incide sobre una fachada (Heisler, 1986) y la temperatura máxima del concreto puede ser reducida hasta 19 °C con su sombra, lo cual provee grandes beneficios refrescando el ambiente local (Armson et al., 2012).

Confort térmico humano

El confort térmico es uno de los principales factores que influye sobre las personas al momento de realizar actividades al aire libre y para el uso de los espacios públicos en la ciudad (Guzmán y Ochoa, 2014).

El confort térmico humano es aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico evaluada de forma subjetiva.

Los principales factores que inciden son: la tasa metabólica, vestimenta, temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del viento y humedad relativa. El nivel de confort está relacionado con la sensación térmica, ya que una persona que no siente ni frío ni calor, estaría térmicamente confortable (ASHRAE, 2013).

El calor que sienten las personas depende en mayor medida de la temperatura de los objetos del entorno y del grado de insolación, que de la temperatura del aire (Monteith y Unsworth, 2013). Las personas recurren a la adaptación física para vincularse con el ambiente térmico y sus requerimientos, pero la adaptación psicológica es un factor importante que influye en la percepción subjetiva y el disfrute del ambiente de los espacios exteriores (Thorsson et al., 2004).

Todas las primaveras es tema de discusión pública los inconvenientes que genera la fructificación de los “plátanos” en la ciudad de Montevideo, motivando la idea de que su extracción sería la solución, sin contraponer los aspectos positivos de esta especie. Según las especies evaluadas por Sanusi et al. (2017), el “plátano” (*Platanus x hispanica*) es una de las que provee mayores beneficios microclimáticos sobre las calles. Esta especie se ha utilizado en muchas ciudades del mundo ya que es un árbol de rápido crecimiento, tolerante a la contaminación atmosférica y a la compactación del suelo. La calidad de su madera y su excelente sanidad lo convierten en un árbol muy seguro además de soportar podas intensas (Grau & Kortsarz, 2012; Valla et al., 2001). Esta especie constituye el 48% de los individuos presentes en los barrios céntricos de Montevideo, y ha demostrado adaptarse correctamente a la ciudad con una buena performance en relación al resto de las especies (Terrani, 2014).

Metodología

Se seleccionaron tres calles céntricas de la ciudad de Montevideo a modo de repeticiones (Figura 1), cada una con tramos arbolados y tramos sin sombra. Los tramos de calles seleccionados fueron:

Mercedes (-34.9010107, -56.1791337 y -34.901842, -56.181094), J. E. Rodó (-34.903173, -56.168797 y -34.903004, -56.166710) y Durazno (-34.9097937, -56.1765968 y -34.909817, -56.175308).

Todas tienen un trazado predominantemente este-oeste y se encuentran en el municipio B, segundo en densidad de población, con 128 habitantes por hectárea y con una proporción de un árbol en alineación cada 9 personas (Terrani, 2014). Se utilizaron las aceras orientadas al sur para las mediciones, ya que son las que reciben el asoleamiento. Si bien el perfil de construcciones varía entre 9 y 30 m de altura en esas calles, se verificó que las edificaciones del entorno a los sitios de mediciones no superaran la altura de los árboles y no proyectaran sombra sobre la vereda sur.

El ancho de la calzada en las calles de estudio tiene un rango de 9 a 11 m y las veredas de 3 a 4 m. El pavimento de las calles es asfalto y las veredas son de baldosas de hormigón utilizadas habitualmente en Montevideo.

La especie alineada en los tramos arbolados corresponde al “plátano” (*Platanus x hispanica*), ejemplares coetáneos, adultos y desarrollados. Sus diámetros oscilan dentro de un rango de 43 a 97 cm y su altura entre 11 y 20 m, su estado sanitario general es bueno. Las alineaciones generan un dosel continuo entre sus copas y están plantados a una distancia promedio de 17 m de separación entre individuos, sobre la vereda, entre el espacio de circulación peatonal y la calle.

El manejo recibido en cuanto a poda es el que se utiliza habitualmente en Montevideo para el mantenimiento de ejemplares de estas características, denominado “desbrote”. Es el mantenimiento básico para evitar interferencias con cartelería, vehículos y peatones, sin afectar el dosel superior ni la estructura del ejemplar (Terrani, 2014).

Este manejo no difiere entre las distintas calles.







Tramos arbolados	Tramos sin sombra
Calle Mercedes	
	
Calle J.E. Rodó	
	
Calle Durazno	
	

Figura 1.
Sitios de medición.
Fuente: Elaboración propia.

Medición del ambiente físico

Se colocaron seis esferas de Vernon tradicionales en tres sitios sombreados y tres en sitios a pleno sol (*Figura 2*). Este instrumento consiste en una esfera de cobre de 15 cm de diámetro, hueca, pintada exteriormente de color negro mate y con un termómetro en su interior (Bedford y Warner, 1934; Thorsson et al., 2007b).

Se instalaron sobre fachada con orientación Norte (lo que corresponde a la acera sur), de forma de asegurar el asoleamiento y el menor sombreado de las propias construcciones. Para evitar el hurto de los equipos, estos fueron colocados a una altura de entre 5 y 16 m, que corresponde a la segunda planta de las edificaciones. Esto implica que los registros se tomaron aproximadamente entre 3,3 y 14,3 m por arriba de la altura media de un peatón. Los sensores utilizados en su interior (TagTemp-S NFC portable data logger) se configuraron para registrar la temperatura (T globo) dentro de la esfera cada 1 hora desde diciembre de 2018 hasta marzo de 2019. También se registró con termómetro infrarrojo y un termo-anemómetro medidas instantáneas de temperatura de superficies (T fachada, T vereda y T calle), temperatura del aire (T aire) y velocidad del viento (V viento) al momento de realizar las encuestas en los sitios donde se instalaron las esferas.

Las alineaciones de árboles en los sitios bajo sombra tienen una configuración "ideal" (*Figura 3*) según lo que se recomienda para ciudades de clima templado como Montevideo: son árboles de gran porte, de follaje caduco y se encuentran plantados en el espacio entre la calle y la acera, a una distancia tal que se genera un dosel continuo entre sus copas (Strom, 2007).

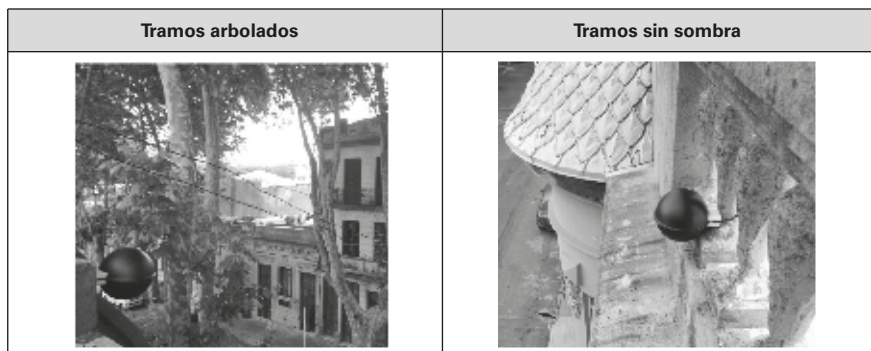








Figura 2.

Esferas.

Fuente: Elaboración propia.

Tramos arbolados	Tramos sin sombra
<p data-bbox="129 248 482 268">Calle Mercedes -34.9010107, -56.1791337</p> 	<p data-bbox="557 248 889 268">Calle Mercedes -34.901842, -56.181094</p> 
<p data-bbox="129 600 465 619">Calle J.E. Rodó -34.903173, -56.168797</p> 	<p data-bbox="557 600 889 619">Calle J.E. Rodó -34.903004, -56.166710</p> 
<p data-bbox="129 951 465 970">Calle Durazno -34.9097937, -56.176596</p> 	<p data-bbox="557 951 878 970">Calle Durazno -34.909817, -56,175308</p> 

○ Ubicación de las esferas

Figura 3.
Ubicación de esferas. Fuente: Elaboración propia.

Medición del ambiente físico

Se encuestó mensualmente a las personas que circulaban o se encontraron en la vereda (transeúntes) de las tres calles seleccionadas, durante las horas de mayores temperaturas (11:00 a 16:00 h), en días despejados y de viento calmo, durante la época estival (21/12/2018, 21/01/2019, 18/02/2019 y 28/03/2019).

Se recabó información a través de un cuestionario estandarizado y con un muestreo de tipo “subjetivo por decisión razonada”.

En este tipo de muestreo, las unidades de la muestra se eligen en relación a alguna de sus características, como por ejemplo, estar caminando por una calle sombreada. Se usa cuando la muestra es muy limitada y se quiere evitar oscilaciones casuales que distancien la muestra de las características de la población que se quiere estudiar (Corbetta, 2007). Los individuos (exceptuando niños) fueron elegibles solo por el hecho de circular o encontrarse en el sitio seleccionado al momento del muestreo sin hacer distinción por edad, sexo o ninguna otra característica percibida.

Quedaron por fuera aquellas personas que no estuvieron dispuestas a ser encuestadas o aquellas que pasaron en el mismo momento que había una encuesta en curso. Durante cada día seleccionado, se encuestaron 5 personas por sitio (30 en total), que fue el número máximo para poder realizar durante el horario estipulado, de forma que todas se hicieran el mismo día y por lo tanto los encuestados se encontraran bajo condiciones similares.

El cuestionario de confort térmico exterior utilizado para las encuestas se basó en las categorías propuestas por ASHRAE (2013) y tomó aspectos planteados por Thorsson et al. (2007a). Se constituyó principalmente con preguntas y respuestas estandarizadas tomando como referencia un cuestionario elaborado previamente por Vázquez et al. (2018). Se relevaron en primer lugar las propiedades sociodemográficas básicas y aspectos específicos de los individuos: sexo, edad, peso y vestimenta (*Figura 4*).

En segundo lugar se hicieron preguntas relativas a su comportamiento: la actividad que estaba realizando al momento que se inició la encuesta y durante los últimos 15 minutos previos (*Figura 4*). Se hicieron preguntas relativas a actitudes, donde se indagó sobre la sensación térmica actual del individuo según una escala de 7 niveles: muy frío, frío, levemente frío, neutral, levemente caluroso, caluroso, muy caluroso (*Figura 4*). Seguidamente se consultó sobre las preferencias térmicas en ese momento también según escalas de 7 niveles; mucho más frío, más frío, un poco de frío, igual, un poco de calor, más calor, mucho más calor. Por último, se preguntó acerca del grado de confort con una escala de 3 niveles: confortable, aceptable, discomfort (*Figura 4*)

Figura 4.

Cuestionario de confort térmico exterior. Fuente: Elaboración propia.

Temperatura del aire	Velocidad del viento	Temperatura de la calle	Temperatura de la vereda	Temperatura de la fachada

Fecha		Sexo		Edad	
Hora		Peso	1	2	3
Ubicación		Ocupación			

Vestimenta –

Superior

1. Remera s/mangas
2. Remera m/corta
3. Remera m/larga

4. Buzo
5. Campera

Inferior

1. Bermuda/Falda
2. Pantalón largo

Calzado

1. Cerrado
2. Abierto

Qué actividad esta haciendo en este momento:

- a. Sentado b. De pie c. Caminando d. Ejercicio

1. a. Vive en el barrio b. Trabaja en el barrio c. Ninguna

1.1

Si vive en el barrio, que percepción tiene de la calle:

Sombria	Fresca	Calma
Luminosa	Calurosa	Ventosa

2.

Actividad de los últimos 15 minutos:

Respecto a su actual sensación térmica

3. En ete momento esta sintiendo:

Muy frío	Frío	Levemente frío	Neutral, ni frío ni calor	Levemente caluroso	Caluroso	Muy caluroso
----------	------	----------------	---------------------------	--------------------	----------	--------------

4. En ete momento, preferiría estar sintiendo:

Mucho más frío	Más frío	Un poco de frío	Igual, sin cambios	Un poco de calor	Más calor	Mucho más calor
----------------	----------	-----------------	--------------------	------------------	-----------	-----------------

5. Respecto a los siguientes parámetros meteorologicos, preferiría que estuviese:

Temperatura del aire	Mas baja	Como está	Más alta	No sé que decir
Humedad del aire	Más seco	Como está	Más húmedo	No sé que decir
Velocidad del viento	Más débil	Como está	Más fuerte	No sé que decir
Radiación solar	Más débil	Como está	Más fuerte	No sé que decir
Carga de calor de los alrededores	Más débil	Como está	Más fuerte	No sé que decir

6. En este momento estoy:

Confortable	Aceptable	En disconfort
-------------	-----------	---------------

Resultados

Microambiente físico

Los árboles tuvieron un efecto significativo sobre el ambiente físico. Se estimaron las diferencias entre sitios (sol y sombra) para cada hora a partir de los valores predichos por el modelo, luego los días se agruparon según las diferencias máximas de temperatura y se obtuvo el número de días que registraron diferencias en cada rango máximo. Se observaron diferencias significativas durante al menos una hora en la temperatura registrada por las esferas entre los tramos de calle sombreados y los tramos sin sombra en 114 de los 117 días registrados (*Cuadro 3*). Por otro lado, más del 60% de los días corresponden a diferencias de entre 8 y 12 °C. A su vez, la diferencia máxima de temperatura se registró en tres ocasiones siendo entre 14 y 15 °C (*Cuadro 3*).

Cuadro 3.

