



Detección automatizada de basurales y microbasurales a cielo abierto

Inteligencia artificial, satélites y políticas públicas

Documento
de Trabajo
2023



FUNDACIÓN
BUNGE Y BORN

Detección automatizada de basurales y microbasurales a cielo abierto

Documento de Trabajo

2023

**Detección automatizada de basurales
y microbasurales a cielo abierto**
Inteligencia artificial, satélites y políticas públicas

Autores

Eugenia Hernández
Analista de Proyectos

Estanislao Pahn
Analista de Proyectos

Leandro Rodriguez
Fellow de la Fundación Bunge y Born

Antonio Vazquez Brust
Fellow de la Fundación Bunge y Born

Coordinación general

Brenda Walter
Gerenta de Proyectos

Estanislao Pahn
Analista de Proyectos

Victoria Huerta
Analista de Proyectos

Agradecemos el acompañamiento técnico para el desarrollo de este trabajo por parte del equipo de Dymaxion Labs, especialmente a Federico Bayle, Roberta Devesa e Ignacio Paviolo.

La sección que describe la implementación del algoritmo de inteligencia artificial está basada en el *paper* “Mapping illegal waste dumping sites with neural-network classification of satellite imagery”, publicado por Roberta Devesa y Antonio Vázquez Brust¹.

Todos los hallazgos, interpretaciones y opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no representan necesariamente el punto de vista de sus respectivas instituciones.

1. Devesa, M. and Vazquez Brust, A., 2021. Mapping illegal waste dumping sites with neural-network classification of satellite imagery. [online] arXiv.org. Disponible en: [Último Acceso: 9 November 2021].

Índice

Introducción	5
La problemática socio-ambiental de los basurales y microbasurales a cielo abierto en Argentina	6
Etapa 1: Diseño y desarrollo de la herramienta	7
Objetivos y plan de trabajo	7
Área de estudio	8
Metodología	9
Fuentes de información utilizadas	9
Entrenamiento	10
Predicción y postprocesamiento	12
Resultados y desafíos	13
Difusión	14
Etapa 2: Validación del algoritmo	16
Objetivos y plan de trabajo	16
Fuentes de información utilizadas	17
Metodología	17
Resultados	18
Etapa 3: Implementación y Gestión integral de microbasurales	19
Objetivos y plan de trabajo	19
Área de estudio	19
Fuentes de información utilizadas	20
Metodología	20
Resultados	22
Difusión	24
Conclusión	26
Recursos	27
Bibliografía	28



Introducción

1. David C Wilson y Costas A Velis. 2015. *Waste management – still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action*. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy 33, 12 (Dec.2015), 1049–1051. <https://doi.org/10.1177/0734242X1561605>

La gestión de residuos es un servicio crítico, esencial para la vida urbana, y también un enorme reto para los gobiernos municipales de todo el mundo¹, especialmente en regiones en desarrollo como América Latina. El aumento rápido de la producción de residuos, sumado a bajos presupuestos municipales y escaso apoyo estatal, lleva en la mayoría de los casos a una mala gestión de residuos.

Los basurales a cielo abierto son zonas donde se acumulan desechos de manera ilegal, causando daños ambientales y afectando a comunidades vulnerables que viven cerca de ellos. Esta situación, junto a la falta de información y datos, dificulta el diseño de políticas efectivas y, en consecuencia, la toma de decisiones y gestión en torno a esta problemática para mejorar la situación por parte de los gobiernos locales y nacionales.

Este desafío pone de manifiesto la necesidad de contar con herramientas técnicas de detección y seguimiento para tomar decisiones en tiempo real de una manera costo-efectiva. En este contexto, a principios de 2021 desde la **Fundación Bunge y Born** nos propusimos contribuir con una metodología que permita **identificar y monitorear** a bajo costo y con alta frecuencia el crecimiento de basurales a cielo abierto, a partir de imágenes satelitales y mediante el entrenamiento de un sistema de inteligencia artificial. Con este enfoque, desarrollamos un **sistema de detección automatizada de basurales a cielo abierto**. La tecnología desarrollada utiliza **algoritmos** basados en **inteligencia artificial** y **machine learning** para identificar basurales en **imágenes satelitales**. Todos los desarrollos fueron realizados mediante metodologías de código abierto.

En una segunda instancia, y a partir de conversaciones con expertos, iniciamos una colaboración con el **Centro de Información Metropolitana (CIM)**, perteneciente a la FADU-UBA, con el objetivo de **evaluar, mejorar y verificar** en campo la metodología de código abierto en la Región Metropolitana de Buenos Aires y, además, evaluar los cambios de usos del territorio asociados a los basurales, su estado de visibilización y/o de actividad y la detección temprana de nuevos basurales.

En paralelo, y luego de compartir los principales resultados con representantes de municipios y organismos públicos, decidimos ajustar la herramienta para que tenga la capacidad de identificar microbasurales, desafío que las autoridades municipales identificaron como prioritario en el marco de la gestión local de residuos. Para ello, realizamos una alianza con la **Municipalidad de Mendoza**, quien proveyó imágenes aéreas del Piedemonte mendocino como insumo para reentrenar la herramienta a una mayor escala y permitir la identificación de microbasurales y el material predominante en los mismos.

Este documento relata el camino recorrido desde el diseño inicial de la herramienta de detección de basurales y microbasurales hasta las diferentes instancias de mejora, rediseño e implementación en terreno, así como también las principales acciones de difusión realizadas a lo largo del proyecto.

La problemática socio-ambiental de los basurales y microbasurales a cielo abierto en Argentina

En países en vías de desarrollo todavía se recurre a los basurales a cielo abierto como método de disposición final de residuos. En este sentido, Argentina no escapa a esta realidad. En muchas localidades los basurales a cielo abierto constituyen la forma usual de disposición final de residuos, existiendo aún incluso provincias enteras sin rellenos sanitarios. Por su naturaleza no planificada, los basurales se emplazan y crecen sin monitoreo ni control alguno, generando una severa degradación ambiental en diferentes aspectos como el aire, el agua y el suelo.

En las áreas metropolitanas, el fenómeno es aún más complejo: el crecimiento urbano, que correlaciona positivamente con la generación de residuos, ejerce una fuerte presión sobre el ambiente y sus recursos. En estas áreas suelen existir circuitos informales e ilegales de residuos que finalizan en microbasurales o basurales a cielo abierto, sin ningún tipo de control ni monitoreo, a pesar de contar con gestiones de tratamiento con disposición final en rellenos sanitarios.

Esta problemática afecta en forma desmedida a la población vulnerable, que en ocasiones habita terrenos colindantes o incluso dentro de los basurales. La estrecha cercanía entre basurales y asentamientos humanos resulta en graves riesgos para la salud, habiéndose encontrado relación con enfermedades respiratorias² e intoxicación por metales pesados³.

La falta de visibilidad sobre el ciclo de vida de la basura urbana, en particular su disposición final, se ha convertido en un problema global, y es necesario poder identificarlos y monitorear su evolución para contribuir al diseño de políticas públicas y a la toma de decisiones basadas en evidencia. Un equipo internacional convocado por la ONU en 2015 para medir el impacto social y ambiental de la mala gestión de residuos concluyó que "[...] la disponibilidad y confiabilidad de los datos sobre residuos son pésimas, y necesitan ser atendidas con urgencia"⁴.

