

LA 6230- 39 Theory + Research in Landscape
Architecture | FA-25 |

RESTAURACIÓN DE VERTEDEROS MEDIANTE SOLUCIONES SOSTENIBLES



Gustavo A. Burés Villafañe

#117145 | Prof. Linda Jiménez |

Imagen Del Vertedero de Residuos de la Vall d'en Joan por Batlle i Roig Arquitectes, en

Índice:

I. Tema:	2
II. Problema:	6
III. Justificación:.....	12
IV. Aportaciones:	15
V. Preguntas:.....	16
VI. Variables de observación:.....	20
VII. Objetivos y metodología:	20
VIII. Marcos teóricos:.....	26
IX. Análisis de casos de estudio: Caso 1: Vertedero Municipal de Arecibo	32
X. Análisis de casos de estudio: Caso 2: Vertedero Municipal de Vega Baja.....	36
XI. Análisis de casos de estudio: Caso 3: Vertedero Municipal de Juncos	39
X. Precedentes: Freshkills Park por Field Operations, James Corner.....	45
XI. Precedentes: Vertedero de Residuos de la Vall d'en Joan por Batlle i Roig Arquitectes	49
XII. Precedentes: The Hiriya Landfill por Latz + Partner.....	52
XIII. Precedentes: Chaobai River Basin Regeneration Plan por Sasaki	56
XIV. Análisis de Site:	61
XV. Concepto / Metáfora:.....	70
XVI. Conclusión:	71
XVII. Bibliografía:	74

Título: *Restauración de vertederos mediante soluciones sostenibles*

Frase conceptual: *Tejiendo el paisaje sobre las ruinas*

I. Tema:

La restauración de vertederos en Puerto Rico apenas empezó hace unas décadas como un esfuerzo integral, debido a la alarmante cantidad de vertederos en incumplimiento ambiental por parte de la EPA¹ y la cantidad de residuos sólidos que se produce diariamente versus la capacidad para mitigarla. Durante el año 2000 empezó de forma organizada impulsar la necesidad de mejorar las prácticas de manejo de residuos sólidos y el cumplimiento de las nuevas regulaciones ambientales. La Ley para la Reducción y el Reciclaje de los Desperdicios Sólidos² fue aprobada en 1992, fomentando la implementación de programas de cierre, remediación y reevaluación de los vertederos en Puerto Rico, como el de San Juan iniciado en 1999 y luego el de Toa Baja en 2005. Se intensificó con la intervención directa de la EPA a partir de 2002 que empezaron hacer unas evaluaciones más exhaustivas para lograr documentar que facilidades se encontraban en incumplimiento versus las que no cumplían. Luego se estableció en el 8 de octubre de 2000, la Ley Núm. 411 de Puerto Rico convirtiéndose esta la Ley de Reciclaje de Puerto Rico, que establece la obligación de las agencias e instituciones del

¹ Definición de EPA: *Las siglas EPA significan Agencia de Protección Ambiental, la cual corresponde a "U.S. Environmental Protection Agency". Esta agencia del gobierno de los Estados Unidos se encarga de proteger la salud humana y el medio ambiente, a través de la creación y cumplimiento de las normas para controlar la contaminación.*

² *La Ley #70 de Puerto Rico de 1992, conocida como la "Ley para la Reducción y el Reciclaje de los Desperdicios Sólidos", es una legislación clave que estableció el reciclaje como política pública en Puerto Rico para disminuir el volumen de residuos. Esta ley asigna responsabilidades a entidades estatales y municipales, promueve la educación ciudadana y, con enmiendas posteriores como la Ley 411 de 2000, también impuso el deber a las empresas de clasificar y reciclar sus propios desperdicios sólidos.*

gobierno de presentar un Plan de Reciclaje para separar materiales reciclables de los residuos sólidos. Esta ley fue establecida para fomentar la reducción y separación de materiales reciclables en el sector público. Actualmente Puerto Rico cuenta con 29 vertederos operando de los cuales 18 funcionan como vertederos abiertos, sin recubrimientos adecuados y sin protección de suelos o aguas subterráneas. Según la EPA la mayoría de estos 29 vertederos se encuentran más allá de su capacidad máxima. La agencia se ha enfocado en cuatro aspectos importantes: 1) el cierre de vertederos abiertos (vertederos en incumplimiento) a fin de proteger la salud humana y el medioambiente; 2) implementar el plan de reciclaje; 3) reducciones de gases de invernadero mediante sistemas de recolección de gases en los vertederos, control y recuperación de energía a través de los lixiviados³ y otros químicos tóxicos; y 4) mejorar las operaciones en los vertederos y sistemas de relleno sanitario existentes.

Hoy en día la arquitectura paisajista promueve varios métodos de restauración de vertederos mediante soluciones sostenibles; protegiendo el medio ambiente y de bajo costo. La fitorremediación es una ecotecnología que plantea la restauración de la tierra contaminada de un vertedero mediante la utilización de plantas que filtran estos contaminantes a través de sus raíces, absorbiendo o estabilizando los contaminantes presentes como los lixiviados u otros gases que emiten emisiones. Las ecotecnologías son sistemas naturales como los humedales construidos, recubrimientos vegetales

³ Definición de lixiviado según la RAE (Real Academia Española): Líquido residual, generalmente tóxico, que se filtra de un vertedero por percolación, a menudo muy contaminantes y de mal olor, que se forman cuando el agua (como la lluvia) se filtra a través de sólidos, como la basura en un vertedero.

“capping”⁴, entre otros que ayudan a mejorar la filtración de aguas, capturar gases y restaurar ecosistemas de una manera eficiente y sostenible. A través de la utilización de especies nativas se puede aprovechar la adaptación local de plantas para filtrar diversos contaminantes, así fomentando la biodiversidad y aumentando la resiliencia climática, pero a su vez protegiendo los ecosistemas locales. Este tema es sumamente importante y relevante en Puerto Rico debido a la alta preocupación de los sistemas de manejo de desperdicios sólidos y las regulaciones ambientales actuales.

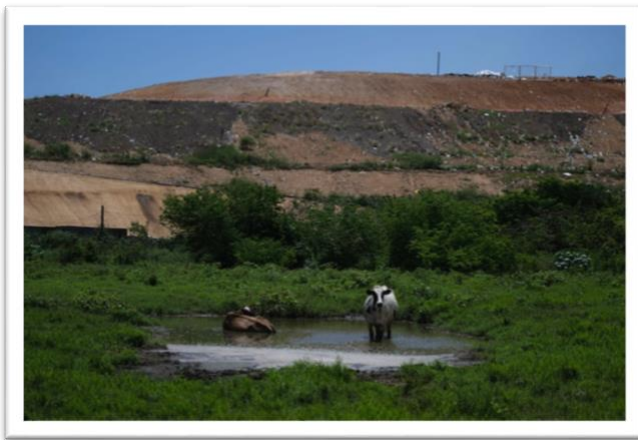


5

⁴ Definición de “capping”: cobertura que se instala como una barrera inicial o intermedia mientras el relleno se encuentra en operación. Su función principal es actuar como una tapa funcional dentro del diseño general del relleno sanitario hasta que los residuos se estabilicen mecánica y biológicamente. La estabilización se refiere a la reducción de la descomposición de los residuos, la generación de gases y la lixiviación.

⁵ Foto explicando las distintas capas que componen un vertedero por: *Freshkills Park*. Antiguo vertedero más grande del mundo restaurado y reestructurado por el arquitecto paisajista James Corner.

Las capas de un vertedero son: 1) capa de base o de impermeabilización que su función es: evita que los lixiviados se filtren al suelo y contaminen las aguas subterráneas. Los materiales comunes son: Geomembranas (HDPE), Arcilla compactada (mínimo 0.5 m) y geotextiles. 2) Sistema de drenaje de lixiviados que su función es: recoger y transportar los líquidos generados por la descomposición de los residuos para su tratamiento adecuado. Los componentes de este sistema de drenaje son: tubos perforados, capa de grava o material granular, y geotextil de filtración. 3) Capa de residuos sólidos, que su función es: la masa de residuos que se va depositando en el vertedero, compactada en capas, se deposita en "celdas" diarias y luego se compacta para reducir el volumen y evitar asentamientos desiguales. 4) Capa de cobertura diaria/intermedia que su función es: cubrir los residuos al final del día para evitar malos olores, dispersión por el viento, proliferación de plagas y entrada de agua. Se utiliza de material el suelo, arena o un material sintético. 5) Capa de cierre o cobertura final que se encarga de sellar el vertedero una vez que ha llegado a su capacidad máxima. Las capas se componen típicamente de: capa de sellado (geomembrana + arcilla), capa de drenaje de aguas pluviales o capa vegetal (con tierra fértil para revegetación).



6

⁶ Imagen por el periódico El Nuevo Día: vertedero de Arecibo, cerrado por incumplimiento de regulaciones ambientales y por evidencia de altos niveles de contaminantes.

II. Problema:

Actualmente Puerto Rico enfrenta una crisis en la gestión de residuos sólidos con vertederos saturados, muchos en incumplimiento con normativas (RCRA Subtitle D⁷), y con las capacidades al límite. Estos espacios generan un gran riesgo a la salubridad humano y a los ecosistemas debidos a los graves contaminantes lixiviados, entre otros contaminantes persistentes como PFAS⁸, emisiones de gases (metano, CO₂) y altos niveles de contaminantes en el agua y en el suelo. Las intervenciones regulatorias que han establecido son insuficientes, lentas y costosas, para la gran demanda de atender los vertederos con estas características; no incorporan de manera efectiva soluciones ecológicas sostenibles basadas en ecotecnologías. Debido a este problema también se ha generado un aumento en espacios abandonados utilizados como vertederos clandestinos; creando un aumento y riesgo directo a comunidades y ecosistemas locales.

Esto crea un alarmante descuido y la falta de soluciones sostenibles para restaurar los vertederos; es necesario explorar el vínculo entre el diseño del paisaje y la sostenibilidad ambiental. A través de la restauración ecológica utilizando técnicas sostenibles como lo es la fitorremediación y otras ecotecnologías, creando una concientización sobre la valoración e importancia de restaurar nuestros sistemas ecológicos afectados y el impacto que tiene de no hacerlo. Según GFX ES Solid Waste

⁷ RCRA “Resource Conservation and Recovery Act” por sus siglas en ingles significa Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, es una de las normativas de manejo de residuos sólidos dirigido por la EPA.

⁸ Definición por la EPA: Los PFAS son sustancias químicas de uso generalizado y larga duración, cuyos componentes se descomponen muy lentamente con el tiempo. Debido a su uso generalizado y su persistencia en el medio ambiente, muchos PFAS se encuentran en la sangre de personas y animales de todo el mundo y están presentes en niveles bajos en diversos productos alimenticios y en el medio ambiente. Los PFAS se encuentran en el agua, el aire, los peces y el suelo en todo el país y el mundo.

Management cada persona diariamente en Puerto Rico genera un promedio de 5.5 a 5.6 libras de residuos sólidos, lo que equivale a aproximadamente 2.5 a 2.6 kilogramos. Esta cifra es mayor que el promedio de Estados Unidos, posicionando a Puerto Rico como una de las regiones que más desperdicios sólidos genera diariamente. En Estados Unidos la cifra promedio que genera una persona es de 4.9 libras diariamente. Durante los huracanes de Irma y María se generó aproximadamente 2.5 millones de toneladas de escombros.



9

En el año 2008, existían 32 vertederos en Puerto Rico donde la mayoría no cumplían con las regulaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los cuales actualmente solo quedan 29 y 18 de ellos no cumplen con las

⁹ Tabla por el periódico El Nuevo Día: mostrando los vertederos en cumplimiento versus lo que están incumplimiento y los que tienen ordenes de cierre por parte de la EPA.

regulaciones federales y 11 están ordenados para cerrarse. El cierre de estos vertederos presenta un desafío, ya que Puerto Rico produce entre 8,000 y 9,900 toneladas de residuos sólidos diariamente. Durante ese mismo año se generó un estudio caracterizando los residuos sólidos no peligrosos por Wehran Puerto Rico, es el único informe que examina la composición de materiales que se descartan en la isla utilizando información obtenida directamente en campo; la cual se clasifica por la generación diaria de residuos sólidos no peligrosos, estimado de generación diaria de materiales por municipio y cantidad de locales que contribuyen al manejo efectivo o reducción de residuos por municipio.

10

Tabla 4: Generación diaria de residuos sólidos no peligrosos (RSNP) por municipio

	Población	RSNP (libras)	Por ciento	Área Terrestre (millas ²)	Por ciento
Bayamón	185,187	959,269	5.64%	44.38	1.30%
Canóvanas	42,337	219,306	1.29%	32.87	0.96%
Carolina	154,815	801,942	4.71%	45.37	1.32%
Cataño	23,155	119,943	0.70%	4.83	0.14%
Guaynabo	89,780	465,060	2.73%	27.59	0.81%
Loíza	23,693	122,730	0.72%	19.37	0.57%
San Juan	342,259	1,772,902	10.42%	47.89	1.40%
Toa Baja	75,293	390,018	2.29%	23.24	0.68%
Trujillo Alto	67,740	350,893	2.06%	20.76	0.61%
EBSJ Total	1,004,259	5,202,062	30.56%	266.30	7.78%
PR Total	3,285,874	17,020,827	100%	3,424.32	100%

Tabla 5: Estimados de generación diaria de materiales por municipio (libras)

	BAY	GUA	CAN	CAR	CAT	LOIZA	S.J.	T.B.	T.A.	ToT
Orgánicos	327,111	158,585	74,783	273,462	40,901	41,851	604,560	132,996	119,655	1,654,249
Papel/cart	176,505	85,571	40,352	147,557	22,070	22,582	326,214	71,763	64,564	892,614
Plástico	100,723	48,831	23,027	84,204	12,594	12,887	186,155	40,952	36,844	509,373

¹⁰ Tabla por Wehran Puerto Rico: mostrando estudio de generación diaria de residuos sólidos no peligrosos por municipio.