Número de días en donde se encontraron diferencias de al menos una hora en la temperatura registrada por la esfera (°C) entre tratamientos (sol/sombra) según mes. A partir de valores predichos para las 3 calles, ($P < 0,05$).

	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Sin diferencia	1	2			3
Dif. < 1 °C	1	2		2	5
Dif. ≥ 1, < 2 °C		1		1	2
Dif. ≥ 2, < 3 °C			1		1
Dif. ≥ 3, < 4 °C	2	4	1		1
Dif. ≥ 4, < 5 °C	3	2	1	1	8
Dif. ≥ 5, < 6 °C	2	1		2	7
Dif. ≥ 6, < 7 °C	2	2	2	1	6
Dif. ≥ 7, < 8 °C	3	3		3	7
Dif. ≥ 8, < 9 °C	4	6	2	6	14
Dif. ≥ 9, < 10 °C	5	4	9	6	25
Dif. ≥ 10, < 11 °C	4	4	5	4	18
Dif. ≥ 11, < 12 °C			4	2	14
Dif. ≥ 12, < 13 °C			1		1
Dif. ≥ 13, < 14 °C			1	1	2
Dif. ≥ 14, < 15 °C			1	2	3
Total días	27	31	28	31	117

Para los días en que se realizaron las encuestas, las esferas ubicadas al sol registraron una diferencia de más de 9 °C en relación a las ubicadas a la sombra en diciembre, febrero y marzo. La diferencia en el día de enero fue de más de 8 °C. A su vez, el registro de las esferas en los tramos a la sombra es más estable y con menos oscilaciones que los sitios sin sombra (*Figura 5*) donde se atemperan las variaciones de temperatura.

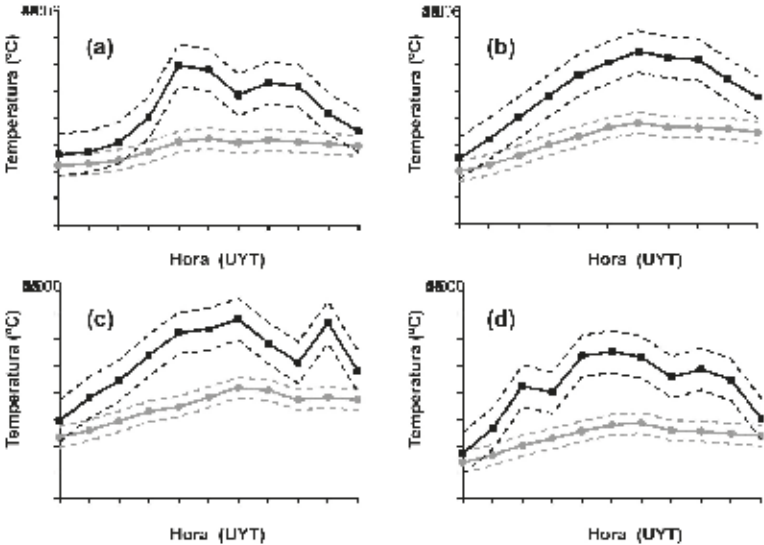


Figura 5. Variación de la temperatura de la esfera con límite superior (*Ls*) y límite inferior (*Li*) (líneas punteadas), al sol (cuadrados negros) y bajo sombra (puntos grises). Valores predichos (para las 3 calles) para las fechas 21/12/2018 (a), 21/01/2019 (b), 18/02/2019 (c) y 28/03/2019 (d), ($P < 0,05$).

Una persona en un ambiente sombreado se sentirá más fresca que si se encuentra directamente bajo el sol, aunque la temperatura del aire sea la misma (considerando fijo el resto de los factores) (Monteith y Unsworth, 2013). En ese sentido, la temperatura registrada por las esferas se utilizó como referencia ya que es una de las variables que se utiliza para estimar la temperatura radiante media la cual es afectada mayormente por el sombreado de los árboles (Armson et al., 2012; ASHRAE, 2001). La temperatura radiante media está vinculada a la temperatura de los objetos del entorno y al grado de insolación, los cuales son factores que influyen en mayor medida sobre el calor que sienten las personas.

Resultados

Confort térmico

En la *Figura 6* se observa correspondencia entre los indicadores físicos (sol o sombra) y el nivel de confort. En primer lugar se evidencia que el total de los encuestados que manifestaron estar en disconfort se encontraban en sitios al sol. Por otro lado, la proporción de encuestados que manifestaron estar en confort en los tramos con sombra es más del doble en relación a los tramos sin sombra.

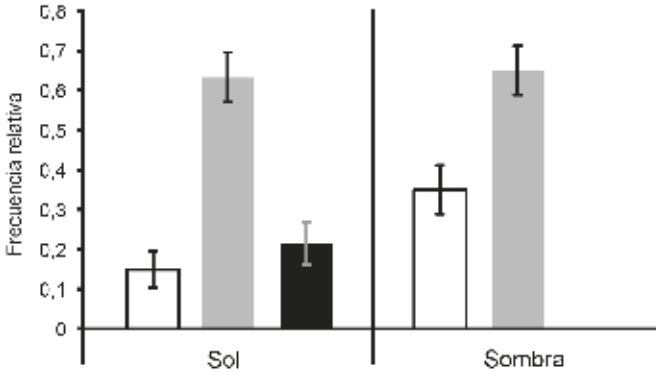


Figura 6.

Nivel de confort expresado por los encuestados "confortable" (blanco), "aceptable" (gris), "en disconfort" (negro) (porcentaje de frecuencia) bajo tratamientos (sol/ sombra)

En general, el nivel de confort percibido por los encuestados aumenta en sitios sombreados, apoyando las mejoras térmicas encontradas por Sanusi et al., (2017) al obtener índices de confort a partir de variables del microambiente físico, donde se encontró que todas las especies analizadas redujeron el nivel de estrés térmico estimado a partir de variables físicas en relación a sitios sin cobertura. Así como menciona Armson et al., (2012), los árboles tienen un rol significativo en la mejora del confort térmico en ciudades.

Nivel de confort y variables microambientales que mejor explican los niveles de confort manifestados

Con el objetivo de encontrar las asociaciones existentes entre las variables físicas del microambiente y las respuestas subjetivas de confort y sensación térmica, se realizó un análisis multivariado para obtener “árboles de decisión”. Para esto se procesaron todas las variables propias de las personas (sexo, edad, peso, vestimenta, actividad) conjuntamente con las variables físicas medidas para el ambiente térmico (T globo, T aire, T fachada, T calle, T vereda y V viento).

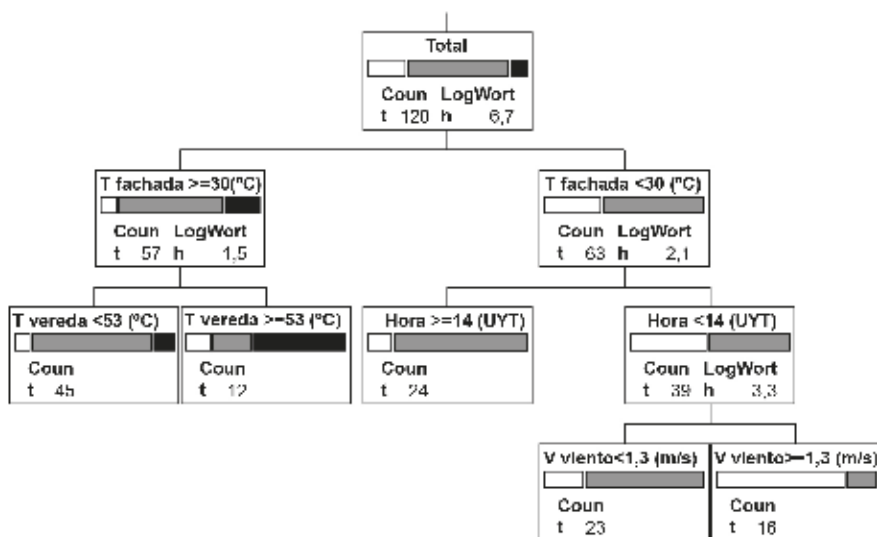


Figura 7.

Árbol de decisión según nivel de confort expresado por los encuestados, “confortable” (blanco), “aceptable” (gris), “en disconfort” (negro) (P<0,05, LogWorth<1,3)

El árbol de decisión de la Figura 7 deja en evidencia que las variables físicas asociadas a la temperatura radiante (la cual se vincula a la temperatura de los objetos del entorno), son las que más inciden sobre el grado de confort que manifiestan las personas y las que determinan en primer orden su nivel de confort (ASHRAE, 2013; Guzmán y Ochoa, 2014). Avanzando sucesivamente en el árbol de decisión, las divisiones parten de variables del ambiente físico y no se encuentran asociaciones con variables propias de los individuos.

Al considerar las preferencias térmicas como variable de respuesta, a diferencia de lo que ocurre en la Figura 7, los factores decisivos para los grupos involucran otros aspectos además de exclusivamente las variables microclimáticas físicas, como por ejemplo el mes o el tratamiento de forma global. Es así, que algunos aspectos vinculados a la adaptación psicológica estarían quedando a la vista al analizar este árbol de decisión. Las personas perciben el ambiente de diferente forma y responden a los estímulos ambientales dependiendo de la "información" que posean de la situación en particular y no en relación directa a la magnitud de las variables físicas (Nikolopoulou y Steemers, 2003).

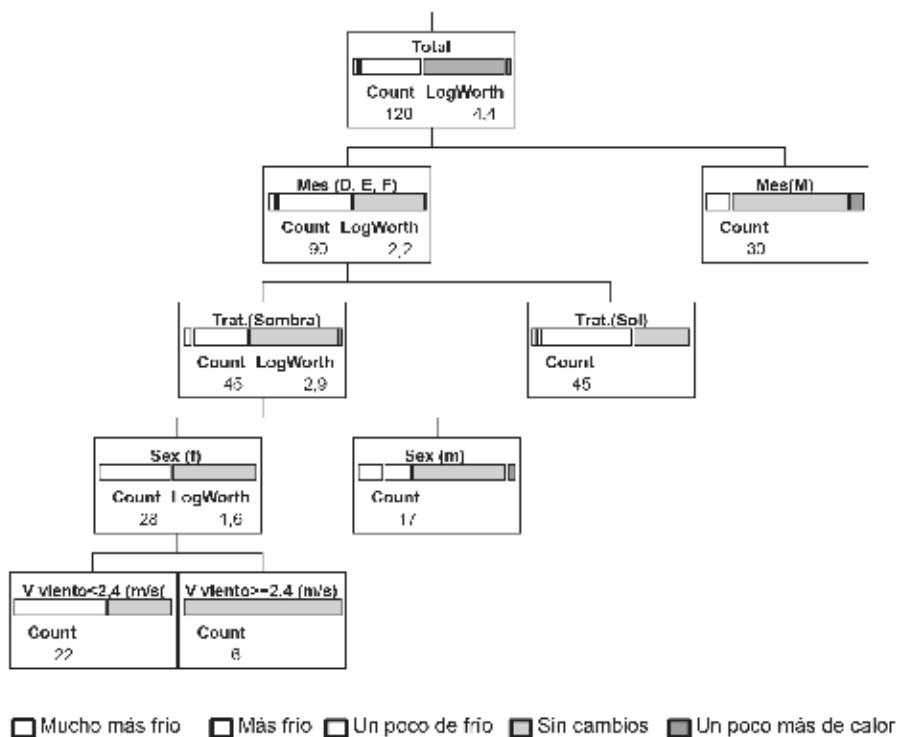


Figura 8.

Árbol de decisión según preferencia térmica expresada por los encuestados ($P < 0,05$, $\text{LogWorth} < 1,3$).

Conclusiones

Durante el verano, en la ciudad de Montevideo se alcanzan temperaturas que superan los niveles en los que las personas se sentirían térmicamente cómodas. Sin embargo, la sombra que genera el arbolado viario reduce la temperatura microambiental (registrada en las esferas) durante todo el período estival, con diferencias de hasta 14°C en relación a los sitios sin sombra. En más de la mitad de la temporada, estas diferencias están en el rango de 8 a 12 °C.

El sombreado de los árboles mejora el nivel de confort térmico de las personas. Permite a los individuos alcanzar condiciones de neutralidad térmica más fácilmente y por otro lado, elimina la sensación extrema de “disconfort” por calor. El efecto “refrescante” de los árboles está presente no solo en condiciones de calor extremo, el beneficio que significa este efecto fue percibido por las personas durante los cuatro meses de estudio.

El principal efecto de la sombra sobre el confort de las personas se relaciona con la disminución en los valores de las variables asociadas a la temperatura radiante. Sin embargo, al analizar las respuestas según grupos de preferencias, surgen variables que involucran aspectos del contexto global y no vinculadas únicamente a la temperatura radiante. Como por ejemplo la predisposición a enfrentar altas temperaturas en ciertos meses que permitiría una mayor tolerancia al calor en las personas, y podría estar enmascarando parte del efecto físico directo de la sombra. Por otro lado, las mejores condiciones que proporcionarían las calles arboladas, no solo por su efecto directo sobre la temperatura radiante sino también por significar espacios más agradables, influirían positivamente en los aspectos psicológicos que afectan el nivel de confort.