2. MF Ibrahim et al. 2021. *The Impacts of Illegal Toxic Waste Dumping on Children's Health: A Review and Case Study from Pasir Gudang, Malaysia*. International Journal of Environmental Research and Public Health 18, 5 (Feb. 2021), 2221. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052221>

3. A Cittadino et al. 2020. *Heavy metal pollution and health risk assessment of soils from open dumps in the Metropolitan Area of Buenos Aires, Argentina*. Environmental Monitoring and Assessment 192, 5 (May 2020), 291. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8246-x>

4. DC Wilson and CA Velis. 2015. *Waste management – still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action*. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy 33, 12 (Dec. 2015), 1049–1051. <https://doi.org/10.1177/0734242X15616055>

Etapa 1: Diseño y desarrollo de la herramienta

A partir de la identificación de la problemática que representa la aparición de basurales a cielo abierto, su falta de visibilidad y escasez de datos, en 2021 nos propusimos, en alianza con la *start up* Dymaxion Labs, diseñar una estrategia de detección de basurales a cielo abierto basada en teledetección, que tiene el potencial de producir resultados útiles y de actualización frecuente, a una fracción de los costos asociados a la inspección en terreno.

Objetivos y plan de trabajo

El **objetivo principal** de esta etapa del proyecto fue crear un método de bajo costo para identificar y monitorear con alta frecuencia el crecimiento de basurales a cielo abierto a partir de imágenes satelitales y mediante el entrenamiento de un sistema basado en Inteligencia Artificial (IA).

Los **objetivos específicos** de esta etapa fueron: a) *crear una metodología que permita a gobiernos de distintos niveles e investigadores monitorear de forma continua la aparición y consolidación*, b) *detectar nuevos basurales para realizar intervenciones tempranas* y c) *reconocer basurales a cielo abierto y cuantificarlos con un set de nuevas imágenes*.

En este sentido, el trabajo se propuso contribuir a aumentar la visibilidad de la problemática, y generar una herramienta transferible para que los gobiernos locales realicen intervenciones tempranas orientadas a la reducción de los impactos ambientales producidos por la presencia de basurales a cielo abierto.

Para alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, y con la intención de resolver considerables desafíos tecnológicos y metodológicos, se sumaron los servicios de Dymaxion Labs⁵, *startup* argentina especializada en el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para el análisis de imágenes satelitales.

5. <https://dymaxionlabs.com/>

Junto a Dymaxion Labs se diseñó un plan de trabajo orientado a obtener un modelo funcional con rapidez, que permitiera pasar lo antes posible a una posterior etapa de prueba en campo. Se resume en los siguientes puntos, explicados en mayor detalle en las siguientes secciones:

Análisis exploratorio

- Descarga de imágenes Sentinel-2 e imágenes Landsat
- Repaso de literatura
- Adquisición de anotaciones y verdad de campo

Desarrollo de modelo de machine learning

- Preprocesamiento de datos (anotaciones e imágenes)
- Adquisición/configuración de hardware para procesamiento.
- Desarrollo de scripts de preprocesamiento y de entrenamiento
- Experimentación entrenamiento de modelos
- Desarrollo de scripts de predicción
- Revisión y ajustes
- Informe de resultados

Predicción del modelo y mapeo

- Evaluación de resultados de modelo
- Experimentación con entrenamiento de modelos alternativos
- Revisión y ajustes

Publicación de resultados y metodología

- Publicación del código fuente en un repositorio público
- Desarrollo de tests y documentación de la metodología
- Publicación de mapas en formato ráster y vectorial

Organización de jornadas de difusión y feedback

En resumen, la hoja de ruta fue la siguiente:

Visualización 1
Hoja de ruta



Área de estudio

El área de estudio para el testeo y desarrollo de la herramienta fue la provincia de Buenos Aires, Argentina, con una superficie de 307.571 km², aunque la mayoría de su población se concentra en el Área Metropolitana de Buenos Aires (que ocupa 3.830 km²). Durante las últimas décadas, la producción de residuos sólidos urbanos creció rápidamente en la región, desbordando la capacidad de los centros de disposición final de residuos de gestión pública y propiciando la multiplicación de basurales ilegales a cielo abierto. El impacto ambiental y social asociado a la proliferación de basurales los convirtió en uno de los patrones más conflictivos de cambio de uso del suelo en la región, y un riesgo importante para la salud

6. Atlas de la basura del Área Metropolitana de Buenos Aires. Wolkowicz Editores.

7. **U-Net** es un algoritmo de redes neuronales inventado originalmente para la detección de la forma ("segmentación") de objetos en imágenes médicas. Su posterior éxito al aplicarse a muchos otros campos, y su buena performance aún con una cantidad limitada de imágenes de entrenamiento lo ha vuelto uno de los algoritmos de uso más extendido.

pública⁶. Esta situación hace de la provincia de Buenos Aires una zona relevante para experimentar con la detección a gran escala y alta frecuencia de basurales.

Metodología

Este sistema implementa un modelo de Red Neural Convolutiva (CNN, *Convolutional Neural Network*) mediante una arquitectura U-Net⁷ desarrollada para realizar el proceso de segmentación (señalar los límites precisos de áreas de interés en la imagen), que identifique los patrones característicos de los basurales. El resultado del modelo es una imagen del mismo tamaño que la de entrada, en la que cada píxel tiene una probabilidad asociada de pertenecer a un basural. Esto significa que el modelo encontrará no sólo la presencia de basurales sino también su forma (posición de sus bordes). Esta característica es de gran importancia para las aplicaciones de planificación, ya que permite medir el crecimiento de los basurales a lo largo del tiempo, así como su posible solapamiento con otros usos del suelo (cursos de agua, zonas habitadas, etc.).

El modelo requiere de un conjunto de imágenes "anotadas" para el proceso de entrenamiento, es decir imágenes que muestran los basurales conocidos con sus áreas delimitadas. Cada imagen de entrenamiento lleva asociada una máscara binaria -una capa adicional que cubre sólo el espacio ocupado por basural- que permite delimitar el objeto de interés. Por ser originadas por sensores satelitales, las imágenes pueden contener muchas bandas; además de luz visible en espectro rojo, verde y azul (RGB) pueden utilizarse otras mediciones incluidas en la imagen satelital como parte del input, como se describe a continuación.

Bandas disponibles en la imagen satelital provista por Sentinel

Consideramos entonces las siguientes bandas:

- **RGB:** Las 3 bandas cromáticas
- **NIR:** Infrarrojo cercano, por ser sensible a la vegetación (ayuda a detectar el *background*)
- **SWIR-1 y SWIR-2:** Cercano infrarrojo de onda corta (*short wave infrared*) también por ser sensible a la vegetación
- **NDSW:** Diferencia normalizada de las dos bandas de onda corta (SWIR-1 y SWIR-2) del satélite Sentinel-2, por ser sensible a la emisión de metano

El algoritmo desarrollado alcanzó su mejor performance utilizando la información de 6 bandas: las tres bandas de color (RGB), una banda de infrarrojo cercano (NIR), la diferencia normalizada de las banda de infrarrojo de onda corta (SWIR-1 y SWIR-2) y la banda SWIR-1.