Vidrio	23,022	11,161	5,263	19,247	2,879	2,946	42,550	9,360	8,421	116,428
Metales no ferrosos	8,633	4,186	1,974	7,217	1,079	1,105	15,956	3,510	3,158	43,660
Metales ferrosos	92,090	44,646	21,053	76,986	11,515	11,782	170,199	37,442	33,686	465,713
C y D	153,483	74,410	35,089	128,311	19,191	19,637	283,664	62,403	56,143	776,188
E-Waste	14,389	6,976	3,290	12,029	1,799	1,841	26,594	5,850	5,263	72,768
Neumáticos	19,185	9,301	4,386	16,039	2,399	2,455	35,458	7,800	7,018	97,023
Otros*	44,126	21,393	10,088	36,889	5,517	5,646	81,553	17,941	16,141	223,153

*Esta categoría pudiera incluir textiles, pero el estudio de Wheran (2003) no provee una tasa que permita estimar la presencia de este material en el flujo de residuos.

La tabla número 5 muestra los diferentes materiales generados diariamente por municipio, los cuales muchos de estos residuos no son procesados en la Isla la mayoría son importados a otros países para poder ser procesados o reciclados. Los vertederos en uso que actualmente cumplen con las regulaciones ambientales o se encuentran en proceso de adaptación son los municipios: Carolina, Fajardo, Hormigueros, Juncos, Ponce, Salinas, Humacao, Yauco, y dos en el municipio de Peñuelas. En las siguientes tablas se muestra los diferentes locales en los respectivos municipios que contribuyen al manejo efectivo o reducción de residuos. La tabla número 6 muestra una alarmante carencia de un manejo efectivo por parte de los diferentes locales.

Tabla 6: Cantidad de locales que contribuyen al manejo efectivo o reducción de residuos, por municipio

	BAY	GUA	CAN	CAR	CAT	LOIZA	S.J.	T.B.	T.A.	TOTAL
ORGÁNICOS	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
PAPEL/CART	2	1	0	1	0	0	2	2	1	9
PLÁSTICO	2	1	0	1	0	2	1	1	0	7
VIDRIO	0	1	0	0	0	0	2	0	0	3
METALES NO FERROSOS	0	1	2	7	0	2	5	1	3	21
METALES FERROSOS	1	0	2	7	0	1	1	1	2	15
C y D	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
E-WASTE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
NEUMÁTICOS	0	0	0	2	0	0	0	0	1	3
TEXTILES	1	0	0	1	0	0	0	0	1	3
ELECTRÓNICOS	1	0	1	0	1	0	3	1	0	7

ENSERES	1	0	1	0	1	0	0	1	0	4
BATERÍAS	2	0	1	3	0	1	6	2	2	17
ACEITES COCINA	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3
ACEITES MOTOR	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
TIENDAS DE SEGUNDA MANO	1	0	0	1	0	0	6	0	0	8
MADERA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
PLACAS SOLARES	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Situación actual de los vertederos

De las 29 instalaciones de depósito de residuos sólidos que hay en Puerto Rico, solo 10 operan en cumplimiento ambiental y regulatorio. Para las 19 restantes, el gobierno tiene distintos planes; te explicamos de qué se trata.



GRÁFICA: EL NUEVO DÍA

11

De los 29 vertederos que Puerto Rico contaba solo quedan 10 que operan bajo los cumplimientos ambientales de la EPA y son regulados. En el 1976 la agencia gubernamental USGS¹² realizó un estudio exhaustivo en Puerto Rico sobre seis sitios de disposición de residuos sólidos revelando niveles alarmantes de contaminantes en lixiviados. El estudio reveló altos niveles de nitrógeno, demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados como lo son: arsénicos, plomo, mercurio, entre otros. Luego en 1977

¹¹ Tabla por el periódico El Nuevo Día: mostrando los vertederos en cumplimiento, lo que están incumplimiento, los próximos a cerrar dentro de 4 año, los que requieren expansión lateral o nueva instalación y los que requieren una evaluación para expansión.

¹² USGS "United States Geological Survey" por sus siglas en ingles es *El Servicio Geológico de los Estados Unidos, fundado como el Servicio Geológico, es una agencia del Departamento del Interior de los Estados Unidos cuyo trabajo abarca las disciplinas de biología, geografía, geología e hidrología.*

la misma agencia elaboró otro informe que analiza 50 espacios utilizados como vertederos y clasificaron 25 con alto riesgo de contaminación de recursos hídricos, señalando que 21 presentaban material de cobertura permeable, pero sin la capacidad requerida de contención, y de los 36 vertederos se ubicaban próximos a corrientes o nacientes de agua. En un estudio realizado sobre los lixiviados en vertederos de Puerto Rico se detectaron 51 tipos de distintos PFAS con una concentración media total de aproximadamente 38,000 ng/L¹³, siendo esta superior a la media nacional. La mayoría de los vertederos de la Isla, especialmente los que fueron construidos durante las décadas de 1950 y 1960 operan como “open dumps”, lo que significa que no tienen recubrimientos impermeables, sin sistemas de recolección de lixiviados ni monitoreo de las aguas subterráneas.

En el municipio de Vieques se ha encontrado que el vertedero no posee revestimiento y se localiza a 8km del acuífero más importante de la Isla y la residencia más cercana a este espacio esta apenas a 54m. Una evaluación reciente por parte de la EPA muestra que hasta 2 de cada 3 vertederos en la Isla incumplen regulaciones federales, reflejando fallas severas por parte de las instituciones y estructura para majear residuos. Puerto Rico actualmente enfrenta una crisis de restauración y manejo de vertederos caracterizados por los altos niveles de contaminación por lixiviados, incluyendo nutrientes, metales pesados y PFAS, en niveles que superan los estándares de otros países. El tratamiento inadecuado de los residuos que en algunos casos

¹³ Según la página de estudios de agua *Tap Score*: significa nanogramos por litro, una unidad de medida para la concentración de una sustancia en una solución, equivalente a 10⁻¹² kilogramos por litro o una parte por billón, y se utiliza comúnmente en pruebas médicas y análisis de calidad del agua para expresar niveles muy bajos de contaminantes.

agravan la contaminación, elevando transformaciones químicas peligrosas. La débil capacidad institucional por falta de personal técnico, fondos y procesos regulatorios demorados o inadecuados; además de la absorción de las agencias como la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS) bajo austeridad en 2018.

14



III. Justificación:

La fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo, bajo impacto ambiental en comparación a las soluciones tradicionales de restauración de suelos y cuerpos contaminados en vertederos. Esta ecotecnología natural y eficiente emplea el uso controlado de plantas para extraer, estabilizar, transformar o degradar los contaminantes presentes en el suelo, agua o aire; es considerada una de las ecotecnologías más eficientes para las restauraciones vertederos ya que se integra

¹⁴ Portadas de reportajes sobre los alarmantes cierres de los vertederos en incumplimiento por: el periódico El Nuevo Día durante el año 2016.

armónicamente al paisaje y a los ecosistemas donde se encuentra. Al estar en un clima tropical con alta biodiversidad como Puerto Rico, presenta condiciones óptimas ya que hay muchas especies endémicas que podrían ser facilitar el proceso de limpieza. Esto reduce significativamente el riesgo de introducción de especies invasoras, un problema bien común en otros proyectos de restauración ecología y su vez contribuye a la conservación de la biodiversidad autóctona, un valor fundamental para la resiliencia ecológica de la Isla. De esta manera reduciendo el riesgo de especies invasoras y promoviendo la conservación ecológica local.

El uso del método de fitorremediación en vertederos tiene múltiples beneficios ambientales, sanitarios y sociales. Los vertederos en Puerto Rico emiten altos niveles de contaminantes como: metales pesados (plomo, mercurio), nutrientes en exceso (nitratos, fosfatos), compuestos orgánicos persistentes (PFAS) y emisiones gaseosas tóxicas (metano, CO₂). Las plantas utilizadas en el método de fitorremediación¹⁵ mediante procesos como fitoextracción¹⁶, fitoestabilización¹⁷, fitodegradación¹⁸ y

¹⁵ Definición de fitorremediación: *es el empleo de plantas y sus microorganismos asociados para la mejora funcional y recuperación de suelos contaminados. Este método se basa en los procesos naturales mediante los cuales las plantas y el microbiota asociado a sus raíces degradan y/o secuestran los contaminantes*

¹⁶ Definición de fitoextracción: *La planta absorbe los contaminantes (principalmente metales traza) a través de las raíces y los acumula en grandes cantidades en la biomasa aérea retirándose los contaminantes del suelo a través de su cosecha. Cuando el metal fitoextraído puede ser recuperado de la biomasa (biomasa), obteniendo un beneficio económico, el proceso se denomina fitominería.*

¹⁷ Definición de fitoestabilización: *Mediante distintos mecanismos, la planta es capaz de secuestrar o inmovilizar los contaminantes en la raíz y/o en su zona de influencia. Este proceso limita la migración y biodisponibilidad de los contaminantes y, por tanto, reduce significativamente los posibles efectos adversos al medio ambiente y su transferencia a la cadena trófica.*

¹⁸ Definición de fitodegradación: *Las raíces de las plantas liberan ciertos compuestos (exudados) al suelo de su entorno (rizosfera), estimulando la supervivencia, el crecimiento y la actividad de los microorganismos de la rizosfera que degradan los contaminantes orgánicos. La eficiencia de esta tecnología puede ser incrementada incorporando microorganismos con capacidad de degradar*

fitovolatilización¹⁹, pueden absorber, inmovilizar y degradar muchos de estos compuestos; así reduciendo su presencia biológica y su riesgo para la salud humana y ecosistemas. La cobertura vegetal permanente que provee la fitorremediación fomenta el control del polvo contaminado que se dispersa por el viento, uno de los principales vectores de exposición en comunidades cercanas. Ciertas especies vegetales actúan como filtros vivos, captando las partículas y reduciendo la liberación de gases nocivos como lo es el metano CH₄ y el dióxido de carbono CO₂ asociados al efecto invernadero que se forma debajo del suelo. Existen varias especies vegetales que pueden ayudar al proceso de restauración de un vertedero con suelos contaminados. Entre ellas el Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) es utilizado con éxito a lo largo de los diferentes municipios de la Isla para controlar escorrentías, estabilizar taludes y reducir significativamente la erosión y el volumen de lixiviados. Las plantas nativas también presentan un alto potencial de restauración de los suelos de un vertedero entre ellas: especies como el *Pennisetum*, *Cyperus*, *Canna*, *Dactyloctenium scindicum* y *Echinochloa* han sido identificadas con capacidad fitoextracción de metales que contienen altos niveles de contaminantes como el Ba, Cr, Cu, Pb, Zn y Tl.

En comparación con otros métodos convencionales de remediación como el encapsulamiento químico o la excavación, la fitorremediación requiere menos infraestructura y puede implementarse por fases, adaptándose a los recursos disponibles. Contribuye directamente a la mitigación de contaminantes, pero de igual

contaminantes orgánicos o de aumentar su biodisponibilidad y/o mediante la adición de compuestos para estimular los procesos de la simbiosis planta-microorganismo.

¹⁹ Definición de fitovolatilización: Algunas plantas captan contaminantes (como el selenio o algunos xenobióticos orgánicos) y los liberan en una forma menos tóxica a la atmósfera a través de la transpiración. Dentro de la planta el contaminante es transformado o degradado antes de ser liberado.

manera mejora la capacidad de adaptación del paisaje a los efectos del cambio climático como: la erosión del suelo, las inundaciones, sequías intensas y las pérdidas de cobertura boscosa. Al capturar carbono atmosférico y mejorar el microclima local donde se encuentre, estas áreas pueden convertirse en sumideros de carbono y actuar como infraestructura verde que protege a las comunidades cercanas y a los ecosistemas. Al vincular el diseño paisajístico con esta metodología sustentable puede aportar a nuevas formas de rehabilitación ambiental y ecológica con beneficios no solo estéticos, sino educativos. Contribuyendo a la restauración y regeneración de los ecosistemas afectados por los vertederos contaminados, mejorando la salubridad humana, reduciendo las emisiones generadas, aumentando el valor ecológico y paisajístico de la Isla.

IV. Aportaciones:

Se propone identificar los vertederos que presentan mayor riesgo en los próximos cuatros años y los que han sido cerrados recientemente por su alto riesgo de contaminantes. De esta manera se podrá tener una mejor visión para poder mitigarlos, dándoles una nueva vida mediante soluciones sostenibles a través de la fitorremediación así de esta manera restaurando el paisaje y ecosistema que alguna vez fue. Fomentar la concientización comunitaria mediante la educación y la participación de la ciudadanía. Implementar nueva cobertura vegetal nativa, mejorar la calidad de los terrenos utilizados para vertederos y crear un nuevo paisaje que aporte hacia la biodiversidad y ecosistemas existente en la Isla. Este enfoque aporta beneficios no solos estéticos y recreativos, sino

que educativos, permitiendo a las comunidades a participar en el proceso de recuperación ambiental y reconectarse con el entorno natural. Además de restaurar la cobertura vegetal y promover la restauración y regeneración del suelo, se facilita el regreso de especies animales, como los polinizadores, aves, entre otros.

V. Preguntas:

¿Cómo el diseño del paisaje puede integrar eficientemente la fitorremediación como estrategia ecológica y visual en los espacios degradados? La fitorremediación es de las ecotecnologías más eficientes, bajo impacto y bajo costo, garantizando así una mejor restauración del terreno de un vertedero a través de especies vegetal nativas. De esta manera se puede proteger y minimizar los daños de los ecosistemas locales, pero a su vez creando una nueva estética en el espacio que alguna vez estuvo degradado.