Las alineaciones de árboles constituyen una herramienta en la mejora microambiental de calles en ciudades de clima templado donde el efecto de las altas temperaturas de la temporada estival significa un factor de discomfort. Influyen positivamente sobre el microambiente, aumentando el nivel de confort percibido por las personas, lo cual significa una mejora de su calidad de vida. Esta contribución se vuelve aún más valiosa frente al contexto que plantea el cambio climático para los ambientes urbanos, donde el uso de vegetación se vuelve una necesidad en la gestión de los espacios públicos.

* * *

Referencias bibliográficas y videográficas

Armson, D., Stringer, P. and Ennos, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), pp.245-255.

ASHRAE, 2001. 'ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals', Ashrae Standard, 53(9), pp. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

ASHRAE, 2013. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE (ASHRAE standard). Available at: https://ashrae.iwrapp.com/ViewOnline/Standard_55-2013.

Ashrae Standard, 2001. 'ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals', Ashrae Standard, 53(9), pp. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Bedford, T. and Warner, C.G., 1934. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. *Epidemiology & Infection*, 34(4), pp.458-473.

Corbetta, P., Maldonado, C.F., Maldonado, M.F., 2007. Metodología y técnicas de investigación social. Madrid: McGraw-Hil.

Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. and Pauleit, S., 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment*, 33(1), pp.115-133.

Grau, A. and Kortsarz, A.M., 2012. Las especies de árboles de Tucumán. A., Grau y AM Kortsarz.(Eds.), Guía de Arbolado de Tucumán-, pp.109-229.

Guzmán, F. and Ochoa, J. (2014) 'Confort Térmico en los Espacios Públicos Urbanos, Clima cálido y frío semi-seco', *Hábitat Sustentable*, 4(2), pp. 52–63.

Heisler, G.M., 1986. Energy savings with trees. *Journal of arboriculture (USA)*. 12 (5): 113-125., 12(5), pp. 113–125.

Monteith, J. and Unsworth, M., 2013. *Principles of environmental physics: plants, animals, and the atmosphere*. Academic Press.

Nikolopoulou, M. and Steemers, K., 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and buildings*, 35(1), pp.95-101.

Nowak, D.J., Dwyer, J.F. and Childs, G., 1997. Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*, pp.17-38.

Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. and Livesley, S.J., 2017. Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. *Landscape and Urban Planning*, 157, pp.502-511.

Strom, S., 2007. *Urban and community forestry: Planning and design*. In *Urban and Community Forestry in the Northeast* (pp. 99-117). Dordrecht: Springer Netherlands.

Terrani, E., 2014. *Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano de Montevideo*. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. and Holmer, B., 2007. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(14), pp.1983-1993.

Thorsson, S., Honjo, T., Lindberg, F., Eliasson, I. and Lim, E.M., 2007. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places. *Environment and Behavior*, 39(5), pp.660-684.

Thorsson, S., Lindqvist, M. and Lindqvist, S., 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International journal of biometeorology*, 48, pp.149-156.

Valla, J.J., Saenz, A., Rivera, S.M., Jankowski, L.S., Bazzano, D., 2001. 'Árboles urbanos 2', *Biota Rioplatense VI*, LOLA, Buenos Aires.

Vázquez Mora, D., Alvariño, S., Picción, A., Cruz, G., 2018. Estimación del confort térmico humano en espacios al aire libre.

Capítulo 10

Bioclimatología de *Aedes ægypti* bajo condiciones de Variabilidad y Cambio Climático en Uruguay: 27 años de condiciones dispares

R. Mario Caffera ¹

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

Aedes ægypti, bioclimatología, Variabilidad Climática, Cambio Climático

Resumen:

La abundancia o escasez del *Aedes ægypti* pauta el riesgo de contraer numerosas enfermedades, entre ellas el dengue. Mediante indicadores bioclimáticos en dos puntos de referencia, Salto en el norte y Carrasco en el Sur, se muestra cómo la variabilidad y el cambio climático van acompañando la duración de la estación anual del mosquito desde su reintroducción al Uruguay en 1997. Las mayores limitantes a su proliferación son las heladas, más frecuentes en el norte, y los períodos adversos, sin vuelo, algo más abundantes en la costa austral.

Los resultados muestran alta aleatoriedad, con algunos años sin períodos adversos y/o sin ocurrencia de heladas, siendo éstas más frecuentes en el norte, y los períodos adversos, sin vuelo, mayores en la región costera austral. Finalmente se hacen algunas reflexiones sobre la perentoria necesidad de acciones procurando cambios en el comportamiento humano y en algunas características del mundo construido.

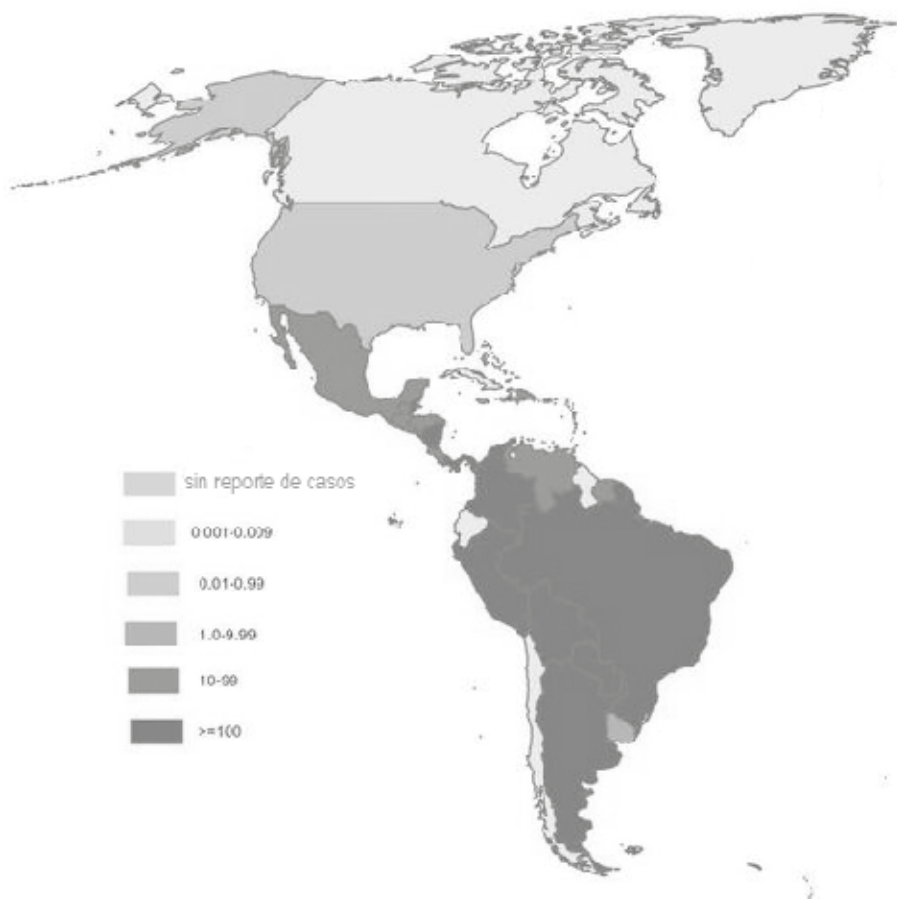
Introducción

El llamado Cambio Global abarca o tiene diversas dimensiones. Por la escala de tiempo en que aplica, la dimensión de lo antropogénico es lo determinante, pues el crecimiento y el consumo de la población humana, el uso de energía, los cambios en el uso de la tierra y la contaminación son sus fuerzas impulsoras (Camill, 2010). Y antrópicas fueron la introducción de *Aedes ægypti* (L.) (Diptera, Culicidae) en América, con la esclavitud, su posterior erradicación en Uruguay en 1958 (Salvatella, 1997), y también su reintroducción, observada desde 1997. Empero, la variabilidad climática como también el cambio climático, tanto antrópico como “natural”, influyen en la virulencia de las enfermedades que transmite este mosquito. En lo que sigue se exponen las variaciones que ambos fenómenos ejercen en el potencial vital de este vector, y por ende en su demografía y en su función como diseminador de fiebre amarilla, dengue, chikungunya y zika. En especial, la fiebre del dengue es la enfermedad viral transmitida por mosquitos que se propaga más rápidamente (WHO, 2008) y un creciente problema de salud pública a nivel mundial (PAHO/WHO, 2023) y americano, como se puede apreciar en *Figura 1*.

En Sudamérica, los países más afectados por mortalidad son Brasil, Perú y Bolivia mientras que Venezuela y Paraguay tienen también una alta letalidad conexas (OMS, 2023). En el caso de Uruguay, desde 2016 se han confirmado casos de dengue por transmisión local –“autóctona”, en la jerga epidemiológica –. De ahí el interés por mostrar cómo la variabilidad climática y el cambio en los patrones del clima van moldeando el riesgo de contagio a través de esta especie exótica invasora de hábitos urbanos. Dado la inexistencia de vacuna efectiva, y con 32 casos autóctonos de dengue confirmados en plena pandemia de COVID-19, según registro del Ministerio de Salud Pública, se hace necesario ‘colocar el acento en la prevención, como forma de asegurar la calidad de vida (derecho ciudadano/deber del Estado)’ (Lejtregger, 2008). A largo plazo ésta también queda en buena parte determinada por el diseño del paisaje urbano y aspectos de construcción del hábitat, pero el propósito aquí es mostrar el devenir bioclimático moldeando el riesgo de contagio a través de este vector.

Figura 1. (Adaptada de ECDPC, 2023)

Casos de dengue cada 100.000 habitantes, reportados desde mayo a julio de 2023 en las Américas



Aspectos bioclimáticos del vector

Presencia y abundancia de *Aedes aegypti* varían en el largo plazo, al modificarse las condiciones ambientales. Estos cambios obedecen, entre otros, a cambios y variaciones en el clima regional y local (Caffera, 2010), aunque también son sumamente importantes aspectos físicos locales del mundo construido como la cantidad de recipientes con capacidad de contener agua limpia en los peridomicilios, y posiblemente la existencia de potenciales criaderos ocultos para las formas inmaduras: larvas acuáticas que puedan criarse en posibles porciones del alcantarillado donde pueda retenerse agua limpia.

La fase reproductiva del vector es la fase aérea, adulta, hematófaga. *Aedes aegypti* es incapaz de alcanzar el estado adulto con temperaturas por debajo del umbral de 14 °C.

Por otra parte, el mosquito adulto no vuela si la temperatura es inferior a 15 °C. Entonces cualquier día con temperatura máxima inferior a ese valor, se considera adverso para el insecto, pues al no volar, no puede picar, ni alimentarse, ni oviponer. Hay indicios de que las picaduras cesan a partir de temperaturas superiores a 36°C (Morin et al, 2013) pero la evidencia aún es débil, por lo que no fue tenida en cuenta aquí.

Por último, hay umbrales letales para el estado adulto, según *Cuadro 1* (Focks et al. 1993a, b). De esta manera, el proceso atmosférico local está pautando la sobrevivencia y la descendencia de cada ejemplar de mosquito hembra. Éstos son los únicos que pican, y necesitan sangre de vertebrados para que sus huevos sean viables.

Tipo	Variable atmosférica	Umbral letal	Duración letal - días
1	Déficit de saturación	> 30 mb	2
2	Déficit de saturación	entre 25 y 30 mb	3
3	Déficit de saturación	entre 20 y 25 mb	5
4	Déficit de saturación	entre 15 y 20 mb	10
5	Temperatura máxima	> 40 C	1
6	Temperatura mínima	< 0 C	1

Cuadro 1.

Limitantes bioclimatológicos diarios del estadio adulto de Aedes aegypti

Con estos antecedentes, se calculan indicadores del potencial biológico de la especie en cada lugar con datos meteorológicos (*Aedes aegypti* es ectotérmico, su temperatura es la del ambiente en que se mueve), determinando diferencias entre años, y a lo ancho y largo del territorio nacional. Ello permite establecer el impacto potencial tanto de la variabilidad como del cambio climáticos sobre este importante vector de enfermedades. En particular, se determinaron las condiciones desfavorables para su propagación en dos ciudades: Salto, y área metropolitana de Montevideo (Figura 1). Cabe señalar que se puede determinar también el número de potenciales oviposiciones, generando cohortes de sucesivas generaciones, pero no es tratado aquí. En particular, se determinaron los períodos adversos al mosquito, así como los días con condiciones letales, en estas dos ciudades, una en el norte y otra en el sur del país.

Materiales y Métodos

Se utilizaron promedios diarios de temperatura del aire, temperatura del punto de rocío y las temperaturas máxima y mínima diaria de las estaciones meteorológicas de Salto (-31,433°S, -57,983°W, 56,99m), y de Carrasco (-34,838°S, -56,030°W, 32m) para 27 años: 1995-2021.

Se establecieron las posibles hecatombes de ejemplares adultos, al alcanzar los umbrales críticos especificados en el *Cuadro 1*, y también los episodios adversos los cuales se ubican en el período invernal, según el siguiente criterio: se define período adverso para *Aedes aegypti*, si el 75% de su tiempo medio de vida adulto está por debajo de la “temperatura de vuelo”: 15 °C (Bejarán, 2002).

En lo que sigue se asume como hipótesis de trabajo un tiempo de vida medio fijo, para el estado adulto, de 17 días (De Garín et al., 2000).

Resultados

En ambas localidades se registran años sin períodos letales y sin períodos adversos, pero sólo coinciden ambos acontecimientos en 1998, coincidiendo también en ambas localidades.