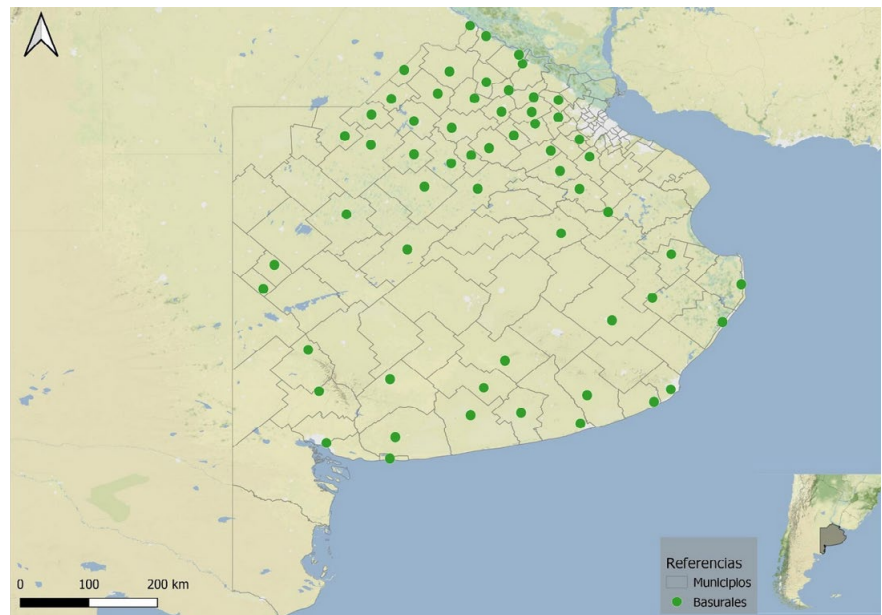
Fuentes de información utilizadas

Las imágenes de satélite utilizadas en este trabajo proceden del proyecto Sentinel-2, la misión de observación de la Tierra a cargo de la Agencia Espacial Europea (ESA). Se obtuvieron a través de Google Earth Engine. La resolución de

imagen utilizada es de 10 metros por pixel, y fueron capturadas entre el primer y el último día de febrero de 2021.

Para el proceso de entrenamiento contamos con dos conjuntos de datos con ubicaciones georreferenciadas de basurales a cielo abierto ilegales ya conocidos. Un conjunto fue obtenido de un reporte de ACUMAR, la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo (organismo público encargado de mejorar la calidad ambiental de la principal cuenca fluvial de la región). El restante, de un informe de la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Buenos Aires sobre la situación de los basurales en la Provincia. Estas fueron las fuentes a las que se acudió para obtener anotaciones, el término que reciben los datos previamente validados utilizados como ejemplo para entrenar sistemas de aprendizaje automático. En combinación, las fuentes proporcionan 81 casos de basurales delimitados y georreferenciados, que fueron utilizados para entrenar el algoritmo de aprendizaje automático supervisado que permite la detección automatizada de áreas similares.

Imagen 1
**Ubicación de los
basurales en base a
fuentes secundarias**



Entrenamiento

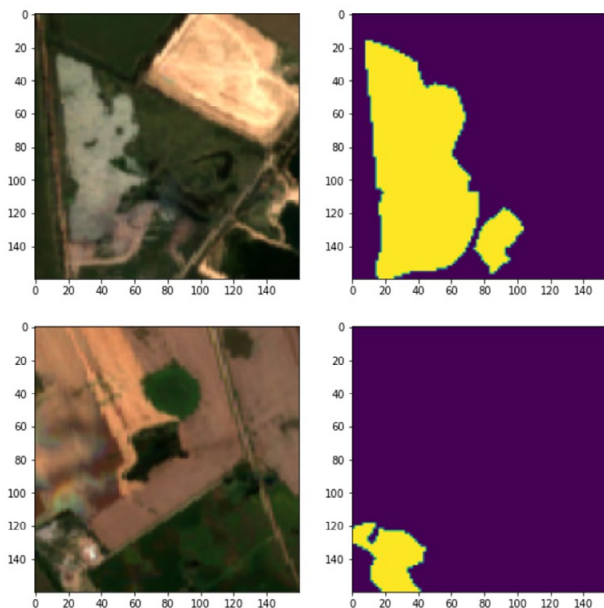
La etapa de entrenamiento del algoritmo tuvo como paso inicial la creación del conjunto de datos con el formato y características necesarias para el insumo de un modelo predictivo. Se utilizó una combinación de herramientas para el manejo de datos geospaciales libremente disponibles, como GDAL⁸ y pysatproc⁹, para crear una colección de imágenes conteniendo las bandas de información explicadas antes, junto a las máscaras que indican la presencia de basurales en cada una de ellas. Se recortaron las imágenes satelitales de su tamaño original en fragmentos pequeños, con dimensiones más prácticas para su procesamiento por el algoritmo U-Net. También se obtuvieron muestras adicionales rotando y recortando de distintas formas las imágenes originales, logrando así un mayor número de anotaciones disponibles para el entrenamiento: En total 1917 imágenes con un tamaño de 100x100 píxeles por 6 bandas (colores visibles e infrarrojos) y sus respectivas máscaras.

8. GDAL es un conjunto de funciones que permiten traducir entre formatos de datos geospaciales rasterizados y vectoriales. <https://gdal.org/>

9. pysatproc es una librería de funciones para el lenguaje de programación Python, dedicada al procesamiento de imágenes geospaciales para aplicaciones de machine learning. <https://pypi.org/project/pysatproc/>

Imagen 2

Imagen satelital color (RGB) de basurales conocidos, junto a la “máscara” asociada que señala sus límites



10. TensorFlow es una plataforma de código abierto que ofrece funciones para realizar todas las operaciones del ciclo de vida del aprendizaje automático. <https://www.tensorflow.org/>

11. Keras es una librería de Python que ofrece una interfaz simple de usar para interactuar con TensorFlow (como analogía, TensorFlow sería un motor de auto, y Keras la carrocería, transmisión, comando, etc). <https://keras.io/>

Una vez producido el conjunto de imágenes de entrenamiento, se alimentó a una red neuronal U-Net vía *Tensorflow*¹⁰, utilizando *Keras*¹¹ como interfaz para programar el proceso en código de programación Python. A modo de resumen de especificaciones técnicas, podemos decir que la arquitectura U-Net se construyó con cuatro capas de muestreo descendente y cuatro capas de muestreo ascendente, con seis canales en la primera capa convolucional, y un tamaño de núcleo de 3x3 en todas las capas convolucionales del modelo.

Como es habitual en la práctica de *machine learning*, se dividió el total de imágenes en subconjuntos dedicados a fines de entrenamiento, de validación y de prueba. Los dos primeros conjuntos fueron alimentados al modelo para su aprendizaje, y el último para evaluar su performance prediciendo sobre imágenes que no fueron utilizadas en el proceso de entrenamiento y por tanto el algoritmo no “conoce”. Se dedicó un 10% de las imágenes para la prueba de performance, y de las restantes se dedicó en un 70% para el entrenamiento y la diferencia para validación.