¿Cómo se comparan los vertederos de Puerto Rico en términos de su cumplimiento con las regulaciones ambientales, su impacto en las comunidades cercanas y las estrategias de manejo de residuos? Los vertederos en Puerto Rico han enfrentado históricamente graves problemas de cumplimiento con las regulaciones federales y estatales. La EPA y Ley RCRA (Resource Conservation and Recovery Act): Muchos de los vertederos no cumplen con los requisitos establecidos por la EPA, particularmente en lo que respecta a control de lixiviados, monitoreo de gases y diseño estructural adecuado. Según informes de la EPA y del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), de los aproximadamente 29 vertederos existentes en las últimas dos décadas, más de la mitad fueron señalados por violaciones ambientales. La presión

federal ha llevado al cierre de varios vertederos como el de Toa Alta y Aguadilla, por representar riesgos significativos a la salud pública y el ambiente. Las comunidades cercanas reportan mayores tasas de enfermedades respiratorias y cutáneas debido a la exposición a contaminantes atmosféricos y lixiviados. Muchos de los vertederos están localizados en comunidades de bajos ingresos o marginadas, lo que plantea serias preocupaciones de justicia ambiental y desigualdad. Existe una creciente oposición comunitaria al mantenimiento o expansión de vertederos, especialmente cuando no se implementan medidas de mitigación. Más del 80% de los residuos sólidos generados van a los vertederos. La tasa de reciclaje es baja, rondando alrededor del 10-15%, a pesar de que la Ley 70 de 1992 estableció una meta del 35% de los residuos serán reciclados.

¿Qué factores socioeconómicos o políticos influyen en estas diferencias entre los vertederos? Muchos municipios carecen de los recursos financieros para mantener o modernizar sus vertederos. Esto se traduce en falta de mantenimiento, ausencia de sistemas de control ambiental, y violaciones a normas federales. La crisis fiscal y la falta de autonomía financiera hacen que los municipios más pobres sean incapaces de invertir en estrategias alternativas como reciclaje, compostaje o plantas de tratamiento. Los vertederos en municipios con bajo poder económico tienden a estar más deteriorados, ser más contaminantes y menos regulados. A pesar de que existen leyes y reglamentos como la Ley 70 de reciclaje, su aplicación es desigual y fragmentada. No hay una política pública cohesionada entre agencias estatales, federales y gobiernos municipales. Las prioridades en torno al manejo de residuos varían con cada cambio de gobierno. Esto

genera discontinuidad en los programas y falta de seguimiento a largo plazo. Algunos municipios pueden recibir más apoyo o ser fiscalizados menos rigurosamente debido a afinidades políticas con el gobierno central.

La mayoría de los vertederos fueron establecidos sin estudios de impacto ambiental rigurosos o una planificación urbana adecuada. Esto ha llevado a que comunidades vulnerables vivan cerca de estos lugares, con consecuencias en su salud y calidad de vida. Se priorizó el uso de terrenos alejados o menos valorizados para ubicar vertederos, que tienden a estar en zonas rurales o de bajo perfil económico, donde las comunidades tienen menor poder político para oponerse. Las comunidades con mayor nivel educativo y organización social suelen presionar con más eficacia por soluciones sostenibles, mientras que otras carecen de los medios o conocimiento para exigir mejores condiciones. Aunque la ley exige participación pública, en la práctica muchas decisiones sobre manejo de residuos se toman sin consultar ni informar adecuadamente a los ciudadanos.

¿Cómo se pueden transformar los vertederos mediante soluciones sostenibles y ecotecnologías? Los vertederos se pueden transformar a través de diferentes ecotecnologías y métodos; principalmente el método de fitorremediación muestra mayores variables de mejoramiento, bajo impacto y bajo costos una vez aplicado en un vertedero contaminado. A través de su sistema de filtración de lixiviados utilizando las raíces de las especies vegetales se puede canalizar y bajar los niveles tóxicos

encontrados en los suelos y acuíferos de estos espacios. La fitoprotección²⁰ es otra ecotecnología que al igual que la fitorremediación utiliza las especies vegetal para restaurar estos suelos contaminados. Es una técnica de cobertura que utiliza la vegetación como sistema de bombeo natural para reducir el agua almacenada en el suelo y su filtración hacia los residuos cubiertos. Esto, a su vez, reduce la cantidad de agua que interactúa con los residuos enterrados y genera lixiviados.

¿Cómo la fitorremediación y otras ecotecnologías pueden ser aplicadas para restaurar terrenos contaminados por vertederos? La fitorremediación al igual que otras ecotecnologías pueden ser aplicadas de forma eficientes y precisas para mitigar la contaminación presente en los vertederos, ya que son de bajo costo y bajo impacto; a diferencia de los métodos tradicionales de restauración.

¿Qué vertederos presentan mayor riesgo en los próximos cuatro años? Los vertederos que presentan mayores riesgos dentro de los próximos cuatro años según la EPA y FEMA en un estudio realizado en 202, los 29 vertederos municipales actuales de Puerto Rico podrían llenar su capacidad dentro de 2 a 4 años, en otras palabras, entre

²⁰ Definición de fitoprotección “Phytocapping” en inglés: *es una ecotecnología de tapado de vertederos que utiliza las plantas y el suelo para controlar la infiltración de agua y reducir la generación de lixiviados mediante el aprovechamiento de la evapotranspiración. En lugar de la arcilla o las geomembranas tradicionales, el fitotapado emplea un sustrato poroso con vegetación. Este sistema reduce la entrada de agua a los residuos mediante procesos como la intercepción del dosel, la evaporación superficial y la transpiración de las plantas, a la vez que ofrece beneficios como una mayor estabilidad del tapado, la reducción de la erosión, el aumento de la biodiversidad y el secuestro de carbono.*

2025 y 2029. La mayoría de los vertederos activos operan de manera abierta “open dumps” lo que implica que no cuentan con el revestimiento necesario para mitigar la contaminación que generan; incrementando el riesgo de lixiviados, contaminación de aguas y emisiones de gases tóxicos.

VI. Variables de observación:

Las variables de observación a considerarse son: 1) Ecológicas: la calidad de terrenos, cercanía de los humedales y calidad de la biodiversidad local. 2) Sociales: la de la salubridad comunitaria, la percepción de riesgo comunitario en donde el encuentra el vertedero. 3) Económicas: los costos de remediación para los vertederos más afectados y en incumplimiento, además del desarrollo económico local que puede presentar. 4) Espaciales / diseño: la localización del vertedero es clave para la restauración de este y su nueva función espacial, además de la conectividad del sitio.

VII. Objetivos y metodología:

Los objetivos para esta investigación son: analizar los vertederos en desuso y su nivel de contaminación para mitigarlo. Identificar los vertederos activos y en cumplimiento vs los que no. Documentar los vertederos en desuso y con mayor riesgo de contaminación. Determinar la vigencia de los vertederos actuales para proporcionar un plan de acción. Diseñar un plan estratégico para la implementación de soluciones sostenibles para mitigar y restaurar los vertederos contaminados.

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, documental y proyectual, con énfasis en el análisis territorial y la propuesta de diseño paisajístico. Se estructura en etapas que combinan la revisión bibliográfica, el análisis de sitio, el diagnóstico integral y la formulación de propuestas bajo criterios de sostenibilidad, funcionalidad y estética. La metodología parte del reconocimiento de que el estudio del paisaje no puede desvincularse de su contexto ecológico, social e histórico. Por eso, se emplean herramientas tanto de la investigación teórica como del diseño especulativo, buscando articular una propuesta viable que responda a los desafíos actuales del manejo de residuos sólidos en Puerto Rico.

Recopilación bibliográfica y documental: esta fase se fundamenta en la recopilación y análisis crítico de fuentes secundarias: noticias, artículos periodísticos, reportes institucionales, legislación ambiental, y estudios científicos sobre el manejo de vertederos, reciclaje, impacto ambiental y alternativas de remediación. Entre las fuentes consultadas destacan publicaciones de la “Environmental Protection Agency” (EPA), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), artículos de medios nacionales como *El Nuevo Día* (León, 2021; Ocasio Torres, 2021) – *análisis legislativo y causas de la crisis, Primera Hora- abandono de programas de reciclaje, Metro Puerto Rico* y revistas ambientales como *Corriente Verde*. Además, la recopilación incluyó informes de agencias federales y locales, artículos científicos y experiencias internacionales. La información obtenida muestra alternativas de gestión como el

“capping”, la fitorremediación y técnicas de bioingeniería aplicables a la restauración de vertederos.

- GeoSoluciones (2024) – técnicas de bioingeniería en capping.
- Freshkills Park – capas estructurales en un vertedero clausurado.
- Phy2sudoe (2017) – fitorremediación como estrategia ambiental.
- Čierníková et al. (2021) – especies vegetales aptas para revegetación de suelos contaminados.
- USGS – efectos en la calidad de agua en sitios de disposición de residuos.

Estudio de caso / análisis territorial: Dado que el acceso al sitio se encuentra restringido por incumplimientos normativos, el análisis se realiza de forma indirecta mediante: imágenes satelitales, mapas catastrales, mapas del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), información técnica de reportes oficiales, análisis de patrones territoriales y usos del suelo. El objetivo es evaluar las condiciones físicas, ecológicas y sociales de los tres casos de estudio los vertederos municipales: Arecibo, Vega Baja y Juncos; identificando factores clave para una propuesta paisajística. El análisis del contexto físico y socioambiental de los vertederos revela riesgos significativos de contaminación y conflictos comunitarios. También se consideran indicadores como emisiones de gases, lixiviados y cercanía a comunidades vulnerables.

- DRNA (Cortiz, 1970) – inventario de gases de efecto invernadero.
- DRNA (Cortés, 1970) – programas de manejo de residuos.

- EPA – PFAS Explained – riesgos de contaminantes emergentes.
- USGS – impactos en cuerpos de agua cercanos a vertederos.
- MiPR Junta de Planificación- mapas topográficos, ecología, hidrología y calificación.

Diagnóstico integral: A partir del análisis previo, se elabora un diagnóstico a través de gráficas de porcentajes estadísticos que identifican: problemáticas estructurales del manejo de residuos, potencialidades del sitio para usos alternativos, limitaciones técnicas, ambientales y sociales. El diagnóstico integral busca la problemática legal, ambiental y social. Se observa deficiencia en infraestructura, incumplimiento con normas de la EPA y bajos índices de reciclaje. El cierre de vertederos genera un reto de gestión de residuos que exige nuevas alternativas sostenibles.

- EPA (2016, 2021) – incumplimientos y planes de acción.
- DRNA – operativos contra vertederos clandestinos.
- Corriente Verde – retos para alcanzar la meta de 35% de reciclaje.
- Para la Naturaleza – planes del DRNA para cierre progresivo.

Formulación de criterios de diseño: se establecen principios orientadores que rigen la propuesta paisajística, considerando tres dimensiones clave: Sostenibilidad ecológica: regeneración del suelo, control de lixiviados, revegetación nativa. Funcionalidad social: accesibilidad, integración comunitaria, uso educativo. Estética del paisaje: reinterpretación de la ruina, viabilidad de procesos ecológicos, integración formal con el entorno. Los criterios se basan en soluciones de restauración ecológica, seguridad ambiental y resiliencia comunitaria. Se enfatiza la revegetación con especies adaptadas, técnicas de bioingeniería y uso de capas de protección en vertederos.

- GeoSoluciones (2024) – capping como estrategia de bioingeniería.
- Čierniková et al. (2021) – especies vegetales funcionales para recuperación.
- Freshkills Park – experiencia internacional de conversión de vertederos en parques.
- Phy2sudoe (2017) – fitorremediación como recurso paisajista.

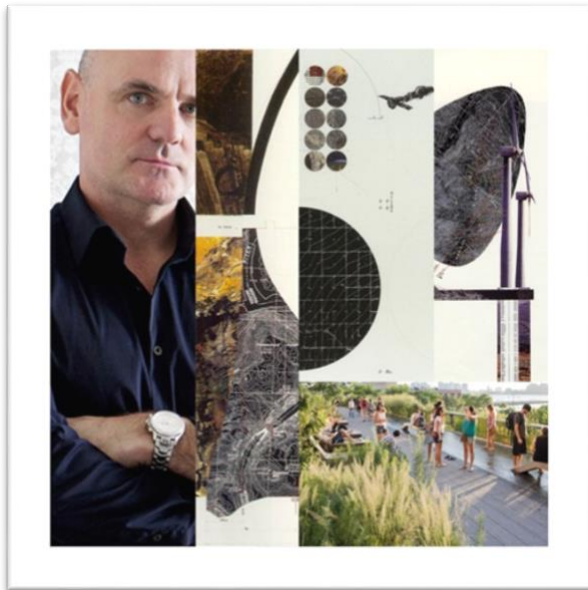
Diseño de la propuesta paisajística: Esta etapa se centra en la generación de una propuesta de diseño que transforme el sitio del vertedero en un paisaje funcional y simbólicamente reparador. La propuesta incluirá: zonificación paisajística, estrategias de bioingeniería (ej. *Capping*, *Fitorremediación*), programas de uso comunitario y educativo. visualizaciones conceptuales y técnicas. Las propuestas incluyen reconversión de terrenos clausurados en espacios verdes, implementación de fitorremediación, control de emisiones, monitoreo de calidad de agua y participación comunitaria en procesos de transformación paisajista.

- Freshkills Park – caso de éxito en reutilización paisajística.
- GeoSoluciones – aplicación técnica del sellado con capping.
- USGS – importancia del monitoreo ambiental en áreas clausuradas.

Evaluación ambiental, social y económica: Finalmente, se realiza una evaluación general del impacto potencial de la propuesta en tres dimensiones: Ambiental: recuperación del ecosistema, mejora del paisaje, mitigación de impactos. Social: aceptación comunitaria, participación local, apropiación del espacio. Económica: estimación de costos, escalabilidad, sostenibilidad financiera. La viabilidad de proyectos de restauración debe contemplar el balance entre inversión económica, beneficios ambientales (reducción de emisiones y contaminación), y el impacto social positivo en comunidades cercanas.