Diferencias espaciales

Resulta contrastante que los eventos letales por altas temperaturas ($T > 40^\circ \text{C}$) o por déficit sostenido de humedad sólo ocurran en el verano de Salto (Figura 2), algo relativamente esperable dado la posición más austral de Carrasco (Figura 3) y su clima de influencia marítima. Estas mortandades estivales no suelen ocurrir todos los años, y en pocas semanas las cohortes de mosquitos recuperan su tasa de reproducción (Caffera, 2017).

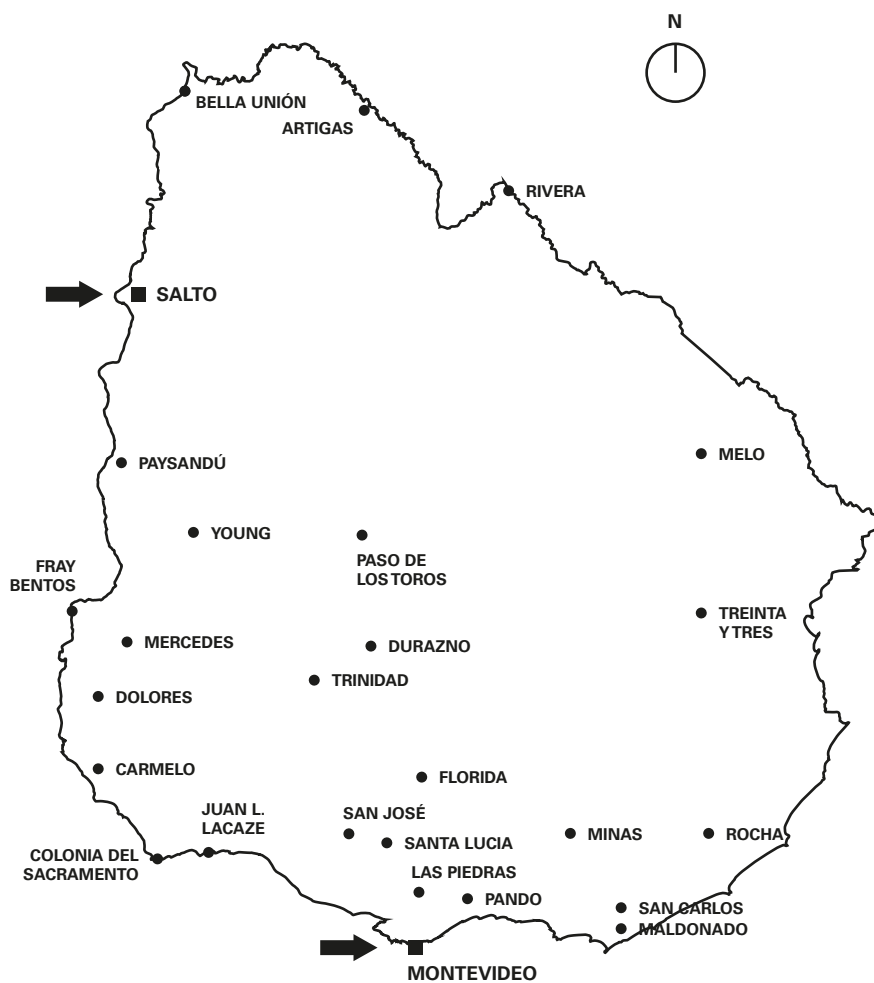


Figura 2.

Mapa esquemático de Uruguay. Las flechas marcan los puntos de muestreo aproximados a que refieren los gráficos de las figuras 2 y 3.

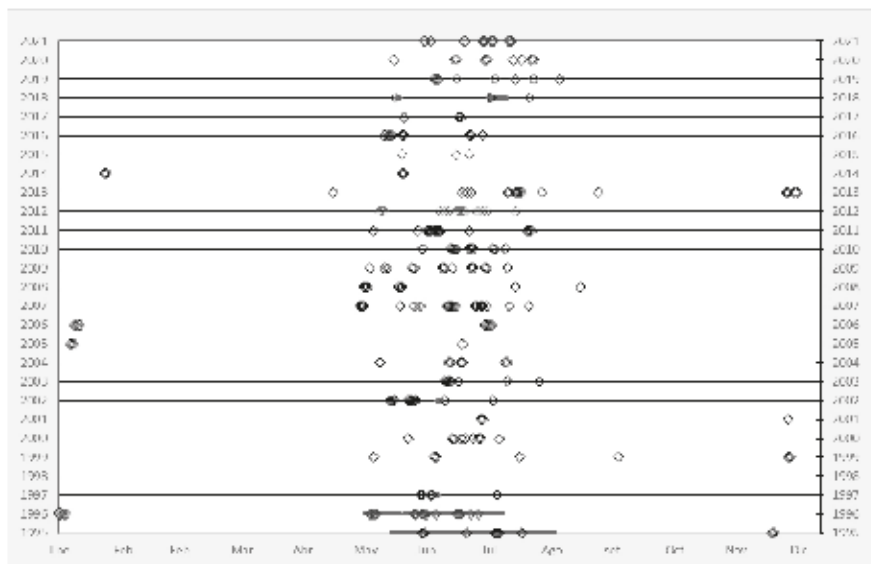


Figura 3.

Días adversos (líneas) y días letales (rombos) en 27 años para Salto. Nótese que los días letales en los meses de diciembre, enero y febrero corresponden a muy altas temperaturas y a deficiencias de humedad, mientras que los invernales corresponden a la ocurrencia de helada.

En notoria la mayor cantidad de días letales por helada en Salto, y también lo escaso en número y en duración de los períodos adversos frente a lo que acontece en Carrasco.

Diferencias temporales: posible cambio climático

A partir de 1997, resulta común en ambas localidades el hecho que los períodos adversos, cuando ocurren son mucho menos duraderos que los de los dos primeros años del conjunto de datos. Esa disminución, notable en las Figuras 3 y 4, concuerda con la nueva detección del *Aedes aegypti* en territorio uruguayo en 1997. Esta merma en la duración del “general invierno”, limitando la presencia masiva de *Aedes aegypti* en las localidades urbanas cercanas a esas estaciones meteorológicas, está referida a la tendencia general de buena parte de Uruguay, de un ascenso de las temperaturas mínimas diarias (Rusticcucci y Renom 2008). Si bien estas autoras en estudio de más años descartaron estas localidades, por un lado, debido a inhomogeneidades por cambio de ubicación – lo cual no es el caso en los 27 años de esta muestra – por el otro fue usado otro umbral, y no los 15°C referidos al vuelo del vector. Sin embargo, los resultados que se exponen aquí mostrarían que además del transporte antrópico del vector en los vehículos que ingresan al país, la reintroducción del mosquito se vio facilitada por este hito en el comportamiento climático, y que esto es válido para las localidades tanto del norte como del sur del país.

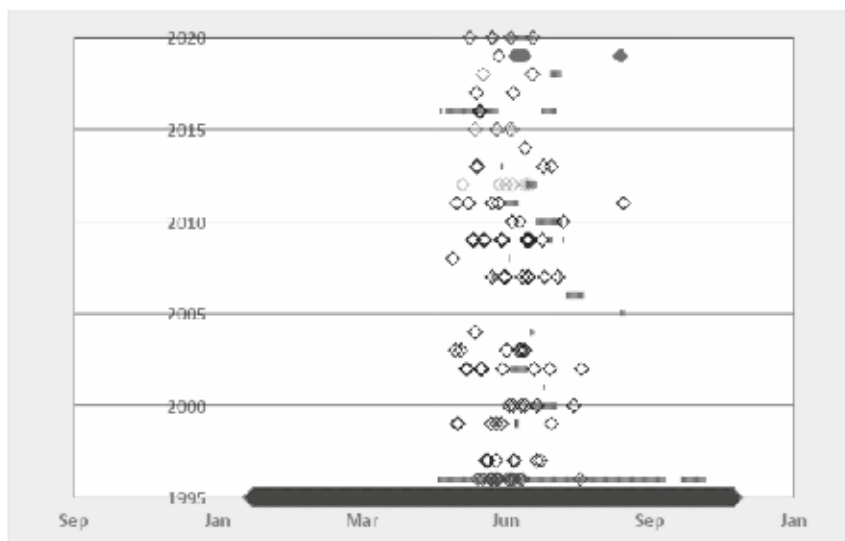


Figura 4. Días adversos (líneas) y días letales (rombos) en 27 años para Carrasco. Nótese, en este caso de una localidad situada en el extremo Sur, que los días letales son sólo los invernales.

Discusión y Conclusiones

Los períodos letales por deficiencia sostenida de humedad, propios de localidades del norte, además de ser esporádicos, no tienen una tendencia definida, y su consecuencia en la dinámica poblacional del vector es limitada en el tiempo. Las heladas sí pautan el comienzo y el fin de la temporada de las fases adultas del vector, por lo que cabría pensar en más temporadas más largas en el largo plazo, siendo lo más notorio la disminución en número y duración, de los períodos adversos. Más aún, hubo ocurrencia de años sin períodos adversos en invierno: 1998, 2003, 2017, 2021 y la “dupla” 2014/2015. Dos años consecutivos por primera vez desde la reintroducción del mosquito en 1997 y precediendo al primer caso en 100 años de transmisión autóctona de dengue en Uruguay, ponen el acento en un aumento a largo plazo de la vulnerabilidad por modificaciones en las condiciones climáticas.

Los resultados muestran una tendencia clara de condiciones climáticas más favorables a la proliferación de este vector de enfermedades, tanto en el norte como en el sur, por lo que resulta perentorio encarar metodologías integrales contra esta amenaza, con fuerte acento en cambios culturales a corto y mediano plazo, y el redimensionamiento del hábitat humano en el largo plazo.

Pese a lo sencillo del cálculo de los períodos adversos, ello implica una conceptualización más compleja que el análisis estadístico de una o varias variables numéricas o de rachas de ocurrencia de un mismo fenómeno: es una especie de persistencia pero que permite interrupciones, “rachas con agujeros”. Este tipo de abordaje estaría definiendo las condiciones climáticas de manera diferente, quizás más cerca de lo utilitario, que los promedios o los días por debajo o arriba de determinado umbral. Podría ser de utilidad en otros ámbitos, como el acondicionamiento térmico del hábitat humano.

* * *

Referencias bibliográficas

Camill, P., 2010. Global change. *Nature Education Knowledge*, 3(10).
Salvatella Agrello, R., 1997. *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae).
Notificación de su presencia en Uruguay. *Rev. méd. Urug*, pp.118-21.
World Health Organization (2008). Dengue and dengue haemorrhagic fever. *Health in Asia and the Pacific* 00:244-255.

PAHO/WHO (2023) Pan American Health Organization / World Health Organization. Epidemiological Update: Dengue, chikungunya and Zika. 10 June 2023. Washington, D.C.

OMS, 2023. Dengue, Región de las Américas <https://www.who.int/es/emergencias/disease-outbreak-news/item/2023-DON475>

ECDPC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2023. Dengue worldwide overview. Three-month dengue virus disease case notification rate per 100 000 population, May–July 2023. <https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue-monthly>

Caffera, R.M., 2010. Influencias atmosféricas y climáticas en la transmisión del dengue. Basso C, ed. *Abordaje Ecosistémico Para Prevenir y Controlar al Vector del Dengue en Uruguay*, pp.149-168.

Morin, C.W., Comrie, A.C. and Ernst, K., 2013. Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environmental health perspectives*, 121(11-12), pp.1264-1272.

Caffera, R. M., 2017. Variabilidad climática y presencia de *Aedes aegypti*. *Biodiversidad y Salud. Especies exóticas invasoras. Comité de Especies exóticas invasoras – MVOTMA. Capítulo X: 71:77. ISBN: 978-9974-658-29-5 DEL ESTE SOL S.R.L. Montevideo*

Focks, D.A., Haile, D.G., Daniels, E. and Mount, G.A., 1993a. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): analysis of the literature and model development. *Journal of medical entomology*, 30(6), pp.1003-1017.

Focks, D.A., Haile, D.G., Daniels, E. and Mount, G.A., 1993b. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): simulation results and validation. *Journal of medical entomology*, 30(6), pp.1018-1028.

De Garin, A., Bejarán, R.A., Carbajo, A.E., de Casas, S.C. and Schweigmann, N.J., 2000. Atmospheric control of *Aedes aegypti* populations in Buenos Aires (Argentina) and its variability. *International journal of biometeorology*, 44, pp.148-156.

Rusticucci, M. and Renom, M., 2008. Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(8), pp.1083-1095.

Lejtregger R., 2008. Del desastre a la oportunidad. Consultoría para el seguimiento y elaboración de planes de recuperación. PARTE 1. PROYECTO URU/07/005 "Fortalecimiento de las Capacidades del País en el Proceso de Recuperación". PNUD-Gobierno de la República, 78 pp.

Capítulo 11

Aportes para una gestión sustentable de residuos orgánicos con participación comunitaria. Caso de estudio ciudad de Tacuarembó

Daniela Vázquez ¹ y Gabriela Cruz ²

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar

² Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y
Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

bioeconomía, cambio climático, ordenamiento territorial

Resumen:

Este artículo aborda el problema de la gestión de residuos orgánicos en el contexto de la ley que regula la gestión de residuos en Uruguay es de suma importancia para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la lucha contra el cambio climático. Se utiliza una perspectiva basada en la economía circular y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, profundizando en la formación teórica y el conocimiento especializado en este campo y sus métodos. El caso de estudio es la ciudad de Tacuarembó, donde se realizaron pasantías semestrales en el territorio para establecer vínculos con los actores relevantes.