En la práctica, este problema de clasificación presenta *desequilibrio* entre clases. Es decir, la clase “imagen donde no aparece un basural a cielo abierto” es muchísimo más frecuente que la clase a la que corresponden las imágenes que presentan un basural visible. En estas condiciones, el modelo tiende a conocer el terreno de fondo mucho más que los objetos de interés, por lo que tiende a predecir el fondo (paisaje general) más que los objetos deseados (basurales). Para reducir el problema, utilizamos una opción de entrenamiento llamada entropía cruzada binaria ponderada. Esta opción permite considerar diferentes valores de peso para cada clase (o una clase, en este caso), para forzar el aprendizaje de patrones a centrarse más en los casos que son menos frecuentes en el conjunto de datos.

La métrica utilizada para evaluar la performance alcanzada por el algoritmo es la Intersección sobre Unión (IoU por *Intersection over Union* en inglés), que se utiliza con frecuencia en aplicaciones relacionadas con la detección y segmentación de objetos. Es esencialmente un método para cuantificar el porcentaje de

solapamiento entre la máscara que define los basurales conocidos y la que produce nuestra predicción, midiendo el número de píxeles en común dividido por el número total de píxeles presentes en ambas máscaras.

Visualización 2 Métricas

Métricas

A partir de las 81 anotaciones de basurales generamos un dataset de 1917 imágenes, el cual dividimos en entrenamiento, validación y testeo.

Entrenamiento	Validación	Testeo
Para entrenar al modelo	Para ajustar los parámetros del modelo	Para evaluar al modelo y medir la performance

Métrica utilizada:
Intersection over union (IOU) muestra la coincidencia por solapamiento entre la predicción y el objeto

- $IOU = \text{verdadero_positivo} / (\text{verdadero_positivo} + \text{falso_positivo} + \text{falso_negativo})$.
- Tiende a 1 cuando la predicción mejora.

Ejemplo
Umbral: 0.5

Verdadero positivo
verdad de campo
predicción
IoU = 0.8

Falso negativo
verdad de campo
predicción
IoU = 0.1

Falso positivo

$$IOU = \frac{\text{area de solapamiento}}{\text{area de unión}}$$

Así comparamos los resultados de entrenar la red neuronal con distintas combinaciones de bandas disponibles en las imágenes satelitales que provee Sentinel: Sólo color visible (R, G, B), color visible más infrarrojo cercano, color visible y bandas de onda corta, etc. Tras comparar la capacidad de predicción de modelos entrenados con diferentes combinaciones, se halló el mejor rendimiento utilizando las ya mencionadas capas R,G,B junto a infrarrojo cercano y la diferencia entre las dos bandas de onda corta del infrarrojo cercano.

Tabla 1
Comparación de performance entre modelos entrenados con distintas bandas

Bandas utilizadas para entrenamiento	Performance alcanzada (IoU)
RGB	0.593
RGB-NIR	0.660
RGB-NIR-SWIR	0.650
RGB-NIR-SWIR-NDSW	0.675

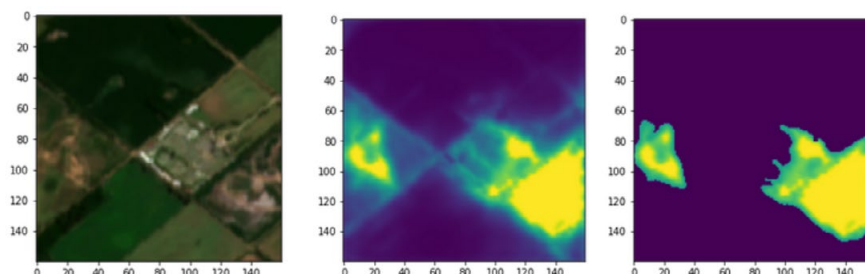
Predicción y postprocesamiento

Tras completar el entrenamiento se obtuvo un modelo capaz de predecir (esto es señalar la presencia) basurales a cielo abierto a partir de nuevas imágenes provistas; por ejemplo, repitiendo el proceso con imágenes de áreas donde no se conoce a priori la existencia de basurales. La predicción producida consiste en un conjunto de imágenes con una banda adicional que indica la

probabilidad estimada, para cada píxel, de que la imagen muestre un basural a cielo abierto.

Para eliminar los casos con baja probabilidad -que se asumen como falsos positivos- se implementa un proceso de filtrado sobre todos los resultados predichos, aplicando un umbral de probabilidad por píxel: se descartan todas las predicciones cuya probabilidad estimada es baja. Además se eliminan ciertas predicciones en función de su superficie, ya que las áreas más pequeñas clasificadas como basurales tienen más chances de ser falsos positivos. El umbral se fijó en 100 m², teniendo en cuenta que los basurales de alto impacto ambiental y social alcanzan superficies mucho mayores. Sin embargo, vale aclarar que este umbral es modificable al momento de aplicar el algoritmo, permitiendo retener áreas predichas de menor extensión.

Imagen 3
Imagen RGB, predicción
“en crudo”, resultado
tras aplicar umbral
de probabilidad para
limpiar la predicción



Resultados y desafíos

Luego de identificar el modelo de mejor performance, se lo aplicó para analizar imágenes satelitales cubriendo los alrededores de 3528 centros urbanizados en la Provincia de Buenos Aires, considerando un área de 10 km de diámetro en torno a cada localidad. **El modelo identificó la ubicación de un 95% de los basurales conocidos** (aquellos que fueron parte del conjunto para entrenamiento) junto a un conjunto adicional de potenciales emplazamientos.

Más allá de este resultado, es posible mencionar algunos desafíos y potenciales mejoras. En primer lugar, se observó la obtención frecuente de falsos positivos entre las predicciones, lo que revela que ciertas tipologías visibles desde el espacio -como grandes terrenos baldíos, excavaciones de cimientos, o barrizales en márgenes de ríos- pueden ser detectados por el algoritmo como basurales por presentar un aspecto similar. Este comportamiento cabe dentro de lo esperado, ya que la puesta en práctica de la metodología asume la participación de una persona con conocimiento del tema, que evalúe y descarte con rapidez los falsos positivos, conservando aquellas áreas detectadas con potencial como nuevo basural hallado.

Un segundo desafío es que los basurales pequeños (de tamaño inferior a una hectárea) son difíciles de detectar utilizando la imagen gratuita provista por Sentinel, debido a que su resolución óptica no es suficiente. Para la detección de microbasurales habría que recurrir a fuentes de mayor definición -como proveedores comerciales de imágenes satelitales de alta resolución o imágenes aéreas capturadas con drones o vuelos de reconocimiento.

Por último, como es común en aplicaciones que dependen de fuentes satelitales, la presencia de nubes al momento de la captura de la imagen hace imposible realizar la detección sobre el terreno cubierto. Esto puede resolverse buscando imágenes tomadas en distintas fechas, pero se ha observado que en áreas particulares por su clima puede resultar difícil adquirir imágenes libres de nubosidad. Aún con sus limitaciones como fuente, las imágenes del satélite Sentinel-2 resultan de enorme valor para la reproducibilidad de estos resultados y la aplicación de la metodología en otros contextos territoriales, debido a su disponibilidad pública y a su facilidad de adquisición. El acceso gratuito a las imágenes de satélite de 10 metros de resolución, junto con los algoritmos de aprendizaje automático de código abierto como los que hemos hecho públicos, permiten el análisis rápido de extensas áreas a un coste mínimo.