- EPA – cifras nacionales sobre residuos y reciclaje.
- Corriente Verde – retos de reciclaje y sus implicaciones económicas.
- El Nuevo Día (León, 2021) – necesidad de legislación para transición.
- Primera Hora – impacto del abandono del reciclaje.
- DRNA – implicaciones sociales de los vertederos clandestinos.

VIII. Marcos teóricos:



21

“A big chunk of nature in the city, wild and strange”²² -James Corner

En esta cita el arquitecto paisajista James Corner nos habla sobre la descripción del Parque Freshkills es acertada en varios aspectos: ¿Un gran trozo de naturaleza?

Con casi cuatro millas cuadradas (2300 acres) en el oeste de Staten Island, Freshkills tiene aproximadamente tres veces el tamaño de Central Park. ¿Salvaje? La vasta extensión está cubierta de abundante vegetación, en su mayoría auto propagante, producida por semillas transportadas por el viento o las aves. ¿Y extraño? No tan extraño



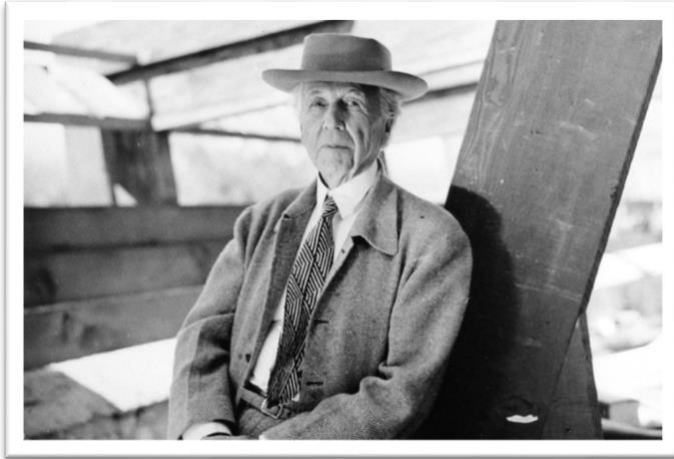
como cuando el sitio sirvió durante más de medio siglo como el vertedero más grande del mundo, pero sigue siendo un paisaje inusual, con sus cuatro empinados montículos de residuos acumulados cubiertos y en proceso de remediación. La expresión “un gran trozo de naturaleza” pone en evidencia la escala

²¹ Imagen de James Corner: ilustración gráfica de sus propuestas. (Barcelona International Biennial of Landscape Architecture). Imagen inferior: vista desde el antiguo vertedero Freshkills mirando hacia Manhattan, NY, 2001.

²² Cita del arquitecto paisajista inglés James Corner haciendo referencia a uno de sus proyectos más importantes la restauración del antiguo vertedero Freshkills localizado a las afueras de Manhattan, NY.

monumental del sitio: más de 2300 acres, el triple del tamaño de Central Park. La frase vas más allá de dimensión física, alude a un concepto clave en el pensamiento paisajístico contemporáneo; la reintegración de sistemas ecológicos en el tejido urbano. Desde la teoría de la infraestructura verde, el parque de Freshkills representa una forma de reconectar la ciudad con los procesos naturales, ofreciendo servicios ecosistémicos como filtración de aguas, mitigación de calor urbano, hábitat para especies y espacio recreativo. Esta “naturaleza” no es una réplica exacta de un ecosistema prístino, sino un sistema híbrido, producto de la restauración ecológica de un sitio intensamente contaminado.

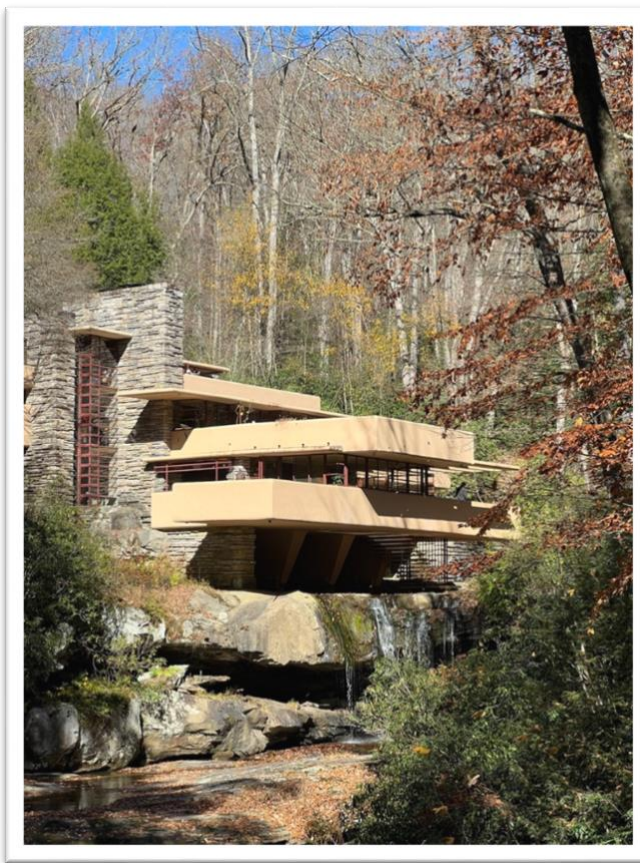
Luego la parte de la frase “naturaleza” dentro de la ciudad, la frase introduce una tensión productiva entre lo urbano y lo natural. El parque de Freshkills desafía la dualidad clásica entre ciudad y naturaleza, mostrando que los paisajes urbanos pueden ser también espacios ecológicos, incluso cuando se originan en infraestructuras obsoletas o degradadas. Desde la teoría del paisaje como infraestructura Corner, Waldheim y Bélanger, el parque se entiende no solo como un espacio verde, sino como una infraestructura viva, en constante transformación, que integra funciones sociales, ecológicas y tecnológicas. El sitio deja de ser un “vacío” urbano para convertirse en una plataforma de regeneración y resiliencia. La frase de James Corner no solo describe el parque Freshkills, sino que lo sitúa dentro de una corriente crítica del urbanismo paisajístico contemporáneo. Freshkills es una manifestación de la capacidad del diseño para re-imaginar la relación entre naturaleza y ciudad, no desde la nostalgia del paisaje perdido, sino desde una lógica post-natural, que integra la complejidad, la ambigüedad y el cambio.



“The good building is not one that hurts the landscape, but one which makes the landscape more beautiful than it was before the building was built.”²³

-Frank Lloyd Wright

Frank Lloyd Wright, aunque no es un arquitecto paisajista es considerado de los arquitectos con mayor sensibilidad hacia la naturaleza, materiales y contexto. Sus diseños enfatizan su filosofía de arquitectura orgánica, que aboga por edificios en

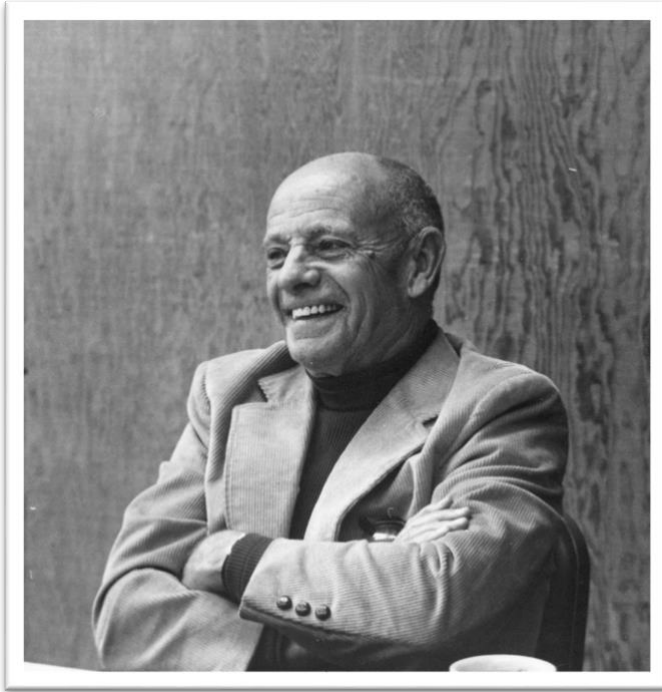


armonía con su entorno natural, realizando la belleza del paisaje en lugar de restarle valor. Esta filosofía, inspirada en la naturaleza y en el deseo de conexión espiritual, considera los edificios y sus entornos como un todo unificado, embelleciendo el paisaje más que antes de la construcción de la estructura.

²³ Cita del arquitecto estadounidense Frank Lloyd Wright conocido como el padre de la arquitectura de Estados Unidos. Imagen inferior por GBV 2024: Casa Falling Water localizada en Ohiopyle, PA.

Frank Lloyd Wright es considerado el principal exponente de la arquitectura orgánica, una corriente que busca que el edificio no se imponga sobre el paisaje, sino que se integre a él, como una extensión natural del mismo. Esta filosofía se opone frontalmente a la arquitectura monumentalista o autónoma, que tiende a ignorar el contexto. En la visión de Wright, el paisaje no es un fondo sobre el que se posa una obra, sino un co-protagonista del diseño, con el cual se establece una relación simbiótica. La forma, los materiales, la orientación, los espacios intermedios, terrazas, pórticos, patios y la vegetación se integran para lograr una continuidad entre lo construido y lo natural. Uno de los mejores ejemplos emblemáticos es la casa “Falling Water” donde la vivienda se funde literalmente con el paisaje a través del uso de piedra local, volúmenes horizontales que siguen las líneas topográficas y una disposición que enmarca y acentúa las cualidades del entorno.

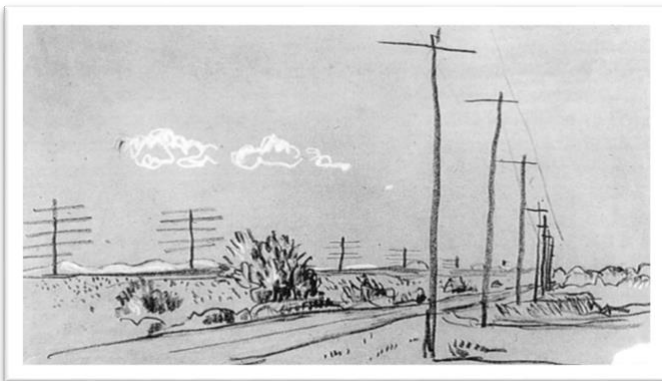
La idea de que un edificio puede embellecer el paisaje refleja un cambio en la concepción del ser humano frente a la naturaleza. No se trata solo de preservar o contemplar el paisaje, sino de intervenirlo con sensibilidad, creando una relación creativa y poética entre el arte humano y el paisaje. Desde una perspectiva contemporánea, esta noción se alinea con el enfoque del paisaje como construcción cultural, propuesto por autores como J.B. Jackson o Elizabeth Meyer, quienes defienden que el paisaje no es simplemente un recurso visual o ecológico, sino una narrativa compartida, donde lo humano y lo natural co-evolucionan. Teniendo esto de perspectiva, la arquitectura no solo acompaña al paisaje, sino que le da nueva forma, nuevo significado y nueva belleza, sin romper su equilibrio ni borrar sus huellas.



“Ruins provide the incentive for restoration, and for a return to origins. There has to be an interim of death or rejection before there can be renewal and reform.”²⁵ -John B. Jackson

El arquitecto John B. Jackson no solo se refiere ruinas físicas, sino también a paisajes culturales:

ciudades, pueblos, formas de vida. Sugiere que la decadencia no es solo trágica; es una parte vital de la evolución cultural. Sin ella, quizá nunca nos detengamos a reconsiderar lo que importa ni a reconstruir de una manera más reflexiva y arraigada. Jackson afirma que la decadencia o el fracaso no son el fin; son una parte crucial del proceso creativo y restaurador. Las ruinas nos inspiran a mirar atrás, comprender de dónde venimos y



reconstruir con propósito.

Aunque la palabra "ruinas" suele evocar estructuras materiales en decadencia como los templos, fábricas,

²⁴ Auto retrato por University Libraries (UNM): de arquitecto y teórico estadounidense John Brinckerhoff "Brinck" Jackson. Imagen inferior por Harvard Design Magazine: boceto elaborado por J.B.J.

²⁵ Cita de arquitecto y teórico estadounidense John Brinckerhoff "Brinck" Jackson fue escritor, editor, instructor y dibujante de paisajismo. Herbert Muschamp, crítico de arquitectura del New York Times, afirmó que J. B. Jackson era *"el mejor escritor vivo de Estados Unidos sobre las fuerzas que han moldeado el territorio que ocupa esta nación"*.

casas abandonadas, Jackson extiende su significado a paisajes culturales más amplios; sistemas urbanos obsoletos, pueblos marginalizados, tradiciones fragmentadas o formas de vida desplazadas. Estas “ruinas vivas” son testigos de procesos de cambio social, económico y cultural. Su existencia obliga a la colectividad a enfrentarse con las consecuencias del progreso y, muchas veces, con las contradicciones de la modernidad; la exclusión, la pérdida de identidad o la sobreexplotación del territorio.

La frase de Jackson introduce una visión cíclica del paisaje y la cultura, antes de que algo sea restaurado o renovado, debe pasar por una fase de declive, rechazo o desaparición. Esta idea vincula con conceptos filosóficos y ecológicos como la entropía y la resiliencia: todo sistema complejo atraviesa momentos de crisis que permiten su reorganización. En el contexto del urbanismo y el diseño del paisaje, esto sugiere que la decadencia de ciertos entornos no debe verse solo como una pérdida, sino como una oportunidad para el aprendizaje, la crítica y la reinvención. La ruina se convierte así en un acto pedagógico y político.