Los resultados de la investigación contribuyeron a delinear alternativas para un plan de acción destinado a la gestión de residuos orgánicos en Tacuarembó. La información recopilada se sintetizó en un informe como línea de base, que se compartió con actores políticos y con instituciones educativas.

Los resultados muestran que la gestión de residuos en Tacuarembó enfrenta desafíos significativos. A pesar del interés manifestado por las autoridades locales durante más de un año, no se han implementado planes, programas ni proyectos en el territorio. No obstante, se destaca como fortaleza el trabajo realizado individualmente por los educadores ambientales desde sus instituciones y roles.

En el marco de la tesis de Daniela Vázquez, se ha llevado a cabo la implementación del Proyecto Piloto "Red de escuelas que reciclan los residuos orgánicos". El enfoque de proyecto piloto en las escuelas y la colaboración entre educadores ambientales, instituciones educativas y hogares, se visualiza como una estrategia viable para promover cambios positivos en la gestión de los residuos.

Introducción

El concepto principal de Gestión integrada de residuos sólidos (GIRS) reconoce tres dimensiones importantes: los actores interesados, los elementos del sistema y los aspectos de sostenibilidad. Un actor interesado es una persona u organización que puede afectar o ser afectado en la prácticas de la gestión de residuos; varían de una ciudad a otra y deben identificarse dentro del contexto local. Tienen diversos intereses y funciones dentro de sus propios contextos, el desafío del proceso GIRS es lograr que acepten cooperar con un propósito común para mejorar el sistema de residuos (Klundert et al., 2001). En la mayoría de los casos, un buen manejo es una intervención que comienza con un proceso de evaluación, acuerdos de qué funciona y qué no, para desarrollar prioridades comunes y tener una visión estratégica de largo plazo que haga realidad esta visión (Anschütz et al., 2004). Los elementos del sistema de residuos, se refieren a cómo se manejan los residuos sólidos y dónde terminan, lo que tiene importantes implicaciones ambientales. La tercera dimensión involucra los aspectos de sustentabilidad que incluye lo político-legal, socio-cultural, institucional-organizativo, desempeño técnico ambiental-salud y lo financiero-económico.

El cambio climático, un fenómeno de alcance global que afecta a la salud de las poblaciones, los ecosistemas, la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de muchas regiones, es una cuestión de máxima importancia en todo el mundo. Una de las contribuciones significativas al cambio climático proviene de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄). Estos gases se liberan a través de diversas actividades humanas, incluida la gestión de residuos (IPCC, 2008,2019). En este contexto, este artículo aborda el problema de la gestión de residuos orgánicos en la ciudad de Tacuarembó y su relación con la mitigación del cambio climático.

La ley N°19829 (2019), establece los principios rectores de la gestión integral de residuos en el Uruguay. Para su aplicación se ha elaborado el Plan Nacional de Gestión de Residuos (PNGR, 2021) con un horizonte temporal de diez años. Los gobiernos departamentales deben desarrollar sus respectivos planes de acuerdo con los objetivos y resultados propuestos. Con miras de delinear alternativas hacia un futuro plan de acción para la gestión sustentable de residuos orgánicos en la ciudad de Tacuarembó, el objetivo de este artículo es identificar y analizar los actores clave involucrados en la gestión de residuos.

En el siglo XXI, para abordar los retos que enfrentan las ciudades, se requiere un cambio de tendencias y una reorganización de la jerarquía de gestión de residuos. Anteriormente se daba prioridad al enterramiento, pero ahora se considera que separar los residuos en origen es el paso más importante para promover la sostenibilidad y abordar los problemas ambientales. En este nuevo enfoque ha cobrado relevancia el concepto de metabolismo urbano, que trata la ciudad como un sistema vivo que requiere un equilibrio entre los recursos naturales, la producción, el consumo y la eliminación de residuos y GEI (Kennedy, et al., 2011). Como subsistema de la biósfera, la gestión sostenible de los recursos y los residuos es esencial para mantener el equilibrio y la salud del sistema global (Georgescu-Roegen, 1971). La teoría de la economía circular o bioeconomía, adopta una perspectiva transdisciplinar entre las ciencias sociales y naturales y propone desvincular la presión ambiental del crecimiento económico.

Fomentar la separación de residuos en origen incluyendo la separación de los residuos orgánicos es fundamental para su gestión adecuada. Aproximadamente el 50% de los residuos está formado por materia orgánica, que puede convertirse en nuevas materias primas mediante un circuito diferenciado de residuos húmedos y secos. El compostaje es una tendencia popular para mitigar el cambio climático convirtiendo los residuos orgánicos en abono natural, removiendo carbono del aire para fijarlo en el suelo (Cempre, 1998). Por tanto, la gestión eficaz de los residuos orgánicos es crucial para mitigar el cambio climático y para adoptar prácticas responsables de gestión de residuos, promoviendo a la vez una economía circular.

Ciudad de Tacuarembó y su microrregión

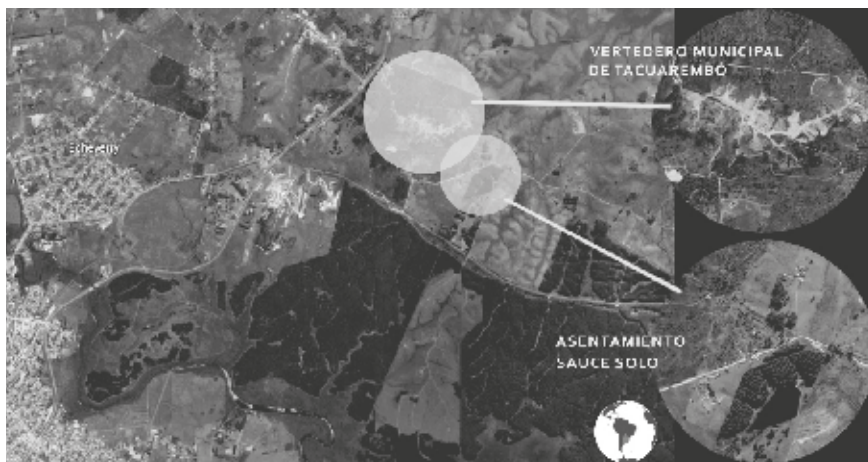


Figura 1.

Ubicación de la zona de estudio en el Uruguay, ciudad de Tacuarembó (a), vertedero municipal y asentamiento Sauce Solo (b) (Google Earth. Modificado 05/2022).

La ciudad de Tacuarembó se encuentra en el noreste del Uruguay (*Figura 1*) y tiene una población de 54,700 habitantes (INE, 2011), incluyendo las zonas rurales cercanas. En un área como la región Noreste del país, caracterizada por un desarrollo relativo rezagado y una marcada influencia de la actividad agropecuaria, donde el rendimiento de los agroecosistemas está vinculado a las condiciones climáticas, se presenta el desafío de encontrar equilibrio entre metas de crecimiento y los principios de sostenibilidad tanto en aspectos sociales como ambientales (Stuhldreher, 2020).

Al mismo tiempo Tacuarembó es, según la tesis de maestría Udelar, “Desigualdad multidimensional en las ciudades uruguayas” (Mariño, 2023) la localidad más desigual del Uruguay. En dicha tesis se plantean distintas categorías para clasificar a las ciudades uruguayas y Tacuarembó aparece como la ciudad con mayores diferencias internas en las condiciones edilicias de las viviendas. A la vez, aparece como la séptima localidad con peor clima educativo en los hogares, la novena en peor equipamiento (bienes), la decimosegunda en hacinamiento y está a mitad de tabla en arbolado, alumbrado y otros servicios.



Figura 2.

Vertedero municipal de Tacuarembó (Chagas, 2021).

En cuanto a gestión, los residuos se recolectan sin diferenciación y la disposición final se realiza en un vertedero a cielo abierto (Figura 2). Además, no se encontraron antecedentes respecto a cómo reciclar la basura o a pautas de educación ambiental elaboradas por el gobierno local o nacional. A esta situación se suma que el emplazamiento del vertedero municipal (Figura 1) está sobre una zona de recarga del acuífero Guaraní de alta y media vulnerabilidad (Carrión, 2022).

Metodología

Se trabajó con la población residente en la zona urbana y suburbana de la ciudad de Tacuarembó. Se llevaron a cabo pasantías semestrales para identificar actores clave y analizar como las políticas y acciones locales pueden contribuir a la mitigación de las emisiones GEI. Para respaldar nuestro enfoque se incorporaron conceptos teóricos de la sociología y la etnografía (García, 2011).

En el primer año se realizó un relevamiento y análisis de información proveniente de fuentes primarias y secundarias. El trabajo de campo consistió en identificar las partes interesadas, realizar entrevistas y participar en eventos públicos con la población. La revisión de fuentes secundarias implicó una revisión exhaustiva de artículos científicos, manuales de buenas prácticas, informes técnicos provenientes de instituciones gubernamentales, experiencias en otras ciudades relacionadas con la gestión de residuos orgánicos y las leyes vigentes a nivel nacional y local, con especial énfasis en la ley que regula la gestión de residuos.

El análisis de las partes interesadas se centró en comprender sus roles, influencia e intereses como actores dentro del sistema existente. La influencia se refiere al poder y capacidad de influir en las decisiones, mientras que el interés indica la posición y relevancia que otorga a la problemática (CONAGUA, 2007). Se emplearon técnicas derivadas de métodos de evaluación rápida participativa como las visitas de campo, observación, fotografías, estudios de iniciativas locales, entrevistas y el diagrama de relaciones con las partes interesadas. Se llevaron a cabo 34 entrevistas individuales y 6 entrevistas grupales, utilizando un diseño semiestructurado con preguntas guía (*Anexo*). Para visualizar los roles de las partes interesadas y sus relaciones la técnica utilizada se basó en el diagrama de partes interesadas, desarrollado como parte de la capacitación de evaluación de GIRS realizada en el marco del programa UWER. Este diagrama, considerando roles, relaciones y la naturaleza de estas interacciones, se construyó a partir de la información recopilada en el trabajo de campo (Anschütz et al., 2004).

Conjuntamente se implementó un proyecto piloto para fortalecer la educación ambiental en la comunidad. Contactamos a cuatro escuelas que gestionan residuos orgánicos, realizan compostaje y mantienen huertas. Con el respaldo de ANEP, la escuela agraria, una ONG local y CENUR NE sede Tacuarembó, llevamos a cabo un taller en la sede universitaria local para educadores ambientales. El objetivo fue llegar a una propuesta interinstitucional de cómo llevar desde la educación ambiental en las escuelas la clasificación de residuos orgánicos a las familias. La sesión contó con la participación de la responsable de la dirección de extensión local, una estudiante responsable del proyecto de la academia local sobre la gestión de residuos en la institución educativa (PAIE-Udelar, 2019) y los educadores ambientales de las instituciones mencionadas.

Resultados y discusión

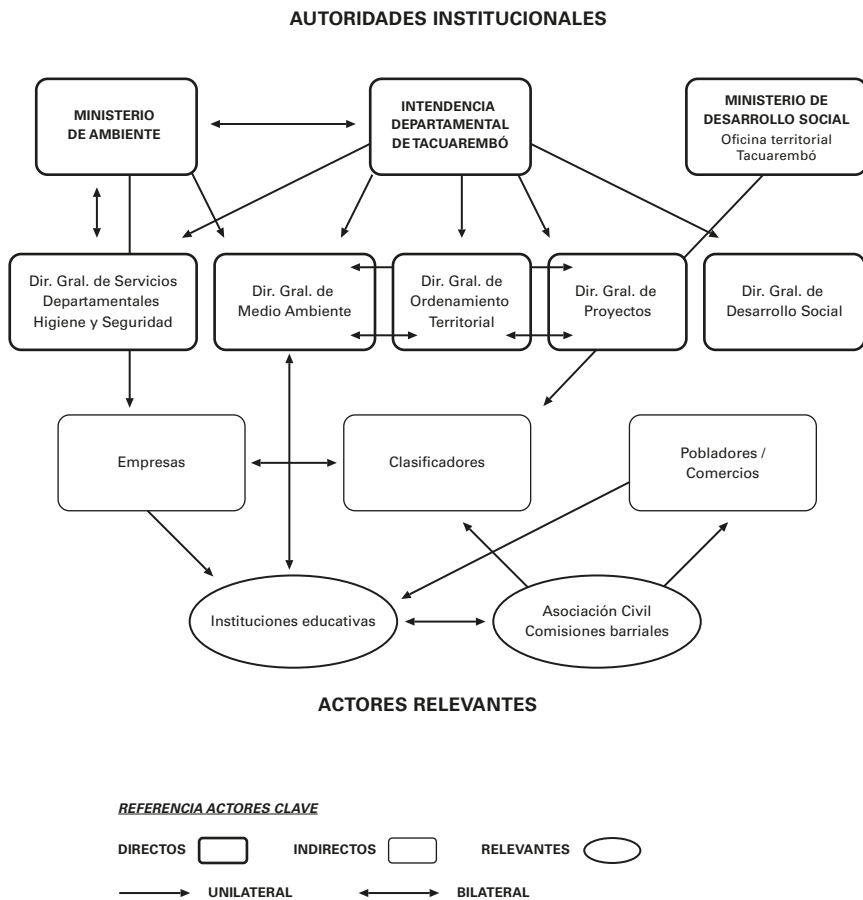
Como primera aproximación analítica de las partes interesadas en la gestión de residuos y sus roles se clasificaron en dos categorías de actores: directos e indirectos. Los primeros incluyen a los directamente involucrados en la GIRS como los actores institucionales y los pobladores/grupos que producen residuos. Los actores indirectos son aquellos que se relacionan con los residuos como forma de sustento, como los clasificadores y empresas que compran material clasificado. Además se identificaron las organizaciones relevantes que abordan la educación ambiental (*Tabla 1*).