En resumen, el plan de trabajo para esta etapa del proyecto se completó de modo satisfactorio, produciendo un modelo analítico automatizado que permite monitorear la aparición y crecimiento de basurales a cielo abierto analizando imágenes satelitales de acceso público. El testeado realizado sobre los centros urbanos de Buenos Aires permitió detectar exitosamente los basurales conocidos, además de varios nuevos potenciales sitios. La evaluación de los mismos se realizó junto a expertos ambientales en una siguiente etapa de validación en campo que describiremos en la siguiente sección.

Difusión

La difusión de este proyecto se realizó mediante dos estrategias: por un lado, se pusieron a disposición los datos para el público en general y, por otro lado, se realizaron dos webinars y un taller práctico.

En relación a la apertura de datos y posibilidad de replicar el proceso, se generó un repositorio: <https://github.com/dymaxionlabs/basurales> con un conjunto de *notebooks* Jupyter (conjuntos de código y documentación listos para usar).

Visualización 3 Notebooks de código y documentación para reproducir los resultados del proyecto



- 12. Devesa, María Roberta, y Vazquez Brust, Antonio. (2021). *Mapping illegal waste dumping sites with neural-network classification of satellite imagery*. Disponible en <https://arxiv.org/abs/2110.08599>
- 13. <https://kdd-humanitarian-mapping.herokuapp.com/>
- 14. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=u9Yf8BJMiao>
- 15. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=h-WU0alG4mU>

Por otro lado, en materia de eventos de difusión:

- Se presentaron los resultados y un paper¹² específico en la Conferencia Internacional de Descubrimiento de Conocimiento y Minería de Datos (2nd KDD workshop on Data-driven Humanitarian Mapping)¹³, que reúne a una comunidad global de especialistas para promover una agenda de investigación en ciencia de datos compartida, con foco en acciones humanitarias equitativas y desarrollo sostenible, organizado por el MIT, Facebook, Harvard University, y Oak Ridge National Laboratory.
- Se realizó una presentación general del proyecto y sus resultados¹⁴, abierto al público en general, y un taller práctico¹⁵ con un listado pre seleccionado

de funcionarios municipales y provinciales, especialistas y entusiastas en el tema, los cuales fueron capacitados y realizaron una práctica interactiva sobre los datos obtenidos en el proyecto, a partir de una serie de notebooks creadas a tal fin.

Estos eventos fueron realizados junto a Dymaxion, y el taller contó con la coordinación y difusión de la Red de Innovación Local (RIL).

Etapa 2:

Validación del algoritmo

Como derivación de la primera etapa del proyecto y, con el fin de evaluar y mejorar el algoritmo con expertos, en 2022 establecimos una alianza colaborativa con el **Centro de Información Metropolitana (CIM)**, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU) - Universidad de Buenos Aires, para evaluar, mejorar y verificar en campo la metodología de código abierto en la región metropolitana de Buenos Aires.

El CIM es un reconocido referente en proyectos de investigación sobre Sistemas de Información Territorial de la metrópolis de Buenos Aires, que cuenta con varios proyectos sobre la temática, entre ellos el Atlas de la Basura. Son uno de los pocos equipos científicos, sino los únicos, que se dedican específica y únicamente a esta problemática y a la interrelación entre sociedad y basurales, es decir los efectos de los basurales en las poblaciones lindantes y viceversa.

Objetivos y plan de trabajo

En esta etapa y a través de esta colaboración, buscamos evaluar, mejorar y verificar en campo la metodología de código abierto (*open source*) para la detección de basurales a cielo abierto en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

Los **objetivos específicos** fueron: *a) inspeccionar en campo aquellos basurales encontrados por el algoritmo de detección, b) evaluar el cambio de uso de los basurales, su estado de visibilización y/o actividad, c) detectar nuevos basurales para realizar intervenciones tempranas, d) identificar otros usos asociados a los basurales, disposición privada o industrial.*

Para ello, se diseñó un plan de trabajo orientado a obtener mejoras a partir del entrenamiento de nuevos ejemplos de basurales visibles en imagen satelital en distintos años, para luego pasar a una etapa de trabajo en campo en varios municipios, verificando si los potenciales basurales encontrados por el algoritmo efectivamente son basurales a cielo abierto, tomando muestra del suelo y midiendo la intensidad del fenómeno. Se resume en los siguientes puntos, explicados en mayor detalle en las siguientes secciones:

Construcción de etiquetas:

- Selección de los basurales a utilizar como ejemplo, aportando la geolocalización y las máscaras.

Fase de entrenamiento:

- Entrenamiento del sistema con las nuevas máscaras.

Fase de verificación:

- Contrastación de los resultados con los registros del CIM del año 2017.
- Detección de porcentaje de falsos positivos, positivos y dudosos.

Tarea de Campo:

- Realización de visitas a los basurales para verificar la presencia o no del basural, su estado, y el reconocimiento general del área.

Transferencia de conocimiento

- Taller con el equipo del CIM para transferir los códigos de la herramienta y su método de uso.

El equipo se dedicó a las tareas mencionadas anteriormente desde fines del año 2022 hasta principios del 2023.

Fuentes de información utilizadas

Para el proceso de entrenamiento contamos con la base de datos de basurales de la Región Metropolitana de Buenos Aires (41 Municipios) al año 2017 que constaba de 365 basurales activos, según el relevamiento realizado por el CIM, además de los datos actualizados al año 2021 con un total de 151 basurales activos. Las fuentes proporcionan casos de basurales delimitados y georreferenciados que fueron utilizados para re-entrenar el algoritmo de aprendizaje automático.

Metodología

El proyecto buscó aprovechar tanto la experiencia e idoneidad del equipo CIM para confirmar la presencia de basurales detectados por el algoritmo, como su base de datos recopilada -durante años de trabajo- con la posición y período de estado activo de grandes basurales a cielo abierto en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA). El algoritmo de detección previamente desarrollado fue mejorado al agregar nuevos ejemplos de basurales, en imágenes de distintos años, como insumo para su entrenamiento.

Se trabajó de modo iterativo, con un proceso por el cual cada nueva versión del algoritmo se aplicó para examinar toda la superficie del AMBA para obtener una serie de “predicciones”, terrenos donde el sistema identificaba altas probabilidades de hallar un basural. El equipo CIM luego aplicó su mirada entrenada para determinar cuáles de los sitios aparentaban ser basurales, y cuáles eran falsos positivos.

Imagen 4

Polígono delimitando un área con rasgos de basural a cielo abierto visibles desde órbita satelital



Ambos insumos (positivos correctos e incorrectos) fueron usados a su vez para entrenar una vez más una versión del algoritmo, mejorada gracias a los insumos nuevos. Al completar dos ciclos de depuración, se obtuvo una versión capaz de encontrar tanto basurales ya conocidos como otros que no existían en registros previos, descubiertos gracias a su aplicación, y con un número razonablemente bajo de falsos positivos. Esta

reducida cantidad de errores permite a la herramienta ser utilizada de forma ágil, al requerir poco tiempo la revisión humana de resultados. Como fuente de imágenes satelitales se utilizó el repositorio del proyecto Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea, que provee de forma gratuita imágenes a color de toda la superficie de la tierra, con una resolución de 20 metros por pixel y actualización bisemanal.

Resultados

El proceso culminó con el desarrollo de un algoritmo de alta eficacia, que puede utilizar imágenes satelitales de acceso público y gratuito para detectar nuevos basurales a futuro, así como monitorear la evolución de los ya registrados.