Desde la perspectiva del diseño del paisaje y la planificación urbana, la visión de Jackson invita a un enfoque no lineal y no heroico del desarrollo. En lugar de borrar las huellas del pasado, propone trabajar con ellas, integrarlas, permitir que las cicatrices del paisaje se lean como parte de su identidad. Esto se traduce en prácticas contemporáneas como: 1) Reutilización adaptativa de estructuras en desuso. 2) Diseño con ruinas o paisajes industriales abandonados. 3) Restauración crítica que mantiene las marcas del tiempo. 4) Proyectos que celebran el vacío, el silencio o la memoria fragmentada.

IX. Análisis de casos de estudio: Caso 1: Vertedero Municipal de Arecibo

26



Variables aplicables:

Ecológicas:

- Calidad de terrenos
- Cercanía de humedales **-398' (121.31 m) radio**

Sociales:

- Calidad de salud comunitaria
- Percepción de riesgo comunitario - **0.26 mi (415.41 m) radio**

Espaciales / Diseño:

- Localización del vertedero
- Conectividad del sitio

Tamaño de vertedero: 94.6 acres aprox. = 38.31 hectáreas

El primer caso de estudio presenta el vertedero municipal de Arecibo por su alarmante incumplimiento de regulaciones ambientales, sus emisiones de gases tóxicos reportados por comunidades cercanas y su cercanía con la reserva natural de Caño Tiburones.

²⁶ Imagen aérea del vertedero municipal de Arecibo por el periódico El Nuevo Día.

El vertedero luego de su orden de cierre establecido por la EPA, entro en una etapa de reestructuración por parte de la compañía Energy Answers Arecibo, LLC quien propone desarrollar un proyecto industrial de una planta de Generación de Energía Renovable y Recuperación de Recursos. La Planta tendría una capacidad de: procesar 2,100 toneladas diarias de Combustible de Residuos Procesados (PRF); generando una cantidad bruta de 80 megavatios de energía, recuperando y reciclando sobre 280 toneladas diarias de metales ferrosos tales como aceros y hierro, entre otros y no ferrosos como lo son el aluminio, cobre, estaño, entre otros, clasificando como fuente alterna y de energía renovable para esta zona. El alcalde de Arecibo, Carlos “Tito” Ramírez Irizarry, aseguró que el vertedero será cerrado de forma ordenada y conforme a la ley para el año 2027. Actualmente el municipio está trabajando con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) para gestionar los fondos y requerimientos técnicos necesarios. Según el periódico Metro Puerto Rico, se destinó alrededor de \$38.7 millones del programa federal CDBG-MIT para: la estabilización de taludes en una zona de aproximadamente 10 acres o aproximadamente 4 hectáreas. Instalación de sistemas de recolección de lixiviados y manejo de aguas pluviales. Además de la aplicación de



coberturas
intermedias y
pozos de
monitoreo
subterráneo.

Variables ecológicas mostrando distancias críticas entre la cercanía de la reserva Caño Tiburones y la cercanía hacia el área de viviendas. Además, la abundancia de aves las distintas en la reserva natural.

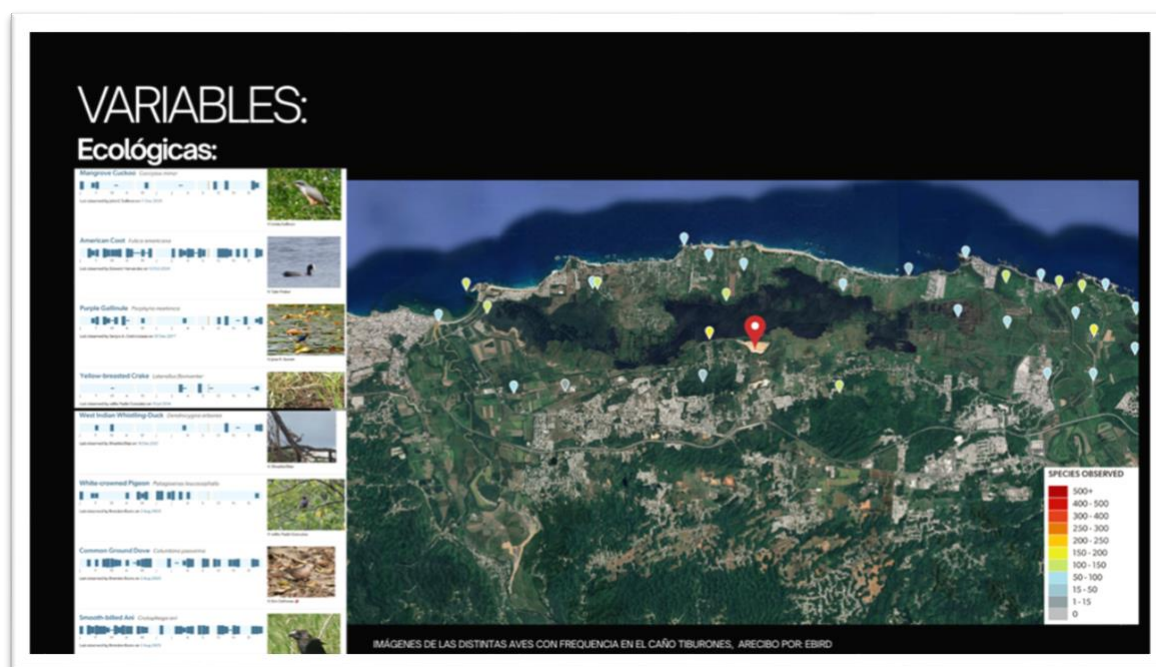
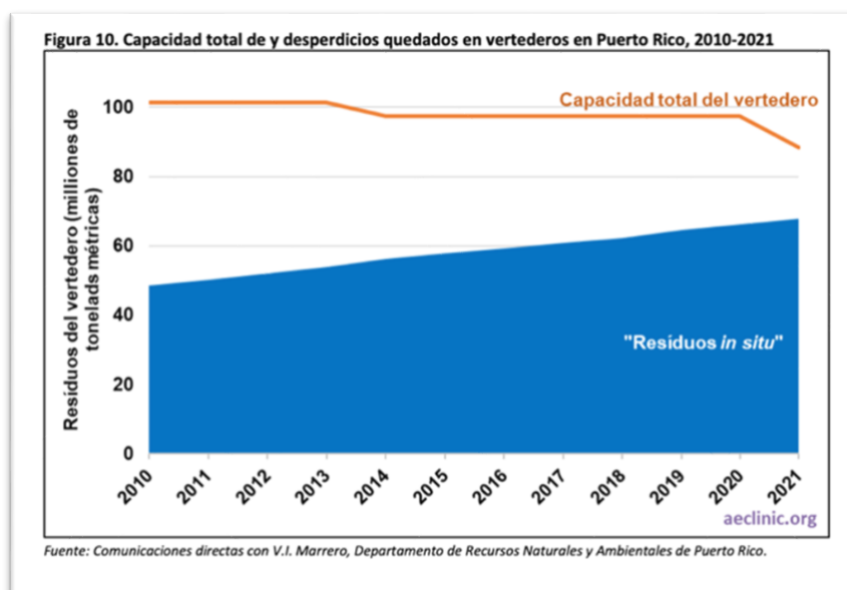


Tabla 1 hecha por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DNRA) muestra los niveles de capacidad total de desperdicios sólidos quedados en los vertederos del país, entre el año 2010 hasta 2021.



VARIABLES: Ecológicas:

Leyenda:

- Ríos y Quebradas
- Lagos, Lagunas y Embalses
- Humedales



Variables ecológicas, a través de este mapa se evidencia la gran presencia de ríos, quebradas, lagos o embalses y humedales. Variables sociales mostrando las diversas denuncias ante la alarmante contaminación ambiental que presenta el vertedero municipal de Arecibo para las comunidades cercanas.

VARIABLES: Sociales:

Ante el Tribunal Federal demanda de comunidades contra alcaldes por presuntos incumplimientos del vertedero de Arecibo

El recurso procura que se paralice el depósito de los desechos sólidos de Matillo, Quebradillas y Arecibo en la instalación

8 de junio de 2020 - 10:04 PM

La organización Movimiento Ciudadano Pro Cierre del Vertedero de Arecibo (Mociva) presentó una demanda contra los alcaldes de Arecibo, Matillo y Quebradillas, municipios que utilizan el sistema de relleno sanitario que, por años, ha sido señalado por incumplir con las regulaciones para garantizar la salud pública y ambiental.

Latente la preocupación de comunidades en Arecibo ante posibilidad de expansión de Central Waste Services

Vecinos de las comunidades afectadas esperan que el Tribunal de Apelaciones revierta una aprobación de la OGP

18 de abril de 2020 - 4:18 PM

Vecinos de varias comunidades en Arecibo intensificaron su reclamo en contra de los planes de expansión de Central Waste Services (CWS), empresa que busca desarrollar una planta de manejo y trituración de materiales de construcción, como concreto y escombros, y que los residentes en la zona advierten sería nociva a su salud y al ambiente.

Comunidades exigen el cierre del vertedero de Arecibo

Por Teresa Supelveda-Rivera (Arecibo) | Publicado el 29 mayo 2020

El viernes 13 de abril de 2020 se llevó a cabo una visita ocular sobre las operaciones del vertedero de Arecibo. El cierre de este vertedero debía ocurrir en el 2007. Ciudadanos y habitantes desearían que a través de 13 años de lucha, sus reclamos y recomendaciones para que resuelva este problema han quedado en vano. Las respuestas de distintas administraciones de los partidos PPD y PUSC se han quedado en promesas y total silencio de acción en pro del pueblo.

Los terrenos donde los habitantes, agentes pagados y contaminantes del suelo que circulan entre los residuos de basura, generados desde el vertedero, de aquí al año del Cero Tercero de Arecibo. Esto ha provocado una alta contaminación, que a su vez ha afectado la salud de la ciudadanía y sus hijos, problemas en la piel, dolores, resaca, alergias entre otros.

Delina Aguirre Cordero, integrante del grupo MOCIVA (Movimiento por el Cierre del Vertedero de Arecibo) plantea que la administración de Arecibo, irresponsablemente, desearía cumplir y cumplir municipios de Arecibo que son dependientes, los niveles de contaminación que tienen, es un nivel que por años se ha ido acumulando. Pero a veces, en municipios se resalta, regularmente los medios necesitan para cubrir tanto el nivel de la salud, el bienestar y la calidad de vida de los niños y niñas de las comunidades de Quebradillas, Matillo, Arecibo, Fajardo, Corrales y Dominga Ruiz. Aguirre Cordero señaló que MOCIVA se ha dado a la tarea de investigar y recoger la historia del Cero Tercero, donde muchos niños de matillo, integrantes de la comunidad, sufren de problemas de salud.

Protestan vertedero en Arecibo

Trituradora de cemento en planes

Por Teresa Supelveda-Rivera (Arecibo) | Publicado el 6 mayo 2020

El sábado 12 de abril de 2020, la Colectividad Esmeralda en el Centro y residentes de Fajardo y Quebradillas en Arecibo, realizaron una caminata en la carretera a 683 hacia el espacio donde la compañía Central Waste Services pretende instalar una trituradora de cemento.

Según el Ludo Oscar Swad, desde el 2020 comenzó el trabajo de planificación ambiental para el proyecto. Nunca se le notificó a las comunidades cercanas sobre la propuesta y que la misma propone un proyecto industrial especializado. La trituradora de cemento se propone como "una planta de reciclaje" lo cual impacta negativamente 100 toneladas de escombros y cemento diariamente. Esto expone a las comunidades a contaminación acústica y del aire cuyos barrios ya son afectados por el vertedero regional y tráfico de camiones.

El proyecto no tomó en cuenta el impacto ambiental acumulado, ni a la salud y a la calidad de vida de los residentes. Las comunidades no fueron informadas y consultadas sobre el proyecto. Swad enfatizó que las comunidades tienen que ver parte del proceso. Más aún cuando se ha dicho que el proyecto está dirigido a garantizar la salud y seguridad de los residentes.



Residentes denuncian que tanto la salud pública como el medioambiente sufren los estragos de presuntas violaciones por parte del operador y el Municipio.



A consecuencia del vertedero, tengo un asma severa, tengo alergias, tengo alergia en la piel, una sinusitis que no se me alivia y me ha cogido los oídos.

SANDRA RIQUELME RIVERA
VECINA, 53 AÑOS



Los animales, de momento, como que se mueren y se caen muertos delante de ti. Hace poco, se me murió una vaca, le hice una autopsia y tenía el hígado enfermo, contaminado.

ROS DELGADO RIVERA
DE QUEBRADILLA Y ARECIBO
QUE TIENE 70 AÑOS

IMÁGENES DE REPORTAJES DE LAS DIVERSAS DENUNCIAS ANTE EL VERTEDERO MUNICIPAL DE ARECIBO POR PERIÓDICO EL NUEVO DÍA Y BANDERA ROJA

X. Análisis de casos de estudio: Caso 2: Vertedero Municipal de Vega Baja



27

Variables aplicables:

Ecológicas:

- Calidad de terrenos
- Cercanía de humedales- **135' (41.15m) radio**
- Calidad de biodiversidad local

Sociales:

- Calidad de salud comunitaria
- Percepción de riesgo comunitario- **0.40 mi (646.57 m) radio**

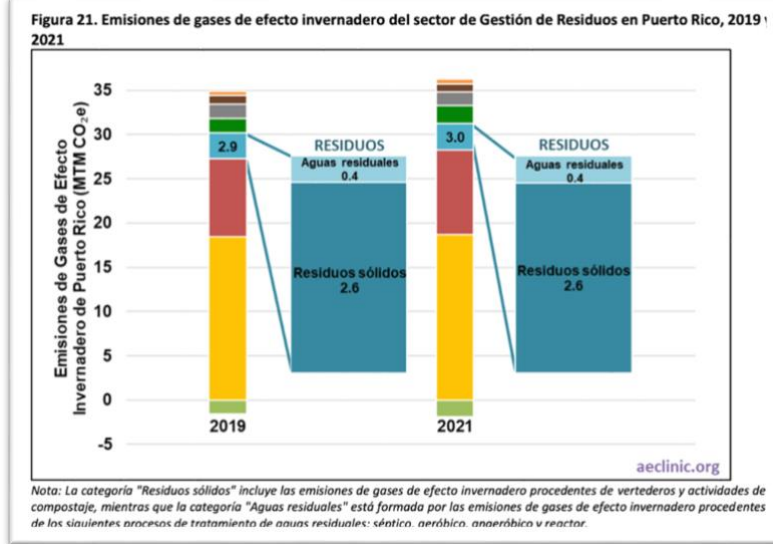
Tamaño de vertedero: 72 acres, 55 acres residenciales y 17 hectáreas sin desarrollar.