Tabla 1.
Clasificación de actores y roles

Directos		
Actores	Nombres	Roles
Institucionales	MINISTERIO DE AMBIENTE. MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL - Oficina Territorial de Tacuarembó INTENDENCIA DEPARTAMENTAL DE TACUAREMBÓ: Dirección de ordenamiento territorial; Dirección de ambiente; Dirección de proyectos; Dirección de servicios Departamentales Salubridad e Higiene; Dirección de desarrollo social	Elaboración de políticas públicas a nivel nacional y departamental. Elaboración de planes. Tomadores de decisiones.
Pobladores/comercios	Grupos que producen residuos.	Participación. Cooperación.
Indirectos		
Clasificadores	Población que actualmente trabaja de manera informal con los residuos urbanos.	Recuperación de materias primas para reciclaje y reutilización Industrial. Reutilización: para autoconsumo (alimentación, vestimenta, vivienda, cría de animales) y para comercialización (ferias vecinales, trueque).
Empresas	Cuchilla del Ombú, Portella, Ambiental, Tita Durarte, Cámara de Empresas Gestoras de Residuos del Uruguay (CEGRU)	Hacer visible al sector de las empresas que operan con los residuos, articular y generar políticas consensuadas tanto con los distintos tipos de generadores como con la autoridad ambiental y otros actores clave.
Organizaciones e instituciones relevantes		
Instituciones educativas	CAIF, escuelas, liceos, UTU, PETT, IFD Tacuarembó Udelar	Participación. Cooperación. Trato con la población.
Asociación Civil, Comisiones barriales, Organizaciones culturales.	Agüita	Participación. Cooperación. Trato con la población.

Figura 3.

Análisis de las partes interesadas en la gestión de residuos en la ciudad de Tacuarembó utilizando el diagrama de relación de partes interesadas



El análisis de partes interesadas revela la necesidad de fortalecer los vínculos bilaterales entre las autoridades locales, la comunidad, los clasificadores y las empresas (figura 3). En el diagrama de relación de partes interesadas se evidenció la fragmentación y falta de colaboración entre las autoridades de diferentes direcciones departamentales.

El cierre del vertedero actual y la ubicación del relleno sanitario paralizan las acciones restantes. La gestión actual refleja una visión higienista del siglo XX, concentrada en prácticas de limpieza y sin comprender los desafíos ambientales y el enfoque de sostenibilidad. Considerando la influencia e interés, las autoridades locales son clave y deben ser involucradas para abordar la problemática con una visión más integral en las posibles estrategias y pautas de acción. Los hogares y las empresas, aunque tienen influencia, muestran bajo interés.

La estrategia es mantenerlos informados y, si aumenta el interés, convertirlos en actores clave.

Un resultado sustancial para la gestión local es la debilidad de los actores institucionales. A pesar de trabajar en el tema durante más de un año, aún no han implementado en el territorio proyectos, programas o planes de la temática en cuestión. Según el director de servicios departamentales, la complejidad del tema y los costos involucrados han sido barreras, y se está buscando financiamiento externo con apoyo del Ministerio de Ambiente. Las entrevistas a las autoridades locales también revelaron la escasez de datos locales relevantes, destacando la necesidad de estudios que caractericen y cuantifiquen la producción actual de residuos en Tacuarembó.

Se identificó como fortaleza las relaciones multiactorales (uni o bilaterales) que mantienen las instituciones educativas y la ONG local, que realizan tareas de concientización y educación ambiental. Consolidar el trabajo individual de los educadores y fomentar el intercambio institucional se perciben como necesidades. El compromiso de educación ambiental que realizan las maestras en las escuelas, los antecedentes generados en la academia local, a través del proyecto PAIE sobre la gestión de residuos en 2019 y las actividades que realiza la ONG ambientalista local proporcionan una base sólida para reforzar el nodo de educación ambiental territorial.

Los clasificadores entrevistados expresaron que no forman parte de cooperativas u otras formas de asociación, sino que trabajan de manera individual. La mayoría de ellos manifestó falta de disposición para asociarse, aunque se verificó que las mujeres jefas de hogar mostraron mayor apertura hacia la participación en cooperativas. Uno de los clasificadores entrevistados en el vertedero municipal indicó que más de 40 familias dependen de su trabajo en el vertedero. El PNGR promueve la inclusión de los clasificadores y, según el informe de registro departamental (MIDES, 2021), se registraron 104 personas que trabajan en el rubro y residen en Tacuarembó. La estrategia es lograr relaciones bilaterales para un trabajo conjunto entre la oficina territorial Tacuarembó del MIDES con la dirección general de Desarrollo Social (IDT) monitorear y motivar para su inclusión futura en cooperativas. Mientras que las instituciones educativas, asociación civil y activistas ambientales locales, la estrategia es participar. Porque ellos son los que dan “masa crítica” para poder trabajar con la comunidad. Y por este motivo es que el proyecto piloto tiene como meta fortalecer los procesos pedagógicos de concientización.

Proyecto piloto

“Red de escuelas que reciclan los residuos orgánicos”

En el marco de la tesis de maestría de Daniela Vázquez, el proyecto buscó potenciar el intercambio entre educadores ambientales y promover la gestión sustentable de residuos orgánicos en los hogares de Tacuarembó. El enfoque en la gestión de residuos orgánicos como parte de una estrategia más amplia de mitigación del cambio climático se vuelve cada vez más relevante en un contexto global de conciencia ambiental. Además de los beneficios locales de una gestión de residuos más eficiente y sostenible, como la reducción de la contaminación y la mejora de la salud pública, tiene un impacto positivo en la disminución de las emisiones de GEI. El compostaje y la reutilización de residuos orgánicos no solo reducen la cantidad de residuos que llegan a los vertederos, sino que también ayudan a eliminar el carbono de la atmósfera y lo almacenan en el suelo, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Este proyecto piloto, que involucró a escuelas, educadores ambientales y hogares, representa un paso adelante en esta dirección, promoviendo un cambio cultural y generando conciencia sobre la importancia de una gestión responsable de los residuos y acciones concretas en beneficio del medio ambiente y del esfuerzo global para abordar el cambio climático

Conclusiones

Este artículo aborda el problema de la gestión de residuos orgánicos en la ciudad de Tacuarembó, Uruguay, en el contexto del cambio climático. En línea con la legislación nacional y el compromiso de reducir las emisiones de GEI, se exploraron enfoques basados en la economía circular. Los resultados de la investigación se presentan como una línea de base para futuras acciones de gestión sostenible de residuos orgánicos.

En el presente estudio se ha demostrado que la gestión de residuos orgánicos en Tacuarembó enfrenta desafíos significativos, evidenciando la falta de implementación de planes a pesar del interés manifestado por las autoridades locales. Se visualiza como prioritario fortalecer la participación de la comunidad en el proceso de gestión de residuos para avanzar hacia prácticas sostenibles. Se considera esencial que las autoridades locales y la comunidad trabajen de manera conjunta para implementar programas de recogida selectiva de residuos y campañas de sensibilización que reduzcan la generación de residuos y promuevan el reciclaje.

El proyecto piloto en escuelas emerge como una estrategia prometedora para generar conciencia y acciones concretas para promover cambios positivos en la gestión de los residuos, al mismo tiempo que se alinea con los principios de bioeconomía y se enfrenta directamente a los desafíos del cambio climático.

* * *

Referencias bibliográficas

Anschütz, J., IJgosse, J. and Scheinberg, A., 2004. Putting integrated sustainable waste management into practice. Waste Netherland, pp.1-102.

Carrión, R., 2022. Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) de la ciudad de Tacuarembó y alrededores: mapa de vulnerabilidad GOD.

Cempre, C.E., 1998. Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Uruguay: CEMPRE.

Comisión Nacional del Agua -CONAGUA-,2007. Guía identificación de actores clave. Estados Unidos Mexicanos.

García, R., 1994. Interdisciplinariedad y sistemas complejos. In Ciencias sociales y formación ambiental (pp. 85-124). Gedisa.

Georgescu-Roegen, N., 1971. The entropy law and the economic process. Harvard university press.

Instituto Nacional de Estadística, Censo 2011, 8° censo de población, 4° censo de hogares, 6° censo de viviendas y 1° Entorno Urbanístico. República Oriental del Uruguay,

IPCC 2008, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). Publicado por IGES, Japón.

IPCC 2019, 2019 Refinamiento a la Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 5 Desperdiciar.

Kennedy, C., Pincetl, S. and Bunje, P., 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental pollution*, 159(8-9), pp.1965-1973.

Klundert, A.V., Anschütz, J., & Scheinberg, A., 2001. Integrated sustainable waste management: the concept. Tools for decision-makers. experiences from the urban waste expertise programme (1995-2001).

Mariño Velázquez, A., 2023. Desigualdad multidimensional en las ciudades uruguayas. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias Sociales.

Programa de Apoyo a la Investigación Estudiantil, Comisión Sectorial de Investigación Científica (PAIE-CSIC), 2019. Estudio de caracterización de residuos sólidos asimilables a domésticos en la sede Tacuarembó de la Universidad de la República.

Stuhldreher, A.M., 2020. Cambio Climático En La Región Noreste Del Uruguay: Clivajes En Las Percepciones De Los Actores Territoriales (Climate Change in the Northeast Region of Uruguay: Perception Cleavages Among Local Actors).

Anexo I —

Preguntas guía de las entrevistas según actores relevantes en la gestión

ACTORES	PREGUNTAS GUÍA
Institucionales	¿Cuál es la situación local actual con respecto a la implementación del plan nacional de gestión de residuos? ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades?
Clasificadores	¿Trabaja solo o en grupo, hay alguna asociación? ¿A quiénes venden los materiales que clasifican? ¿Qué necesitaría para mejorar su actividad?
Empresas	¿Cómo funciona su empresa? ¿Cómo accede a los materiales? ¿Qué necesitaría para mejorar su actividad?
Instituciones educativas	¿Cómo percibe la problemática de la basura y qué actividades realiza la institución? ¿Qué necesitaría para mejorar su actividad?
Asociación civil	¿Cómo percibe la problemática de la basura y qué actividades realiza la institución? ¿Qué necesitaría para mejorar su actividad?

Capítulo 12

Alternativas de aprendizaje en la enseñanza de los problemas ambientales

Eduardo Llanos ¹, Celmira Saravia ², Carolina Munka ¹,
Gabriela Cruz ³

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales. Udelar

² Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales,
Estación Experimental de Salto. Udelar

³ Facultad de Agronomía, Departamento de Sistemas Ambientales, Udelar y
Centro Interdisciplinario de Cambio y Variabilidad Climática (CIRCVC), Udelar

Palabras clave:

enseñanza por proyectos, cambio climático, COVID-19.

Resumen:

Se presenta la experiencia en el proceso de enseñanza de un curso optativo del primer año de la carrera de ingeniería agronómica en Facultad de Agronomía de la Universidad de la República para los años 2020 y 2021. El curso lleva por nombre “Agrosistemas, cambio global y cambio climático” y se presentó bajo la modalidad de Enseñanza por Proyecto, siendo esta metodología de gran ayuda en el proceso de auto-aprendizaje de los estudiantes. Se describe la experiencia de un grupo de estudiantes que trabajó en un proyecto llamado “Emisiones de gases de efecto invernadero en la industria cárnica en Uruguay: una visión a partir de la pandemia (COVID-19)”.

Se destaca dentro del curso la capacidad del grupo interdisciplinario docente con el fin de propiciar enseñanza, promover nuevas metodologías de aprendizaje para ejercitar competencias en investigación, a la vez que introducir la visión holística de los problemas ambientales y la adaptación a una nueva realidad que se instauró a partir del COVID-19 como es la virtualidad.

Características del curso Agrosistemas, cambio global y cambio climático

La enseñanza de grado en la Facultad de Agronomía dentro del nuevo plan de estudio (año 2020) que se elaboró siguiendo los lineamientos que determina el Artículo 28 (Sección II) de la Ordenanza de Estudios de grado y otros programas de formación terciaria de la Universidad de la República, permitió el espacio de enseñanza del curso “Agrosistemas, cambio global y cambio climático”, que se dictó como optativo para estudiantes de primer año de la carrera tanto en la sede Salto como en Montevideo en los años 2020 y 2021.

Dicho curso se basó en una propuesta que permitía promover el aprendizaje de problemas complejos vinculados a la producción agropecuaria, a través de casos concretos de estudio. La metodología de enseñanza elegida fue la del “aprendizaje por proyectos” y responde a una concepción que concibe al estudiante como protagonista de su proceso de aprendizaje, constituyéndose en el artífice del desarrollo de sus potencialidades, siendo fundamentales la autonomía y la autogestión (McMillan, 2000).