Durante el período de desarrollo se identificaron 33 grandes basurales a cielo abierto, o potenciales basurales, cuya existencia no era conocida por el equipo investigador. La Fundación Bunge y Born financió el trabajo de campo requerido para visitar los sitios, verificar la detección basada en IA, y sumar datos de contexto importantes para su posterior estudio y gestión.

Por último, y como corolario de esta etapa de trabajo, se realizaron una serie de talleres de transferencia de conocimiento con el equipo del CIM, quienes fueron capacitados en el uso de la herramienta con el objetivo de poder automatizar gran parte de sus tareas de identificación de basurales a nivel metropolitano. Este tipo de instancias demuestran las amplias posibilidades de intercambio y transferencia, no solo en el ámbito de la gestión pública, sino también en el ámbito académico y de la investigación científica.

Etapa 3: Implementación y Gestión integral de microbasurales

En 2021, luego de compartir los principales resultados de la herramienta tecnológica con representantes de municipios y organismos públicos mediante *workshops* públicos y talleres colectivos, concluimos que el nivel local suele lidiar con problemas que tienen que ver con la escala más habitual de los basurales, que corresponde a pequeños lotes o espacios de la ciudad en donde se va acumulando basura durante cierto tiempo, o bien áreas de valor natural que valdría la pena preservar y monitorear, sobre todo porque si no se lo controla a tiempo son el germen de un basural de mayor escala.

En este marco, y gracias al interés que despertó la temática entre los participantes de los *workshops*, nos aliamos con la Subsecretaría de Ambiente de la Municipalidad de Mendoza, con el objetivo de modificar y ajustar el algoritmo de detección de basurales a cielo abierto para que detecte microbasurales, utilizando imágenes aéreas tomadas por vuelos de dron o avionetas como insumo. El organismo contaba con insumos de este tipo y tenía particular interés en implementar la herramienta en un área particular del Municipio.

Trabajar con imágenes aéreas de mayor alcance en términos de escala permitió, además de identificar basurales de menor superficie, agregar algunas funcionalidades a la herramienta, como la clasificación del material predominante en la basura de cada sitio identificado.

Objetivos y plan de trabajo

El objetivo principal de esta etapa fue desarrollar una metodología de detección de microbasurales adaptada al contexto del piedemonte mendocino.

Además, se propuso ajustar el algoritmo para adquirir la capacidad de determinar el material predominante en los basurales (madera, plástico, metales, etc), información clave para el posterior tratamiento de los residuos y el aumento de los niveles de recuperación y reciclado.

Área de estudio

Para la implementación de esta nueva versión del algoritmo se trabajó en un área particular del pedemonte mendocino que resultaba de interés para las autoridades municipales. La misma se trató de la zona del Barrio La Favorita, al oeste de la ciudad. La zona posee ciertas características distinguibles que hacen que la problemática de los residuos se manifieste de manera clara: por un lado, se

trata de un área de gran valor natural y paisajístico, por lo que su puesta en valor resulta de interés para la gestión, con el objetivo de aprovechar estas cualidades y fomentar el desarrollo local. En este punto, la acumulación de basura atenta contra este potencial. Por otro lado, las características físico naturales de la región agravan la degradación ambiental causada por los basurales. La pronunciada pendiente del terreno, característica de las zonas pedemontanas, favorece la contaminación hacia cursos de agua que transcurren pendiente abajo, afectando a un área mayor. Por último, la zona cuenta con una importante concentración de población de bajos recursos. La falta de un sistema formal de recolección, sumado al aprovechamiento económico de la actividad por parte de la población local, favorece la autogestión de los residuos por parte de los denominados “puesteros”, surgiendo un complejo circuito informal de recolección y disposición de residuos que normalmente acaba en acumulaciones en la vía pública o en predios privados. La conjunción de estos factores hace que el análisis de la zona de La Favorita resulte de especial interés para la gestión local, con el objetivo de mitigar estas situaciones desfavorables.

Imagen 5
**Vista satelital del Barrio
La Favorita, Mendoza.**
Fuente: Google Earth



Fuentes de información utilizadas

La Subsecretaría proveyó una imagen aérea del Piedemonte mendocino, cubriendo el área del barrio La Favorita y sus alrededores, característico por la presencia de puntos utilizados como vertederos por parte de vecinos y empresas de la zona. La imagen, de muy alta resolución -3.5 cm/pixel-, fue generada mediante toma de fotografías por dron en 2019 y cubre 790 hectáreas de superficie.

A su vez, se utilizó un reporte que identifica los basurales conocidos por el equipo de trabajo a partir de un relevamiento de campo, que identifica las características de las acumulaciones de basura según su temporalidad y ubicación.

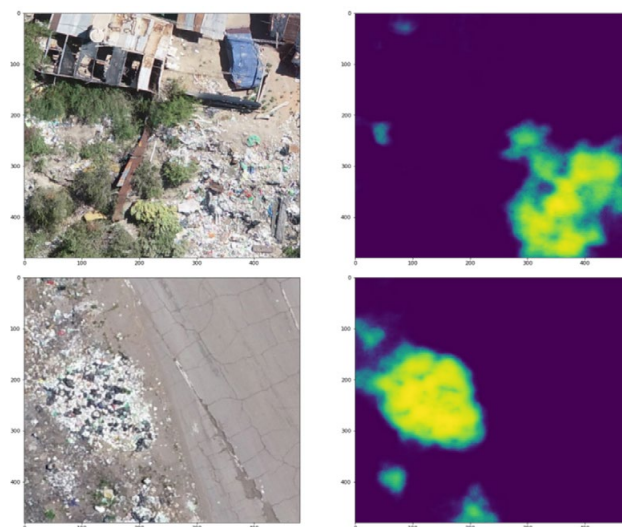
Metodología

A partir de los puntos en el mapa donde el equipo municipal señaló la presencia de basurales detectados por trabajo en campo, se utilizó el software de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para trazar los contornos precisos de las acumulaciones de basura visibles, tanto las detectadas por el equipo

de trabajo como otras identificadas en la imagen durante este proceso de georreferenciamiento.

Este primer set de ejemplo de basurales visibles en la imagen disponible fue utilizado para entrenar un algoritmo de detección basado en redes neuronales, aplicando la misma tecnología empleada para la experiencia en el AMBA en las etapas 1 y 2, pero adaptada para trabajar con imágenes de mucha más alta resolución. La primera versión del algoritmo resultó capaz de detectar satisfactoriamente los basurales conocidos, y además, al analizar por completo la superficie cubierta por la imagen aérea, determinó en varios centenares de sitios adicionales la presencia probable de basura. Estas áreas fueron analizadas una a una por inspección visual, confirmando los sitios correctamente clasificados como basurales, y señalando los errores como falsos positivos. Con este nuevo conjunto de ejemplos de basurales, extendido y depurado, se entrenó una nueva versión del algoritmo -un proceso iterativo en el cual tanto los aciertos como los errores de la versión previa fueron utilizados como insumo para entrenar un mejor modelo predictivo.