El segundo caso de estudio presenta el vertedero municipal de Vega Baja por su alarmante incumplimiento de regulaciones ambientales cerrado en 2007, la EPA ordenó el cierre del vertedero, cerrando finalmente en 2010. El vertedero se ubica sobre lo que antes era un humedal, con otros humedales adyacentes al oeste y sur, cuenta con 72 acres de terreno. Se reportó que los lixiviados llegaron al río Cibuco mediante canales contruidos sin autorización, lo que constituyó violaciones ambientales graves según el científico Neftalí García. Según la EPA incluyeron el sitio en la lista de prioridades nacionales (NPL) como sitio Superfund²⁸. Entre 1948 y 1979, operó como depósito

²⁷ Imagen aérea de vertedero municipal de Vega Baja por La Vega Landfill.

²⁸ Definición de “*Superfund*”: Un estado de Superfund en un vertedero o en cualquier sitio contaminado significa que el lugar ha sido identificado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), como

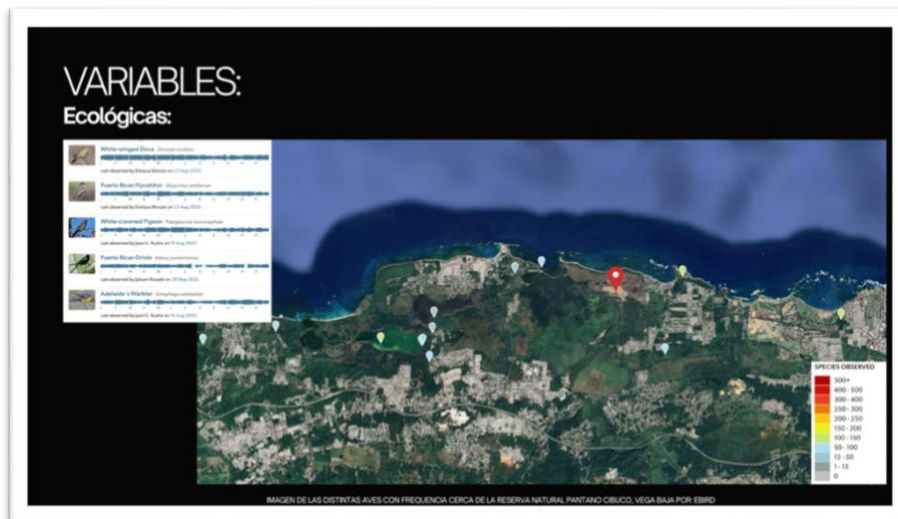
abierto de desechos sin protección ambiental, lo que provocó contaminación en suelo y



aguas subterráneas con metales pesados y pesticidas. La EPA llevó a cabo acciones inmediatas como la remoción de suelos contaminados, rehabilitación, sellado "capping", revegetación y controles institucionales.

Tabla elaborada por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DNRA) muestra los diferentes niveles de gases en efecto invernadero en el sector de gestión de residuos en la Isla durante el año 2019 y 2021. Este estudio recalca la carencia actual de manejo de residuos sólidos y el procesado adecuado para disponer de ellos, se muestra presencia de altos niveles en el aire de metano CH₄ y el dióxido de

carbono CO₂.



Variables ecológicas que muestra un mapa con las distintas aves que frecuentan el área.

uno de los más peligrosos para la salud humana y el medio ambiente debido a la presencia de desechos tóxicos o contaminantes peligrosos.

VARIABLES: Ecológicas:

- Cercanía de humedales - 135' (41.15m) radio
- Percepción de riesgo comunitario - 0.40 mi (646.57 m) radio



VARIABLES: Ecológicas:

- Legenda:
- Ríos y Quebradas
 - Lagos, Lagunas y Embalses
 - Humedales



VARIABLES: Sociales:

Le dan largas al cierre de vertederos

Al día de hoy, el 20 de mayo de 2024, se ha informado que los vertederos en la zona de Vega Baja, Puerto Rico, están siendo utilizados para la disposición de residuos sólidos. Esto es una preocupación para la comunidad, ya que estos vertederos no están diseñados para manejar grandes volúmenes de residuos sólidos, lo que puede generar problemas de salud y ambientales.

Vega Baja pide ayuda para evitar vertederos clandestinos

El alcalde de Vega, Marcos Cruz Molina, hizo hoy un llamado a la responsabilidad ciudadana para evitar la proliferación de vertederos clandestinos. "Hay una realidad innegable en Puerto Rico en relación a la disposición de desperdicios sólidos, y es que, aun habiendo alternativas para manejar la situación, hay ciudadanos que de manera oculta, dejan basura en lugares apartados, afectando la salud y el medioambiente", sostuvo.

IMÁGENES DE REPORTAJES DE LAS DIVERSAS DENUNCIAS ANTE EL VERTEDERO MUNICIPAL DE VEGA BAJA POR LOS PERIÓDICOS EL NUEVO DÍA, PRIMERA HORA Y EL VOCERO.

Combaten fuego en el vertedero de Vega Baja

Según la información preliminar, el incendio comenzó por una pila de residuos acumulados en el área de tránsito. Las autoridades atienden un fuego reportado a una de las 6.30pm de este sábado en el vertedero de Vega Baja.

Según la información preliminar, el incendio inició en unas pilas de madera acumuladas en el área de tránsito.

A causa de los malos olores, el municipio exhortó a los ciudadanos que residen cerca de la zona a cubrir problemas respiratorios a tomar medidas.

Se manifiestan contra la contaminación y el "voceteo" en playa Puerto Nuevo de Vega Baja

La compañía Atlantic Waste Disposal, Inc. alega que la decisión del ayuntamiento, a raíz del supuesto retraso en los servicios durante la pandemia de COVID-19, se tomó sin justificación.

Una demanda millonaria presentada por Atlantic Waste Disposal, Inc. (AWDI) contra el Municipio de Vega Baja y su alcalde, Marcos Cruz Molina, ha aumentado la tensión entre las partes, en una controversia que data de septiembre de 2022, cuando el ayuntamiento canceló -de forma unilateral- el contrato de la empresa para el reciclaje y disposición de desperdicios sólidos.

Se manifiestan contra la contaminación y el "voceteo" en playa Puerto Nuevo de Vega Baja. Los manifestantes exigen que se tomen medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua en la playa.

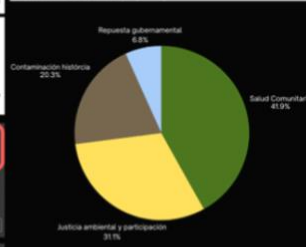


TABLA CON PORCENTAJES APROXIMADOS DE LOS DISTINTOS FACTORES SOCIALES QUE TOMAN PROTAGONISMO EN LA ZONA DE VEGA BAJA.

Variables ecológicas mostrando distancias críticas entre la cercanía de la reserva natural Pantano Cibuco y la cercanía con uno de los ríos principales de Vega Baja, Río Cibuco. Además, la cercanía del vertedero hacia el área de viviendas. Variables ecológicas, a través de este mapa se evidencia la gran presencia de ríos, quebradas, lagos o embalses y humedales

XI. Análisis de casos de estudio: Caso 3: Vertedero Municipal de Juncos



29

Variables aplicables:

Ecológicas:

- Calidad de terrenos
- Cercanía de humedales - **1,594' (485.85m) radio**

- Calidad de biodiversidad local

Sociales:

- Calidad de salud comunitaria
- Percepción de riesgo comunitario - **0.15 mi**

(241.40 m) radio

Económicas:

- Costo de remediación
- Desarrollo económico local

Tamaño de vertedero: 39.7 cuerdas aprox. de las cuales 32.98 cuerdas están destinadas a residuos. **Nueva celda (Fase I):** 20.86 cuerdas

El tercer caso de estudio presenta el vertedero municipal de Juncos por su alarmante incumpliendo de regulaciones ambientales y clasificado como “Superfund” por la EPA. El vertedero de Juncos fue incluido en la lista del “Superfund” (NPL) desde

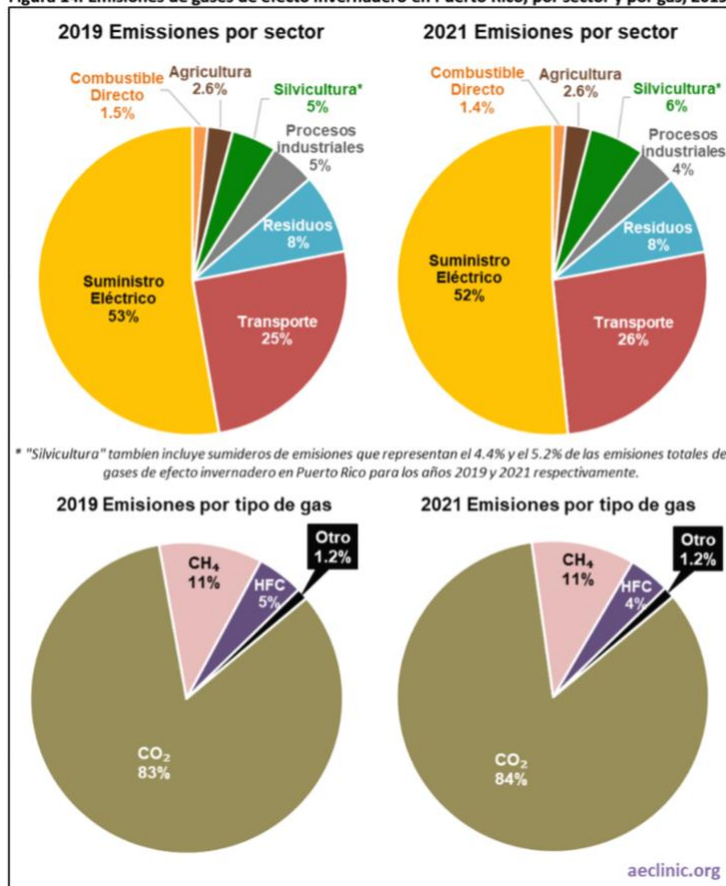
²⁹ Imagen aérea del vertedero municipal de Juncos por el periódico El Nuevo Día.

septiembre de 1983. Anteriormente, recibía desechos industriales que incluían mercurio, entre otros metales ferrosos que generan químicos tóxicos en su descomposición. La EPA encontró presencia de mercurio en el aire, en el suelo y en lixiviados de áreas cercanas, incluyendo la vegetación y los jardines detrás de las casas vecinas al vertedero.

El Departamento de Agricultura de EE. UU. en el 2021 otorgo una subvención aproximadamente \$23.6-23.7 millones para reparar daños causados por el huracán María. Daños por el Huracán María 2017: El huracán destruyó el sistema de recolección de lixiviados de una de las celdas del vertedero. Generando un peligro serio para la salud

y la seguridad de las comunidades vecinas, al tiempo que puso en riesgo tanto los acuíferos subterráneos como los cuerpos de agua próximos a la instalación. Según el periódico El Nuevo Dia esta nueva inversión permitirá cerrar una celda antigua y construir tres nuevas, extendiendo la vida útil del vertedero por aproximadamente 21 años. La

Figura 14. Emisiones de gases de efecto invernadero en Puerto Rico, por sector y por gas, 2019 y 2021.



instalación atiende cerca de 350,315 personas y recibe alrededor de 35,105 toneladas

de residuos sólidos no peligrosos anualmente. El vertedero actual cuenta con aproximadamente 39.77 desde el 1978 con unas 32.98 cuerdas destinadas al depósito de residuos sólidos.

Tabla elaborada por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DNRA) los diferentes niveles de gases en efecto invernadero por sectores y por tipo de gas en la Isla durante el año 2019 y 2021. Este estudio muestra los altos niveles en el aire de metano CH₄ y el dióxido de carbono CO₂ representando esto un 8%

Análisis FODA

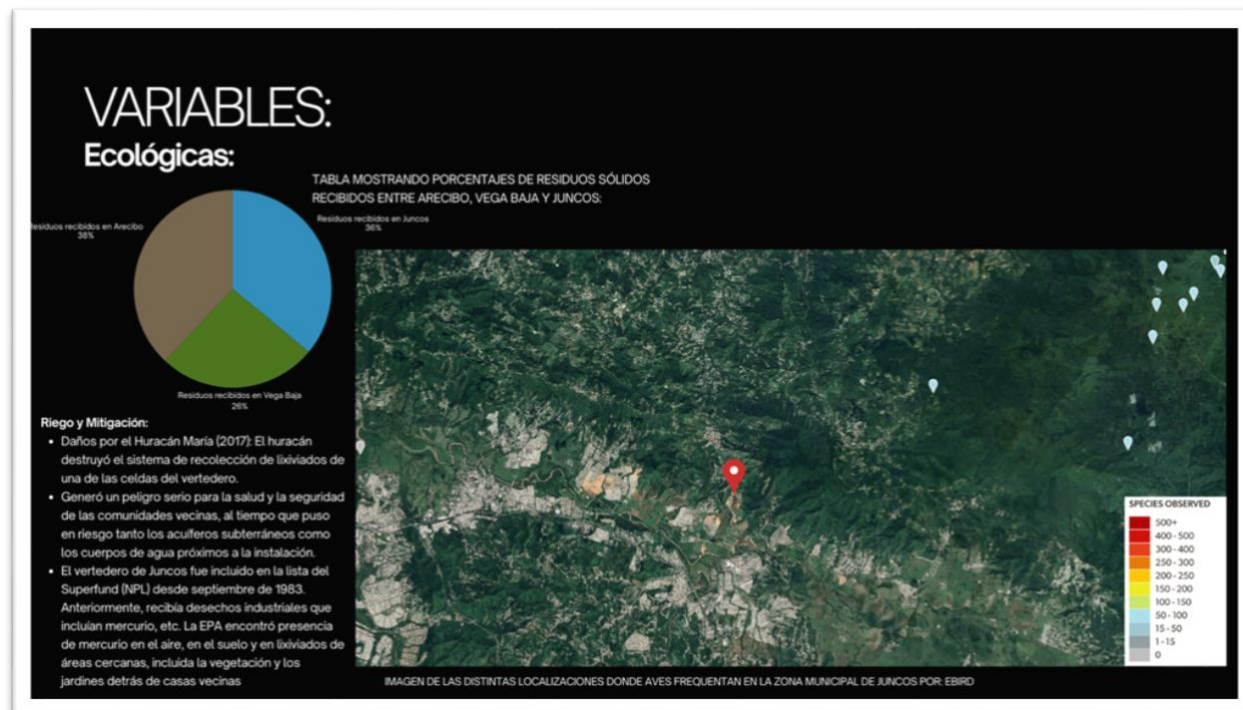
A continuación, se presenta un resumen del análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), que se identificaron en el Memorial.