Para ello los estudiantes debían practicar el aprendizaje autónomo (auto-aprendizaje, aprender a aprender). La instrucción basada en proyectos se diferencia de la investigación tradicional por su énfasis en la construcción colaborativa o individual de productos que el alumnao debe representar posteriormente para demostrar lo que ha aprendido. El aprendizaje basado en proyectos también brinda a los estudiantes la oportunidad de explorar problemas y desafíos que tienen aplicaciones en el mundo real, lo que aumenta la posibilidad de retención a largo plazo de habilidades y conceptos (Crane, 2009).

Se formó un grupo de docentes que consiguiera, dentro de la interdisciplinariedad, abordar el reto del curso, siendo para muchos una metodología novedosa ya que la propuesta exigía al grupo de docentes enseñar a aprender (Pogré y Lombardi, 2004). Esta metodología constituye una alternativa de enseñanza ante los constantes cambios, incertidumbre y avances científico-tecnológicos, donde no es posible ignorar el rol sustancial de la educación en general, y en forma especial el de la formación docente (Antelo et al., 2016)

La fortaleza del curso radicaba en la interdisciplinariedad del equipo docente, compuesto por Ingenieros Agrónomos, Biólogo, Meteorólogo y Médico Veterinario, los cuales tenían especialización en distintos temas vinculados con los problemas ambientales.

Se trabajó en cuatro ejes temáticos: 1) el carbono en el aire, 2) el carbono en el suelo, 3) la calidad del agua y el afloramiento de cianobacterias, 4) la diversidad biológica y las especies exóticas invasoras. Los estudiantes podían escoger el eje temático en el que preferían trabajar y luego se formaban los grupos de trabajo para elegir un tema específico (caso) de interés común dentro del grupo. Los docentes teníamos, en esta primera instancia, las funciones de habilitar el espacio de trabajo, promover “lluvias de ideas” y dejar que los estudiantes sean protagonistas de su propio entorno para utilizar las herramientas de trabajo que ellos ya conocieran, a su vez, alertarles que la idea era la construcción de su conocimiento en ese contexto de incertidumbre generado por la pandemia.

Los estudiantes debían discutir valiéndose de una revisión sistémica de la bibliografía y la experiencia propia de campo, y proponer soluciones/alternativas creativas y flexibles tanto para los desafíos ambientales como para el propio proceso de aprendizaje. Es en una segunda instancia donde comienza a generarse la sinergia entre el docente y el grupo de estudiantes, con la lluvia de temas de interés colectivo, preocupaciones, incertidumbres, ideas, etc.

Es allí también donde comienza el aprendizaje mutuo. Por un lado el docente, que según Johari y Bradshaw (2008) deben actuar como orientadores de los procesos educativos de sus estudiantes, dejando que ellos adquieran autonomía y responsabilidad en su aprendizaje, siendo acompañante o tutor en el proceso de adquisición de conocimiento, debe tener la capacidad de transformar esas ideas en realidades, recomendaciones, debe estar preparado para dar respuesta que permitan mantener la iniciativa del grupo en continuar con su obra, su creación, con el fruto del trabajo colectivo. Por otro lado, está el estudiante, motivado de saber algo que escogió aprender, el tema que deseó realizar, y necesitando el/la guía que le permita continuar.

Cada eje principal de trabajo estaba conformado por dos sub-grupos de entre 4 y 6 estudiantes, habiendo un docente responsable por sub-grupo. Tanto para el 2020 como para el 2021 todos los temas abordados fueron diferentes, obedeciendo a un interés colectivo de temas diversos en función de diferentes situaciones, necesidades y realidades ambientales. Entre los diferentes temas que se abordaron se encontraban: “efecto del tipo de pastoreo en la biodiversidad de los pastizales”; “análisis descriptivo de parámetros físico químicos para la calidad del agua en tres sitios del Uruguay”; “efecto de la fertilización nitrogenada sobre el carbono en el suelo”; entre otros temas que fueron desarrollados. Cada grupo dependiendo del tema a abordar buscaba sus propias metodologías de trabajo, explorando diferentes formas de generar información y dar respuesta a los objetivos planteados dentro del curso.

Un caso de estudio que surge en tiempos de pandemia

Detallaremos la experiencia de un grupo en el año 2021 que trabajó un tema que llevó como título: “emisiones de gases de efecto invernadero en la industria cárnica en Uruguay: una visión a partir de la pandemia COVID-19”. El disparador de este tema nace a partir del interés por una noticia de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (COP26) desarrollada en el año 2021 en Glasgow, en la que Uruguay se comprometía a reducir 30% las emisiones de metano para 2030. Los estudiantes se plantearon como objetivo general, analizar datos vinculados a las emisiones de gases de efecto invernadero en la ganadería de carne durante la pandemia.

Se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- 1) identificar cuántas cabezas de ganado no fueron faenadas durante el periodo de disminución de faena de los frigoríficos,
- 2) cuantificar el dióxido de carbono (CO₂) equivalente¹ emitido por los animales no faenados por la pandemia para compararlo con registros anteriores.

El tema nace de la hipótesis que durante la pandemia generada por el COVID-19 se presentó una disminución en la faena que afectó al país, siendo Uruguay exportador de carne a nivel mundial. Dicha disminución en la faena ocasionaba, por un lado, menores emisiones de carbono por un menor uso del transporte, pero, por otro lado, los animales que no fueron llevados a faena se mantenían en el campo emitiendo gases, en especial metano que contribuye a los gases de efecto invernadero.

¹ El CO₂ equivalente es una medida universal utilizada para indicar en términos de CO₂, el equivalente de cada uno de los gases de efecto invernadero con respecto a su potencial de calentamiento global. Es usado para cuantificar con una misma base, la emisión de diferentes gases que producen el efecto invernadero

Los estudiantes se plantearon y realizaron una búsqueda bibliográfica sin resultados exitosos ya que no había antecedentes en el tema, por lo que se organizaron para hacer un esquema de trabajo que partía de hacer entrevistas virtuales a especialistas en el tema de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en el país.

De este modo entrevistaron a especialistas que ayudaron y propusieron una metodología de cálculo partiendo del uso del modelo de Evaluación Medio Ambiental Ganadero (EMAG, Becoña et al., 2020).

La siguiente actividad de los estudiantes fue la obtención de la base de datos necesaria de faenas, contactando vía correo electrónico a funcionarios del Instituto Nacional de la Carnes (INAC) para solicitar información o sitios de acceso a datos publicados.

Una de las variables que ellos se plantearon utilizar era el resultado del uso de combustibles fósiles a partir del uso de transporte. Para este punto se contactaron con el Ministerio de Transporte, donde se brindó información necesaria para realizar los análisis. Sin embargo, descubrieron que la información brindada no se encontraba desglosada ya que las emisiones se encontraban incluidas dentro de la categoría “actividades primarias” que incluye además minería y pesca. De todas formas, asumieron que la gran mayoría corresponden al agro según les informaron desde el Ministerio. Otro obstáculo identificado es que dentro de la categoría “actividades primarias” se incluyen las emisiones de la quema de combustibles en maquinaria agrícola pero no la del transporte carretero asociado a la actividad; éstas están incluidas en la categoría transporte, pero no discriminaba el uso específico en ganadería. Se intentó comunicar con empresas de transporte, cooperativas de transporte para obtener dicha información y por falta de tiempo no se continuó en el proceso de recolección de datos y se procedió a estimar algunos datos de las variables que más necesitaban.

También se realizaron otras entrevistas que aportaron información sobre metodología y análisis de los resultados en el marco de una investigación científica.

Finalmente obtuvieron resultados de su trabajo, donde identificaron que en los meses que disminuyó la faena se generaron mayores emisiones de CO₂ equivalente a partir de los animales en campo que no fueron faenados (principalmente por la emisión del metano, CH₄), que los generados por la quema de los combustibles fósiles (CO₂) en el transporte, para ese mismo período de tiempo. La presentación al resto de los subgrupos generó debates, nuevas hipótesis y sugerencias a partir de los resultados presentados en un plenario, siendo una instancia de evaluación del curso, con la participación de todos los docentes, estudiantes e invitados.

No obstante, dentro del curso los resultados no eran el principal objetivo a lograr, sino el proceso de construcción por el cual ellos trabajaron. En este proceso se destacó la importancia del grupo en la organización, pudiendo delegar en cada miembro del grupo diferentes roles en función de sus capacidades. Asumieron actividades específicas para la generación de información, si bien, todos se encargaron de la recolección de datos, unos se encargaron de trabajar con el modelo de Evaluación Medio Ambiental Ganadero, otros de moderar las entrevistas y entre todos hacer una puesta en común en el análisis de los datos.

El rol del orientador como especialista en el tema, se focalizó en aportar bibliografía que permitiera explicar los resultados y destacar la importancia de los mismos. El desafío final del grupo sería la presentación grupal, en este aspecto precisaron mayor participación del orientador, ya que no lograban ordenar la información para poder transmitir sus resultados. Se realizaron varias rondas de trabajo, lo que les llevó a focalizar en sus objetivos, el orden de presentar y transmitir los resultados, en la conclusión final y de sus limitantes en el proceso de investigación, así como en las posibles preguntas generadas por el panel de evaluación.

Evaluación global del curso en los años 2020 y 2021

Al final del curso se realizó una evaluación final por parte de todos los estudiantes y docentes. El curso fue valorado positivamente por los estudiantes, sobre todo por la “libertad para elegir el proyecto en cada grupo” y por ser una “forma de aprender de las más útiles”.

Se planteó la necesidad de contar con más tiempo, y así llegar con un trabajo final y un informe más detallado. Se planteó la existencia de dificultades relacionadas a la infraestructura de la Facultad (análisis de laboratorio). Se consultó a los estudiantes por la experiencia en la forma de trabajo virtual, presencial y/o mixta que se pudo instaurar en el curso, donde consideraron que la “virtualidad es buena pero la presencialidad es necesaria”. Se planteó que la virtualidad hizo posible la participación de quienes estaban en distintos puntos del país, aunque la presencialidad es más fructífera ya que permite “engancharse” más que en las instancias virtuales.

Se valoró positivamente la orientación docente de acuerdo a la metodología de trabajo que plantea este curso. Se reconoció, en algunos casos, diferentes esfuerzos en los aportes individuales dentro de los equipos de estudiantes. En cuanto a la evaluación por parte del grupo docente del curso, se valoró positivamente, experimentando en el proceso un “aprendizaje mutuo” ya que existió un permanente “ida y vuelta” con los estudiantes. Se reconoció una alta exigencia y demanda en tiempo para que se pudieran concretar las actividades y llegar a resultados en cada grupo. También una exigencia adicional (respecto a los cursos tradicionales con instancias expositivas) al tener que adaptarnos a los “tiempos de los estudiantes”.

Se valoró de manera muy diferente la virtualidad por parte de los docentes, ya que en algunos casos “la virtualidad ayudó y además ya conocían las herramientas para trabajar así” (respecto al 2020), hasta expresiones como “la virtualidad me tiene cansada/o”.

Como reflexión final, consideramos que estas instancias de aprendizaje bien elaboradas generan motivación en el proceso de desarrollo de un profesional del agro que sea capaz de resolver problemas, capacitándolo para interpretar y proponer ideas en un mundo cambiante, con nuevas tecnologías y retos ambientales que el país necesita resolver. Destacamos una vez más la fortaleza en la interdisciplinariedad que se generó en el curso por parte de los docentes y que permitió abordar temas ambientales complejos por parte de los estudiantes y que la interacción colectiva del equipo docente generó vías para solventar las incertidumbres y preguntas de los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Antelo, M., Diamant, A., Klimavicius Klimas, S., Pellegrino, V., Vique, M.I. and Vomero Lara, M.I., 2016. Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): nueva tendencia con reminiscencias del pasado. Educación en Ciencias Biológicas.

Becoña, G., Ledgard, S., Astigarraga, L., Lizarralde, C., Dieguez, F and Morales, H., 2020. EMAG-National model for evaluating environmental impacts of cattle production systems in Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 24(2).

Crane, B.E., 2008. Using WEB 2.0 tools in the K-12 classroom. Neal-Schuman Publishers, Inc..

Johari, A. and Bradshaw, A.C., 2008. Project-based learning in an internship program: A qualitative study of related roles and their motivational attributes. *Educational Technology Research and Development*, 56, pp.329-359.

McMillan, J.H., 2000. Fundamental assessment principles for teachers and school administrators. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 7(1), p.8.

Pogré, P. and Lombardi, G., 2004. Escuelas Que Enseñan a Pensar/Schools That Show How to Think: Enseñanza Para La Comprensión. Un Marco Teórico Para La Acción/Teaching To Understand a Theoretically Mark For Action. Papers editores.

Sobre los autores

Sofía Alvariño

Ingeniera Agrónoma, Magister en Ciencias Agrarias por la Facultad de Agronomía de la Udelar. Su posgrado lo desarrolló en el área de la agroclimatología. Desde 2013 es docente en la Licenciatura de Diseño de Paisaje (CURE) en los cursos de Clima y Confort, Hidrología y cursos optativos como Gestión de la intervención del paisaje. En el área de investigación desarrolla proyectos relacionados al estudio de sequías agronómicas (Facultad de Agronomía) y a clima y confort térmico humano (Facultades de Agronomía y de Arquitectura de Udelar).