Imagen 6
Imagen aérea de microbasurales de la zona, junto a la predicción realizada por el algoritmo de detección



Este modelo mejorado fue a su vez utilizado para generar el material de entrenamiento requerido para desarrollar un algoritmo capaz de identificar el tipo de residuos presente en los basurales. Mediante una nueva ronda de inspección visual, el equipo de la Fundación Bunge y Born determinó, para cada basural y microbasural detectado por el algoritmo, el material predominante: plástico, ramas, escombros, etc. Este nuevo set de ejemplos, ahora acompañado por un campo que describe el material, se utilizó para entrenar una versión final capaz de realizar detección “multi-clase”: no sólo identificar y delimitar las áreas de los basurales, sino también establecer cuál es el material predominante en su composición.

El algoritmo de detección de basurales y su material predominante, optimizado para el territorio periurbano del piedemonte mendocino, fue el producto final obtenido en esta etapa de desarrollo.

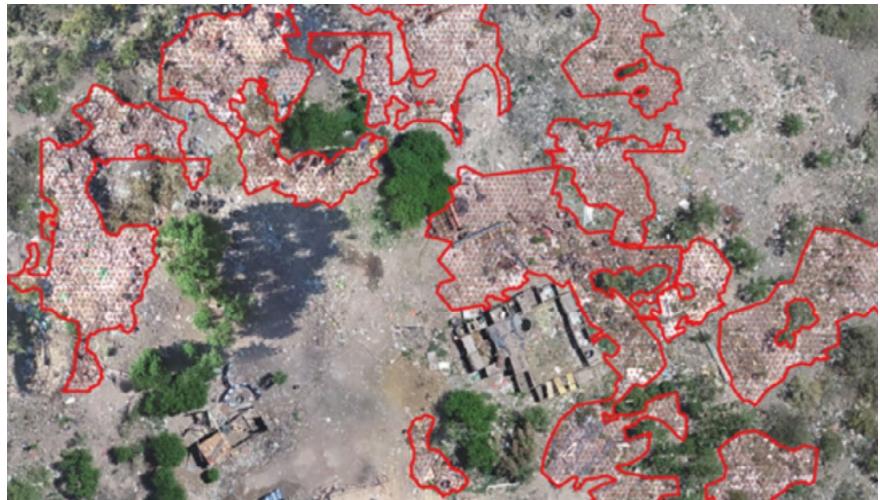
Resultados

La herramienta logró analizar de forma automática toda el área de estudio, identificando la totalidad de los sitios en donde se presenta una acumulación de basura mayor a 1 m². Se obtuvieron en total 1573 áreas con presencia de basurales confirmados.

Imagen 7
Basurales detectados y delimitados por el sistema automatizado en La Favorita



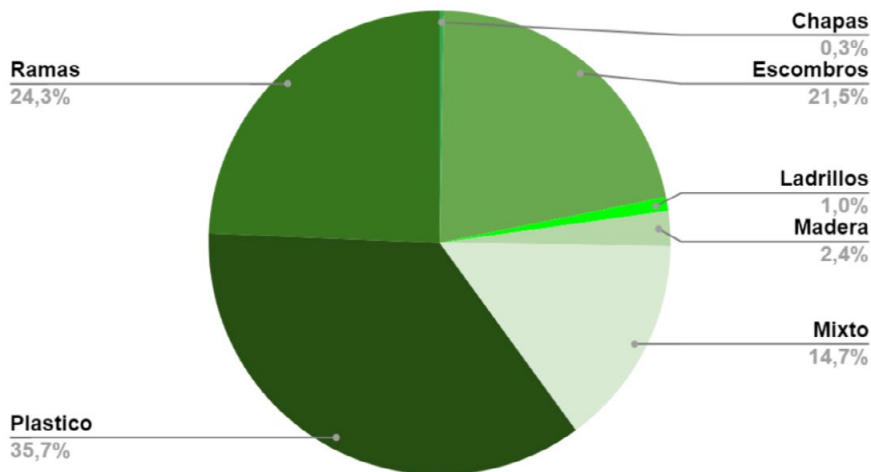
Imagen 8
Basurales detectados y delimitados por el sistema automatizado en La Favorita (detalle)



Además, fue capaz de detectar el material predominante, considerando la siguiente clasificación a partir de la consulta a especialistas del equipo: plástico, ramas, madera, ladrillos, piedras y mixto (en el caso de que la acumulación sea indistinguible).

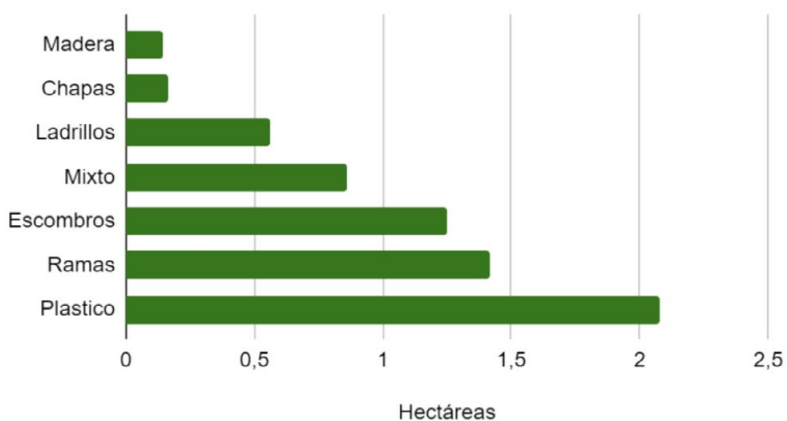
La clasificación por material, permitió obtener una caracterización de los microbasurales del área. El material más frecuente son las acumulaciones de ramas, seguido por el plástico, lo cual supone una predominancia de basurales con contenido orgánico, frente a los materiales inorgánicos (en orden de cantidad, escombros, maderas, ladrillos y chapas). Aproximadamente un 15% corresponde a materiales mixtos.

Imagen 9
Superficie cubierta por material (%)



Considerando la superficie de los microbasurales a partir de sus materiales predominantes (en ha.), los más extensos se componen principalmente de plástico y ramas. No obstante, la presencia de materiales como tablones, chapas, ladrillos, escombros, etc. contribuye a la dispersión de las acumulaciones y su permanencia en el lugar.

Imagen 10
Área total de microbasurales por material (ha.)



A partir de la incorporación de la herramienta en el marco del Plan de Prevención y Mitigación de Microbasurales, la Subsecretaría pudo mejorar la capacidad de identificación de nuevos microbasurales a cielo abierto, dando la posibilidad de multar a los involucrados en dicha actividad. Por otro lado, se han detectado nuevos fraccionamientos ilegales y desmontes que han realizado los puesteros en la zona. Como consecuencia de la detección de los microbasurales en el área de estudio, el Municipio pudo comenzar con tareas de limpieza y remediación en algunas zonas particulares (ver imágenes 11 y 12), además de iniciar conversaciones con vecinos para prevenir la disposición inadecuada de los residuos en las zonas identificadas como de mayor riesgo socio ambiental.