Fortalezas	Oportunidades
• Facilidades y eventos deportivos con reconocimiento a nivel estatal. • Sistema de transporte colectivo municipal gratuito para residentes y visitantes. • Proyectos de energía renovable dentro del municipio. • Sistema de Relleno Sanitario en proceso de expansión y en cumplimiento ambiental con EPA. • Lugares culturales, recreativos y turísticos que promueven el esparcimiento y la interacción social. • Industrias farmacéuticas y de manufactura establecidas en el municipio.	• Fondos federales disponibles para rehabilitar el centro urbano y atraer nuevos negocios. • Desarrollo de proyectos con fondos federales para proyectos de mitigación en terrenos bajo peligro de deslizamientos y/o derrumbes. • Mejorar la seguridad en áreas públicas y privadas. • Fortalecer la industria de informática, finanzas, comercio al por mayor, construcción, manufactura y servicios profesionales. • Promover proyectos de calles completas. • Promover e incentivar la rehabilitación de estructuras ocupadas y vacantes (estorbos públicos).
Debilidades	Amenazas
• Comunidades sin acceso al sistema de agua potable. • Construcciones en zonas susceptibles a deslizamientos o inundaciones. • Limitación de personal para el mantenimiento de áreas recreativas. • Infraestructura inadecuada para personas con problemas de movilidad. • Estructuras en desuso. • Aumento en la población de personas sin hogar. • Falta de oferta de vivienda asequible. • Deterioro de la infraestructura crítica.	• Fenómenos naturales que impacten negativamente las comunidades. • Infraestructura existente deteriorada, afectada por los huracanes, que no ha sido reemplazada y representan un peligro para la comunidad. • Vida útil del vertedero y el no lograr la implementación de un programa de reducción y reciclaje para reducir la cantidad de desperdicios sólidos generados. • Proliferación de estorbos público y unidades vacantes en deterioro. • Espacios limitados en el cementerio municipal.

de las emisiones por sector son a causa de los residuos de los vertederos.

Tabla elaborada

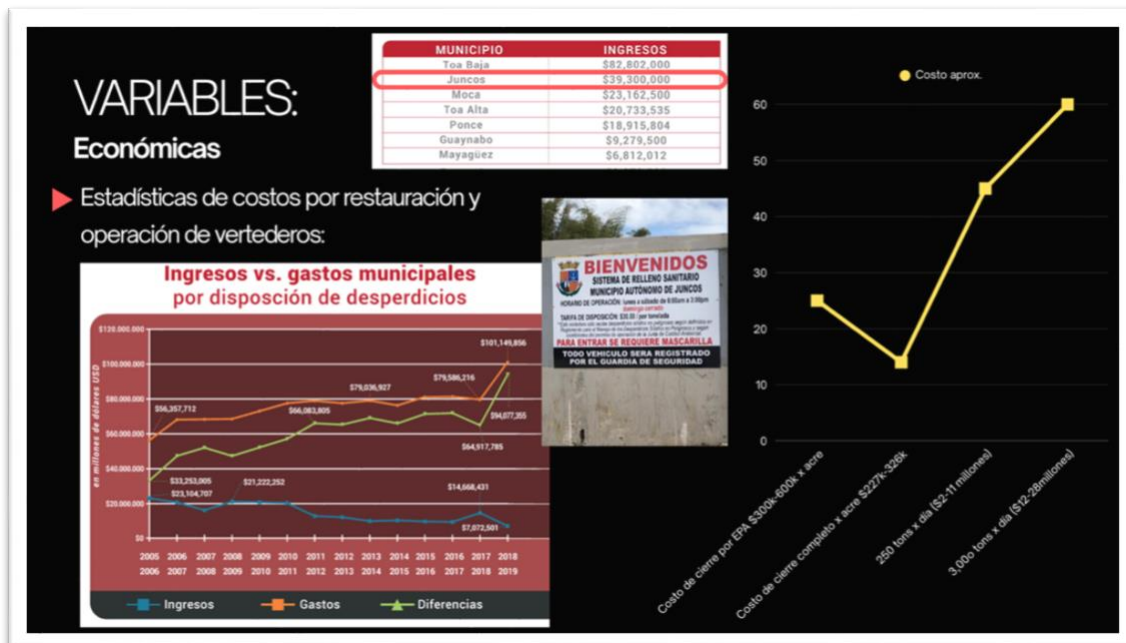
por el municipio de Juncos identificando sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de presenta actualmente conocido también como “FODA”.



Variables ecológicas que muestra un mapa con las distintas aves que frecuentan cerca del vertedero municipal de Juncos, mostrando un nivel bien bajo de frecuencia y abundancia de aves en esta zona. Imagen dos muestra las variables sociales, a través de las diversas denuncias ante la alarmante contaminación ambiental que presenta el vertedero municipal de Juncos para las comunidades cercanas. **Riesgo y Mitigación:** Daños por el Huracán María (2017): El huracán destruyó el sistema de recolección de lixiviados de una de las celdas del vertedero. Generó un peligro serio para la salud y la seguridad de las comunidades vecinas, al tiempo que puso en riesgo tanto los acuíferos subterráneos como los cuerpos de agua próximos a la instalación. El vertedero de Juncos fue incluido en la lista del *Superfund* (NPL) desde septiembre de 1983. Anteriormente, recibía desechos industriales que incluían mercurio, etc. La EPA encontró presencia de mercurio en el aire, en el suelo y en lixiviados de áreas cercanas, incluida la vegetación y los jardines detrás de casas vecinas



Variables económicas, se muestra a través de estas estadísticas de los diversos costos operacionales que con lleva el manejo de un vertedero y por su clasificación de uso. El municipio de Juncos es el segundo municipio con mayores ingresos por el volumen de residuos sólidos que se manejan en la zona.





La selección del vertedero de Arecibo como caso de estudio responde a una combinación de factores ambientales, sociales y estratégicos que lo convierten en un escenario representativo y relevante dentro del contexto de manejo de residuos sólidos en Puerto Rico. Este vertedero, siendo uno de los más grandes y controversiales de la isla, ha sido objeto de múltiples señalamientos por parte de agencias

ambientales como la EPA debido a su cercanía a comunidades residenciales, a su impacto en el acuífero del norte y a su proximidad al Carso norteño, una zona ecológicamente sensible y con importancia a conservarse.

Arecibo representa un hito en la discusión sobre sostenibilidad ambiental, planificación territorial y justicia ambiental. Su situación geográfica, localizada en una región de alto valor ecológico y turístico, ofrece la oportunidad de repensar el uso del suelo postindustrial y transformar un pasivo ambiental en un activo paisajístico, educativo y recreativo. Además, su historia de conflicto con comunidades locales y organizaciones ambientalistas subraya la urgencia de desarrollar soluciones que integren a la comunidad, restauren el entorno natural y promuevan un modelo de desarrollo más resiliente y equitativo.

X. Precedentes: Freshkills Park por Field Operations, James Corner



³⁰ **Ubicación:** Staten Island, Nueva York, en el terreno del antiguo vertedero Fresh Kills.

Área: Aproximadamente 2,200 acres, casi tres veces el tamaño de

Central Park. **Año:** octubre de 2008. **Plazo estimado de ejecución:** El desarrollo se hará en fases, estimándose su conclusión alrededor de 2035-2037.

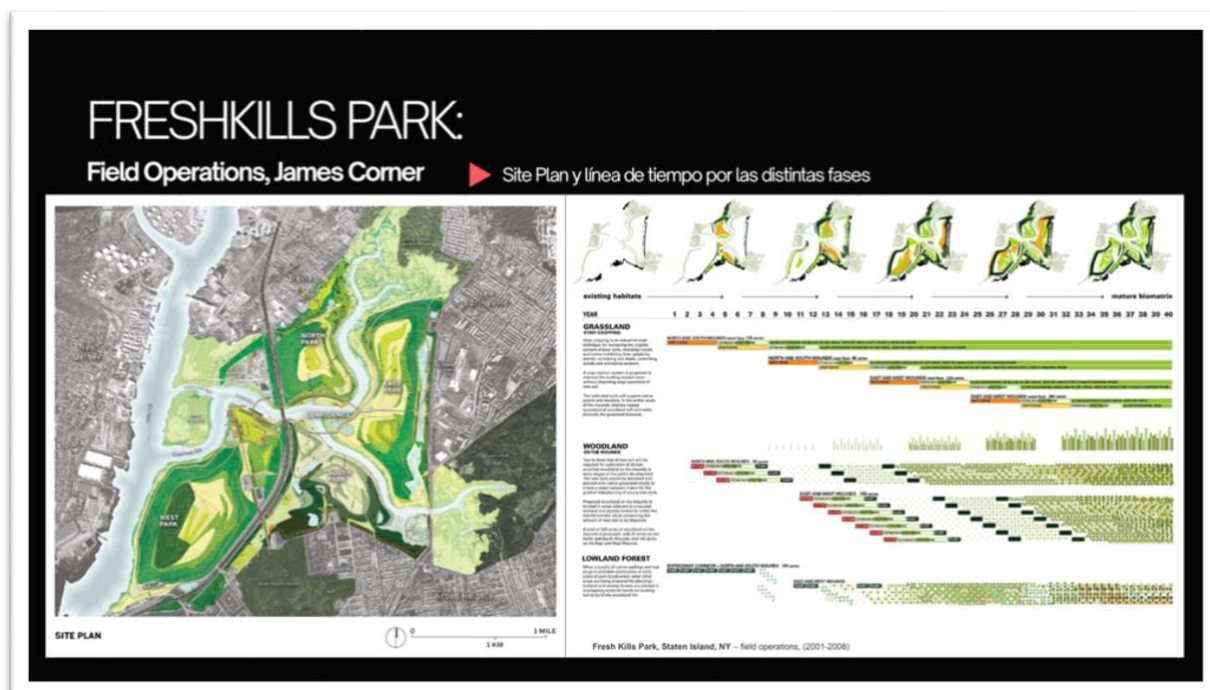
Datos importantes del proyecto:

- **Restauración ecológica:** Mejora de suelos y agua, creación de hábitats nativos y diversidad biológica.
- **Infraestructura sostenible:** Uso de energía solar y eólica, manejo del metano del vertedero, materiales reciclados en pavimentos y estructuras.
- **Varias tipologías de espacio público:** áreas recreativas (campos deportivos, senderos, kayak), espacios culturales, miradores de fauna, rutas para bicicletas y peatones.

³⁰ Ilustración gráfica del concepto de *Freshkills Park*. Antiguo vertedero más grande del mundo restaurado y reestructurado por el arquitecto paisajista James Corner.

- **Fases de restauración:** Dividido en 5 zonas principales o sub-parques: **North Park, South Park, East Park, West Park y The Confluence.**

El proyecto de Freshkills Park, diseñado por *James Corner Field Operations*, logró transformar un antiguo vertedero *Fresh Kills Landfill* en Staten Island, Nueva York, en un parque público extenso, seguro, ecológico y con usos recreativos, educativos y culturales. Fue uno de los vertederos más grandes del mundo siendo este tres veces de tamaño que el Central Park. En el 2001 se le otorgó la Certificación ambiental del cierre completo, se completaron todas las obras de cierre del vertedero y el estado de Nueva York certificó la correcta clausura en mayo de 2022. Esto incluye impermeabilización, control de gases metano, recolección de lixiviados, sistemas de tratamiento y mantenimiento ambiental. Diseño del plan maestro que transforma y recupera el paisaje perdido.



El proyecto ganó un concurso internacional en 2003; el plan maestro “Draft Master Plan” define un esquema para integrar praderas, humedales, vías de agua, infraestructura ecológica, espacios culturales, recreativos. Se combinan elementos naturales con ingeniería para hacer que el sitio sea seguro y útil para el público. Apertura de la primera sección pública: “North Park Phase 1”. En octubre de 2023 se inauguró el primer tramo público dentro de los límites del antiguo relleno, de unos 21 acres, llamado “North Park”. Incluye senderos peatonales y para bicicletas, miradores, torre de observación de aves, estacionamiento, baños composteros, deck de observación de humedales, etc. El proyecto incluye infraestructura sustentable, los baños usan compostaje y no consumen agua. Uso de paneles solares para iluminación del baño y del estacionamiento. Restauración de humedales y vegetación nativa, estabilización del terreno, creación de ecosistemas de aves, flora y fauna local. Además de contar directamente con la participación ciudadana y gobernanza múltiple. Para llevarlo a cabo han intervenido múltiples agencias Parks, Sanitation, DEC del estado, autoridades locales, además de colaboración con la comunidad y entidades académicas.