Laura Astigarraga

Ing. Agr. (PhD) Laura Astigarraga es Profesora Titular del Departamento de Producción Animal y Pasturas de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República, Uruguay). Trabaja en sistemas ganaderos pastoriles con énfasis en la sustentabilidad. Su enfoque es amplio, estudiando sistemas de producción y emisión de gases de efecto invernadero, huella de carbono, habiendo publicado varios trabajos sobre el tema. Es autora líder en el Grupo de Trabajo II del Sexto Informe de Evaluación del IPCC referido a las vulnerabilidades de los sistemas naturales y socioeconómicos, así como las opciones para adaptarse al cambio climático.

Mario Caffera

Licenciado en Ciencias Meteorológicas, Universidad de Buenos Aires (1979), Magister en Ciencias Ambientales, opción Meteorología Agrícola, Fondation Universitaire Luxemburgeoise, Arlon, Bélgica, (1984). Doctor en Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (Universidad de Buenos Aires, 2006). Profesor Adjunto por 14 años en la Facultad de Ciencias (UdelaR, 1985-2002), profesor del Depto de Geografía en el Instituto de Profesores Artigas y otros centros de formación (2010-2013) y Profesor asociado en Facultad de Agronomía (UdelaR, 2014-2019), Profesor Invitado en la Facultad Politécnica de Asunción (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay, 1991), y en la Facultad de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Sistema Prometeo, Ecuador, 2014), así como consultor en el Instituto Geofísico del Perú (2005), en la Fundación T. di Tella (Argentina, 2006), en la DINAMA (MVOTMA, Uruguay, 2005-2006) y en Plan Agropecuario-Opyya (MGAP, Uruguay, 2008). Actualmente es Profesor Libre del Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, (UdelaR, Uruguay). Fundador de la Sociedad Amigos del Viento, miembro de Climate Action Network (CAN) y de la Red Global para la Reducción de Desastres (GNDR). Cumplió funciones técnicas y de dirección por 32 años en el Servicio Meteorológico Nacional de Uruguay. Funge como revisor del International Journal of Climate Change Strategies and Management (galardonado "Revisor del año", Emerald Publishers, en 2020).

Gabriela Cruz

Gabriela Cruz es doctora en Ciencias Agrarias, Profesora Agregada de la Facultad de Agronomía (FAgro), del Centro Universitario Regional Este y del Centro de Respuesta a la Variabilidad y Cambio Climático (CIRCVC) del Espacio Interdisciplinario (EI), de la Udelar (Uruguay). Tempranamente entrenada en investigación agroclimática, ha liderado proyectos multidisciplinarios relacionados con la vulnerabilidad de los agroecosistemas uruguayos al cambio y la variabilidad climática. Es activa en la enseñanza y tutoría de estudiantes de grado y posgrado en temas relacionados con el cambio climático y la interdisciplinariedad.

Romina de Souza

Es Ing. Agr. por la Universidad de la República Uruguay y tiene un máster y doctorado por la Universidad de Almería, España. Es Profesora Asistente del Departamento de Sistemas Ambientales con énfasis en Agrometeorología, con radicación en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto. Se vincula desde el 2011 a esta disciplina con diferentes cargos por concurso de oposición y méritos. Dentro de las actividades de investigación la principal línea hace referencia al uso del agua y nutrientes en la producción de cultivos con énfasis en la optimización de estos recursos y su impacto en el ambiente. Realiza como participante enseñanza de grado en cursos obligatorios y optativos de la Carrera de Ingeniero Agrónomo.

María José Farías

María José Farías Fagúndez es Ing. Agr. y realiza su Maestría en Ciencias Agrarias opción Ciencias Animales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. Es Ayudante del Departamento de Sistemas Ambientales con énfasis en Agroecología, con radicación en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto. Se vincula desde 2017 a dicha Facultad con cargos por concurso de oposición y méritos. Su Investigación para el Trabajo de Tesis es en Biometeorología Animal, a partir del cual ha participado en congresos. Participa en enseñanza de grado en cursos obligatorios y optativos de la Carrera de Ingeniero Agrónomo.

Lucía Gutiérrez Bazterrica

Lucía Gutiérrez Bazterrica es Arquitecta egresada de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República. Es Maestranda en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, y se encuentra desarrollando su tesis en el tema de Isla de Calor Urbana en la ciudad de Montevideo. Desde 2017 se desempeña como docente del Área de Clima y Confort, del Departamento de Ambiente construido del Instituto de Tecnologías de Fadu, Udelar. En este cargo desarrolla integralmente las tareas de enseñanza, extensión e investigación en temas relacionados al bioclimatismo, el confort, la eficiencia energética y el cambio y variabilidad climática. Integra además el Centro de sustentabilidad de Fadu y es delegada por Fadu a la Red Temática de Medio Ambiente de Udelar.

Eduardo Llanos

Es Médico Veterinario por la Universidad Central de Venezuela y Doctor en Ciencias Agrarias por la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Forma parte del Departamento de Sistemas Ambientales dentro del Grupo Disciplinario Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Participó en el curso “Agrosistemas, cambio global y cambio climático” como parte del proceso de enseñanza del curso optativo del primer año de la carrera de ingeniería agronómica para los años 2020 y 2021, entre otros cursos que se dictan dentro de la carrera. Mantiene una visión holística de los problemas ambientales, principalmente trabajando con modelos para el cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, eficiencia energética, eutrofización y balance de nutrientes en sistemas de producción ganadero, además de integrar otras variables de interés productivo, económicas y sociales.

María Noel López Salgado

Doctoranda en el Doctorado de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República (UdelaR). Magister en Ciencias Ambientales y diplomada en construcción sustentable y Arquitecta por la UdelaR. Profesora adjunta del Área de Clima y Confort del Instituto de Tecnologías, FADU-UdelaR desde 2003. Primer Premio Aroztegui de ARQUISUR investigadores formados. Participa en diversos proyectos de investigación vinculados a la eficiencia energética y confort ambiental en distintas edificaciones.

Carolina Munka

Es Ingeniera Agrónoma y magíster en Ciencias Agrarias por la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Integra el departamento de Sistemas Ambientales de Facultad de Agronomía (UdelaR) como Prof. Adjunta del grupo disciplinar de Agrometeorología. En enseñanza de cursos obligatorios de la carrera de Ingeniería Agronómica participa desde 1990 en el curso de Agrometeorología, y ha sido responsable en las últimas ediciones del mismo. Integró el curso Taller de Recursos Naturales y el curso Introducción a la Geociencia, así como de otros cursos optativos de diferentes ciclos de la carrera donde ha participado en las temáticas de agroclimatología, microclima y monitoreo agrometeorológico. Las principales líneas de investigación están relacionadas al estudio biofísico del ambiente, en particular a las relaciones de energía y agua del sistema suelo-planta-atmósfera, monitoreo, microclima y biofísica de cubiertas vegetales con énfasis en sistemas integrados agroforestales y silvopastoriles.

Hugo Partucci

Hugo B. Partucci es profesor en Enseñanza Media y Superior en Ciencias Antropológicas y Maestrando en Políticas Ambientales y Territoriales, ambos de la Facultad de Filosofía y Letras (FFYL) de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Ha sido becario de maestría en la Facultad de Agronomía (FAGRO), Universidad de la República (Udelar), Uruguay. Ha integrado diversos proyectos interdisciplinarios sobre problemáticas socioambientales y se ha especializado en la realización de producciones audiovisuales y el uso de medios visuales y sonoros en la investigación antropológica y social.

Soledad Pérez Becoña

Es Ingeniera Agrónoma y realiza su Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay. Es Ayudante del Departamento de Sistemas Ambientales con énfasis en Agrometeorología. Su Investigación para el trabajo de tesis de Maestría se enmarca en la gestión y prevención de sequías agronómicas. Participa en enseñanza de grado en cursos obligatorios y optativos de la Carrera de Ingeniero Agrónomo.

Alicia Picción

Arquitecta, Facultad de Arquitectura, Udelar. Docente en FADU-UDELAR desde enero de 1997 hasta octubre de 2023. Profesora Agregada del Instituto de Tecnologías, Departamento de Ambiente Construido, responsable del área de Clima y Confort desde 2005 a 2023. Las actividades académicas articulan a los estudios que relacionan por un lado el clima con la sustentabilidad de los sistemas urbanos y por otro en la habitabilidad, el bienestar y la eficiencia energética en el espacio construido a escala urbana y del edificio. Responsable de cursos de grado y posgrado relacionados a estos campos en Arquitectura y de grado en la Licenciatura de Diseño de Paisaje. Directora de Carrera de Arquitectura, período 2019-2023.

Celmira Saravia Tomasina

Ing. Agr. Ms. Sc., realiza su Doctorado en Ciencias Agrarias, Facultad de Agronomía, Udelar, Uruguay. Es Profesora Adjunta (Titular) del Departamento de Sistemas Ambientales con énfasis en Agrometeorología, con Dedicación Total y radicación en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto. Se vincula desde 1989 a esta disciplina con diferentes cargos por concurso de oposición y méritos. La principal línea de investigación llevada adelante desde 1999 se refiere al estrés térmico en animales de producción en condiciones de pastoreo. Dentro de esta línea ha dirigido tesis de grado y posgrado, publicando resultados en congresos regionales e internacionales y artículos en revistas arbitradas. Participa en forma continua desde 1994 en proyectos financiados de investigación interdisciplinarios e interinstitucionales, así como en proyectos de extensión y de enseñanza. Realiza como participante y como responsable enseñanza de grado en cursos obligatorios y optativos de la Carrera de Ingeniero Agrónomo. También participa en cursos de posgrado de Uruguay y de la región.

Claudia Simon

Licenciada en Ciencias Biológicas y Magíster en Geociencias por la Facultad de Ciencias, Udelar. Cuenta con una diplomatura en Geomática Aplicada de la Universidad de Córdoba Argentina y una en Perspectivas de la Investigación Interdisciplinaria de la Universidad Autónoma de México. Ha trabajado como docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, el Espacio Interdisciplinario y la Facultad de Agronomía de la Udelar. En esos cargos ha participado en proyectos relacionados a la calidad del agua en diferentes usos del suelo, emisiones de gases de efecto invernadero e investigación sobre procesos interdisciplinarios en proyectos sobre sequía agronómica. Actualmente es investigadora del Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Estación Experimental La Estanzuela, Colonia.

Rafael Terra

Rafael Terra es Ingeniero Civil, Hidráulico-Ambiental, y doctor en Ciencias de la Atmósfera, profesor titular del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de Facultad de Ingeniería y miembro del Centro de Respuesta a la Variabilidad y Cambio Climático (CIR-CVC) del Espacio Interdisciplinario (EI) de la Udelar (Uruguay). Su línea de actividad, investigación, enseñanza y vinculación con el medio, se centra alrededor de la evaluación y gestión del riesgo climático en diversos sectores, principalmente energético, agropecuario y de recursos hídricos, con especial énfasis en la incorporación de información climática a los procesos de toma de decisión.

Emilio Terrani

Ingeniero Agrónomo Forestal, egresado de la Facultad de Agronomía de UDELAR. Magister en Ciencias Agrarias, opción Ciencias Vegetales. En su tesis de grado analizó la estructura y el comportamiento del arbolado urbano de Montevideo y luego continuó trabajando en el área con la tesis de maestría, donde estudió la contribución de las alineaciones de árboles en las calles sobre la reducción de la temperatura microambiental. Se ha desempeñado como ayudante en los cursos de Botánica y Dendrología de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Udelar. Actualmente es docente a cargo de los cursos de Botánica y Dendrología en las carreras de Técnico Agropecuario y Técnico Forestal de la UDE.

Daniela Vázquez Mora

Licenciada en Diseño del Paisaje por el CURE, Udelar con la tesis "Emergencia Agua Potable. Actuaciones Paisajísticas para la sustentabilidad del recurso agua potable de la cuenca de la Laguna del Sauce". Esta tesis fue ganadora del Premio Nacional de Urbanismo 2015, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Categoría Trabajos de Estudiantes, subcategoría Monografía y Tesis de grado. Su interés por los estudios climáticos se iniciaron con la aprobación y el desarrollo de un proyecto titulado "Estimación del confort térmico humano en dos espacios al aire libre en el Departamento de Maldonado, Uruguay" (CSIC-Udelar). A partir del 2019, en el marco del Programa de Grupos I+D (CSIC – UDELAR) "No te olvides del pago... Clima en ambientes rurales y urbanos"; inició mi formación de posgrado. La línea de estudio en la que se está formando parte de dos grupos académicos, "Variabilidad y Cambio Climático en Sistemas Agropecuarios" en la Facultad de Agronomía y "Departamento de Clima y Confort en Arquitectura" en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (UDELAR). Maestranda en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (FADU). Título de tesis de maestría: "Aportes para una gestión sustentable de residuos orgánicos con participación comunitaria. Caso de estudio ciudad de Tacuarembó"

Sofia Alvariño
Laura Astigarraga
Mario Caffera
Gabriela Cruz
Romina de Souza
María José Farías
Lucía Gutiérrez Bazterrica
Eduardo Llanos
María Noel López Salgado
Carolina Munka
Hugo Partucci
Soledad Pérez Becoña
Alicia Picción
Celmira Saravia Tomasina
Claudia Simon
Rafael Terra
Emilio Terrani
Daniela Vázquez Mora

ISBN: 978-9915-42-151-3