Imagen 11
Áreas con acumulación
de basura identificadas
por el algoritmo de
detección



Imagen 12
Áreas con acumulación
de basurales posterior
a la limpieza y
remediación realizada
por el Municipio



Difusión

La difusión del proyecto consistió en la presentación del desarrollo y sus resultados en diferentes espacios:

- En mayo del 2022 realizamos un **webinar** junto a representantes de la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza y de Red de Innovación Local (RIL), para compartir e intercambiar información acerca del trabajo que realizamos en la detección de microbasurales a cielo abierto. Contó con la participación de más de 50 representantes de municipios de todo el país, convocados por RIL.
- En agosto del 2022 participamos del **Primer Encuentro Colaborativo de Estrategias** urbano-ambientales organizado por la ciudad de Mendoza, donde fuimos la única organización de la sociedad civil en exponer, junto a representantes de las ciudades de Mendoza, Córdoba y Buenos Aires. Allí, Antonio Vázquez Brust, fellow de la Fundación Bunge y Born, realizó una exposición titulada “Detección automatizada de microbasurales: ¿Cómo monitorear la acumulación de basura urbana con imagen aérea e inteligencia artificial?”, utilizando el caso de Mendoza como ejemplo.
- Por último, a fin de septiembre del mismo año realizamos un encuentro virtual con integrantes de la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza y personal de otros municipios del Gran Mendoza como Guaymallén, Las Heras y Lavalle. Durante el encuentro se presentó la experiencia de implementación

de la herramienta de detección de microbasurales, con el objetivo de que pueda ser utilizada a nivel metropolitano.

- A principios de julio de 2023 participamos del encuentro virtual “Desafíos para la gestión de residuos municipales” organizado por RIL, donde contamos la experiencia del Detector en conjunto con representantes de organismos públicos municipales de distintos puntos del país y de la región.
- A mediados de 2023 realizamos el curso de Capacitación “**Introducción a GIS e Inteligencia Artificial para la Detección de Basurales a Cielo Abierto**” que tuvo como objetivo formar a representantes de organismos públicos locales, provinciales y nacionales, empresas, organizaciones civiles y universidades en el uso de la herramienta. El curso contó con casi 300 participantes de distintos lugares de Argentina y del mundo.

Las acciones de difusión y *outreach* fueron fundamentales para lograr avanzar en vínculos con instituciones de renombre en la temática ambiental, con el objetivo de robustecer la herramienta y amplificar su alcance.

- En septiembre de 2023 firmamos un Acuerdo Marco de colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Este convenio de cooperación institucional tiene como objetivo ampliar el alcance del Detector de Basurales con el objetivo de que se convierta en un bien público que permita realizar análisis e intervenciones a escala regional e inclusive nacional. El convenio además permite el acceso al catálogo de imágenes satelitales de alta resolución espacial de la agencia, insumo que resulta importante para la aplicación de la herramienta. Se prevé avanzar con las tareas involucradas en el convenio durante el 2024.
- En noviembre de 2023 mantuvimos una reunión con representantes de la división de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el objetivo de analizar posibles líneas de vinculación a partir de la herramienta de Detección de Basurales. Como consecuencia de este vínculo fuimos invitados a realizar una publicación conjunta en el Blog de Ciudades Sostenibles¹⁶ del BID titulada “Monitoreando la ciudad con drones: inteligencia artificial al servicio de la gestión ambiental”.

16. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/>

Conclusión

La gestión de residuos es un desafío complejo que enfrentan los gobiernos municipales en todo el mundo, especialmente en regiones en desarrollo como América Latina. El aumento rápido de la producción de residuos, junto con limitados presupuestos municipales y falta de atención estatal, ha llevado a una mala gestión de los residuos, dando lugar a la proliferación de basurales y microbasurales a cielo abierto. La lucha contra la proliferación de basurales y microbasurales a cielo abierto es un desafío que requiere soluciones innovadoras y colaborativas.

Si bien el desarrollo y la implementación de herramientas tecnológicas como esta pueden marcar la diferencia, es importante destacar que el éxito de estas soluciones depende de la colaboración y el compromiso de diversos actores, incluyendo gobiernos, organizaciones sin fines de lucro, empresas privadas y la sociedad en su conjunto, para abordar esta problemática de manera integral y sostenible.

La colaboración entre la Fundación Bunge y Born, el Centro de Información Metropolitana y las autoridades municipales de la ciudad de Mendoza ha sido fundamental para el éxito del proyecto. La aplicación de tecnologías de inteligencia artificial y el uso de imágenes satelitales y aéreas permiten obtener datos precisos y actualizados sobre la ubicación y el crecimiento de basurales, lo que facilita la toma de decisiones informadas basadas en datos precisos y actualizados y la implementación de políticas efectivas de gestión de residuos, además de contribuir a la tarea de la comunidad académica y a entidades dedicadas al *data for good* con algoritmos, código de implementación y documentación para replicar la solución en otros contextos y países.

Recursos

Datos abiertos

- Repositorio de código y notebooks Jupyter: <https://github.com/dymaxionlabs/basurales>

Cursos, webinars y talleres

- Inteligencia Artificial, Satélites y Políticas Públicas: <https://www.youtube.com/watch?v=u9Yf8BJMiao>
- Taller práctico: <https://www.youtube.com/watch?v=h-WUOalG4mU>
- Webinar: "Detección automatizada de microbasurales", junto a Red de Innovación Local y Ciudad de Mendoza: https://youtu.be/WW5lvB__hQ
- Curso "Introducción a GIS e Inteligencia Artificial para la Detección de Basurales a Cielo Abierto": <https://www.youtube.com/watch?v=2ku2e1x7BuU>

Publicaciones

- Devesa, M. and Vazquez Brust, A., 2021. *Mapping illegal waste dumping sites with neural-network classification of satellite imagery*. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/2110.08599v2> [Último Acceso: 9 November 2021].
- Fermani, S. , Pahn, E. y Vázquez Brust, A., 2023. *Monitoreando la ciudad con drones: inteligencia artificial al servicio de la gestión ambiental* [online] Editor: Daniel Peciña. Banco Interamericano de Desarrollo. Blog Ciudades Sostenibles. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/monitoreando-la-ciudad-con-drones-inteligencia-artificial-al-servicio-de-la-gestion-ambiental/>

Bibliografía

A Cittadino et al. 2020. *Heavy metal pollution and health risk assessment of soils from open dumps in the Metropolitan Area of Buenos Aires, Argentina*. Environmental Monitoring and Assessment 192, 5 (May 2020), 291. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8246-x>

Atlas de la basura del Área Metropolitana de Buenos Aires. Wolkowicz Editores.

David C Wilson y Costas A Velis. 2015. Waste management – still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy 33, 12 (Dec.2015), 1049–1051. <https://doi.org/10.1177/0734242X1561605>

David N. Pellow. 2004. *The Politics of Illegal Dumping: An Environmental Justice Framework*. Qualitative Sociology 27, 4 (2004), 511–525. <https://doi.org/10.1023/B:QUAS.0000049245.55208.4b>

Daniel Hoornweg y Natalie Giannelli. 2007. *Managing Municipal Solid Waste in Latin America and the Caribbean : Integrating the Private Sector, Harnessing Incentives*. Technical Report 28. World Bank.

MF Ibrahim et al. 2021. *The Impacts of Illegal Toxic Waste Dumping on Children's Health: A Review and Case Study from Pasir Gudang, Malaysia*. International Journal of Environmental Research and Public Health 18, 5 (Feb. 2021), 2221. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052221>



25 de Mayo 501, 6° Piso (C1002ABK)
Ciudad de Buenos Aires, Argentina
www.fundacionbyb.org