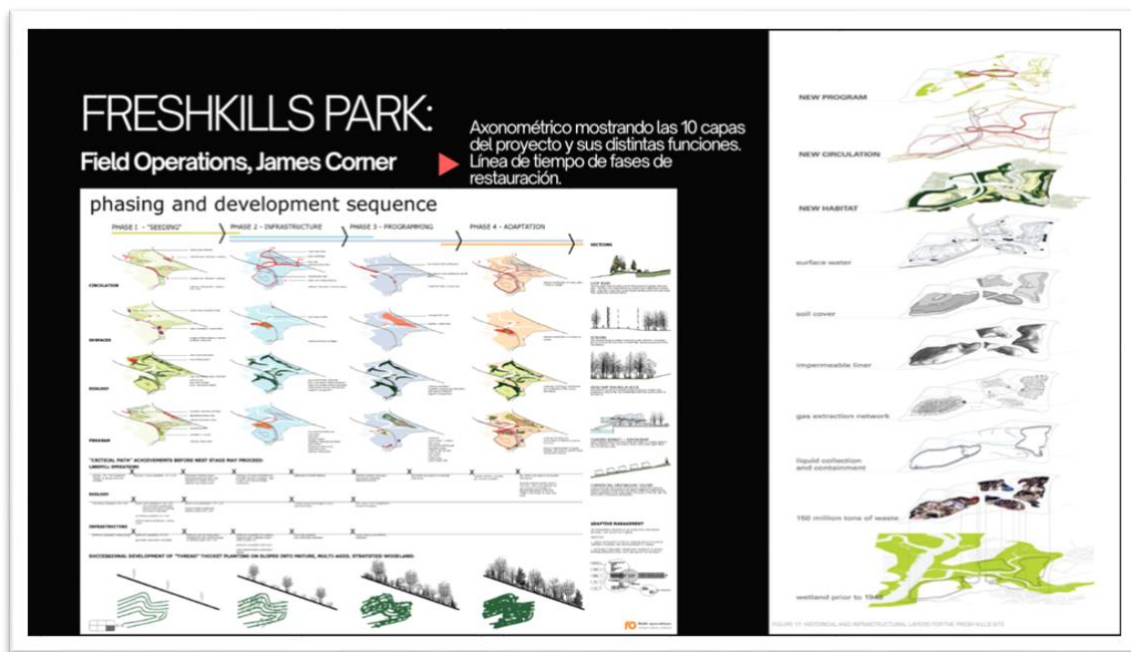


Imagen 1: muestra una línea de tiempo sobre el progreso que tendrá el proyecto en el paisaje. **Imagen 2:** muestra los diagramas principales de las 4 fases de restauración del proyecto mediante axonométricos explotados identificando las distintas capas que componen este proyecto.

XI. Precedentes: Vertedero de Residuos de la Vall d'en Joan por Batlle i Roig Arquitectes

31



Ubicación: En la Vall d'en Joan, Parque Natural del Garraf, municipios de Begues y Gavà, provincia de Barcelona, Cataluña. Vertedero en uso desde 1974, depositando residuos de la zona metropolitana de Barcelona. Acumuló un total de 25 millones de toneladas en sus 60 hectáreas de extensión

Superficie original de ~85 hectáreas; actualmente restauradas ~20 hectáreas en las zonas 1-2 y acceso. **Año:** 1999, con financiación compartida: Ayuntamiento de Barcelona, Diputación, Mancomunidad de

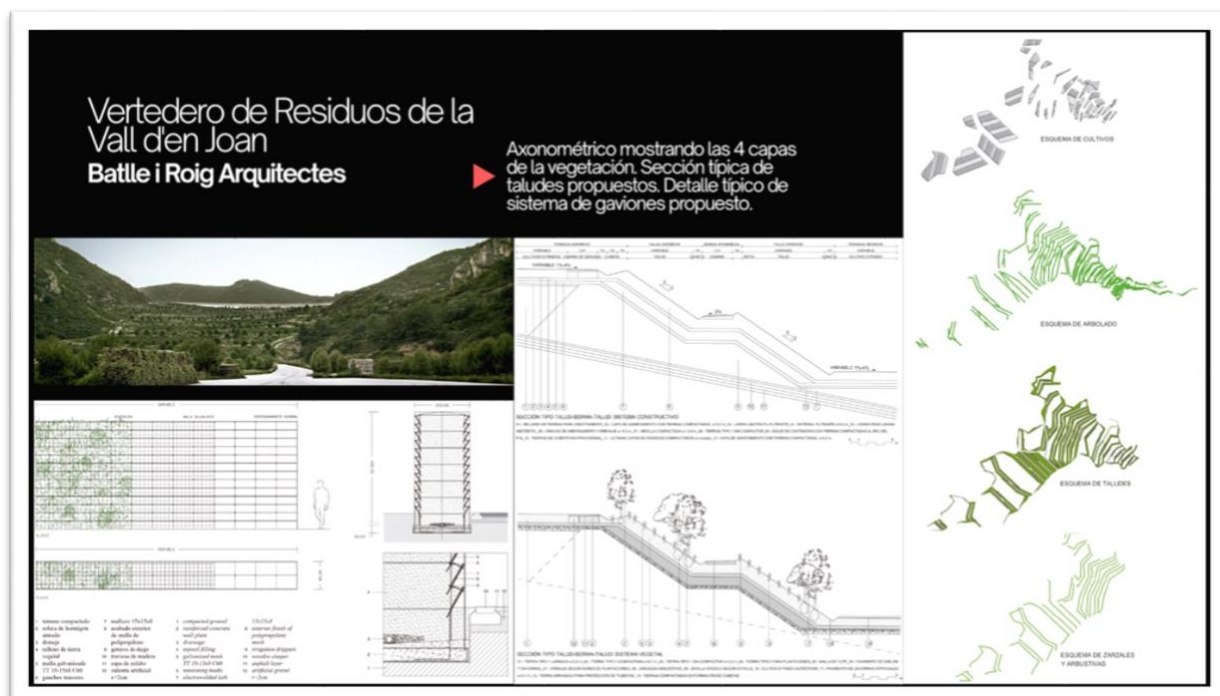
Municipios, Junta de Residuos y la Unión Europea.

El vertedero Vall d'en Joan comenzó a operar en 1974, en una depresión natural del macizo del Garraf, Barcelona. Acumuló durante décadas residuos urbanos del área metropolitana. Al clausurarse, ocupaba unas 85 hectáreas, estaba colmatado hasta aproximadamente dos tercios de su altura original. La topografía había sido alterada, con

³¹ Línea de tiempo a través de fotografías al pasar los años hasta la restauración del vertedero Vall d'en Joan por Battle i Roig Arquitectes.

fuertes pendientes, taludes, rampas usadas para camiones, contaminación del acuífero subterráneo, filtraciones, lixiviados, liberación de gases de metano, etc.

El proyecto no sólo es restauración técnica, sino también transformación paisajística, social y ambiental: clausura y utiliza un sellado técnico del depósito de residuos: sellado con lámina impermeabilizante, capas de grava drenante, filtro geotextil, tierra vegetal. Reconfiguración topográfica: creación de terrazas estabilizadoras, taludes de soporte, suavización de pendientes. Sistemas de drenaje: separación de aguas pluviales externas de las internas, canalización, cunetas para manejo de lluvias, depósitos de reserva de agua. Extracción y aprovechamiento de biogás generado por la descomposición de residuos, con posible conversión energética. Gestión de los lixiviados para evitar contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Reforestación y revegetación con especies autóctonas: arbustos, árboles, vegetación mediterránea,



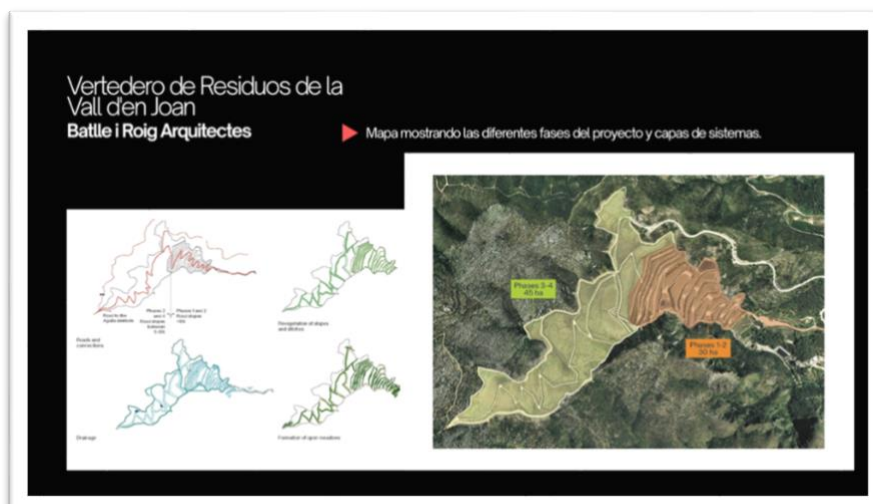
especies resistentes, de bajo requerimiento hídrico. Uso de la tierra vegetal para cubrir los residuos, como capa de conexión con el nuevo paisaje. Introducción de actividades agrícolas en las terrazas: cultivos de especies agrícolas como parte del paisaje usado. Recuperación paisajística para uso público: creación de senderos peatonales y para bicicletas, accesos, miradores; el depósito se convierte en “una puerta” al Parque Natural del Garraf; conexión con el sendero de largo recorrido GR-92.



Imagen 1:

muestra una línea de tiempo identificando la cantidad de residuos sólidos recibidos en el Vall d'en Joan a lo largo de los años y el plano de

emplazamiento que muestra las distintas terrazas y áreas de captación de agua desarrolladas. **Imagen 2 y 3:** ilustran secciones transversales típicas de las terrazas propuestas y axonométricos explotados de las distintas capas del proyecto.



XII. Precedentes: The Hiriya Landfill por Latz + Partner



32

Ubicación: Ubicación:
Antiguo vertedero Hiriya,
Tel Aviv, Israel. **Año:**
Iniciado alrededor de
2004 y aún en curso.
Área: Aproximadamente
1,180,000 m² (118

hectáreas) para la zona central del vertedero rehabilitado. **Operación de vertedero:**
estuvo en operación desde 1952 hasta aproximadamente 1998; acumuló
aproximadamente 25 millones de toneladas de residuos.

Datos importantes del proyecto:

- Se realizó un concurso internacional en 2004 para rehabilitar la montaña de basura.
- El diseño incluye una capa “bioplástica” impermeable para controlar metano. para permitir suelo y vegetación segura.
- Se han usado especies autóctonas resistentes al clima local, terrazas para estabilizar pendientes, e infraestructuras para captación de aguas pluviales y drenaje controlado.

³² Imagen aérea por: Landezine, Restauración del vertedero de Hiriya, Israel.

- Apertura al público: parcialmente abierto en 2014; etapas iniciales ya están abiertas para visitantes.
- **Área total del parque ecológico propuesto:** cerca de 8.5 km² (≈ 850 hectáreas)

El proyecto de restauración/recalificación del vertedero Hiriya diseñado por la firma de arquitectura paisajista Latz + Partner logró varios objetivos ambientales, urbanos, sociales y técnicos. El vertedero de Hiriya fue el vertedero municipal más grande de Israel, operando entre 1952 y 1998, acumulando decenas de millones de toneladas de residuos. Situado muy cerca de Tel Aviv, tuvo impactos ambientales, señales visuales negativas, emisiones de gases, lixiviados, problemas de erosión, y era un foco de molestias y riesgo. Alrededor del año 2004 se realizó un concurso internacional para decidir cómo rehabilitar el sitio; ganó la propuesta de Latz + Partner.

Algunas intervenciones clave incluyeron: sellado técnico del vertedero con capas impermeables, arcilla y “liners”, para evitar filtración de contaminantes. Cubierta vegetal sobre el sello, con grava, tierra y especies vegetales autóctonas para revegetación. Sistema de manejo de aguas pluviales con zanjas, captación de agua de lluvia, depósitos subterráneos de grava, almacenamiento para uso de riego. Captura de biogás mediante pozos perforados, para reducir las emisiones de metano y usar ese gas como energía verde. Creación de infraestructura para uso público: senderos peatonales y para bicicletas, miradores, rampas de acceso, áreas de observación. Estaciones de reciclaje,

centro de interpretación ambiental, actividades educativas, programas de sensibilización para visitantes.

Los resultados y logros alcanzados son: Transformación visual, paisajística y simbólica, lo que era una montaña de basura pasó a ser un elemento paisajístico con vistas, áreas verdes visibles, vegetación y espacios de recreación. Ha dejado de ser solo un vergonzoso punto hídrico y ambiental para convertirse en un “pulmón verde” para Tel Aviv. Reducción de impactos ambientales: disminución de emisiones de gases de efecto invernadero al capturar biogás. Control del lixiviado y filtraciones, gracias al sellado técnico. Mejora en el manejo del agua: drenajes, captación pluvial, mitigación de inundaciones. Creación de espacio público / social, se abrió al público el Parque Ariel Sharon, con áreas para caminar, interpretar el paisaje, ocio, recreación familiar, educación ambiental. Se ha convertido en destino para visitantes locales, educación ambiental, paseos. Uso productivo de residuos: estación de reciclaje importante. Aprovechamiento energético del biogás para producir electricidad, tanto para uso interno como para la red. Sostenibilidad económica y viabilidad, hubo estudios de costo-beneficio que mostraron que la rehabilitación integral (paisajística + arquitectónica +

técnica) era viable y con beneficio social, económico y ambiental más allá de simplemente hacer trabajos de ingeniería para mitigar el daño.

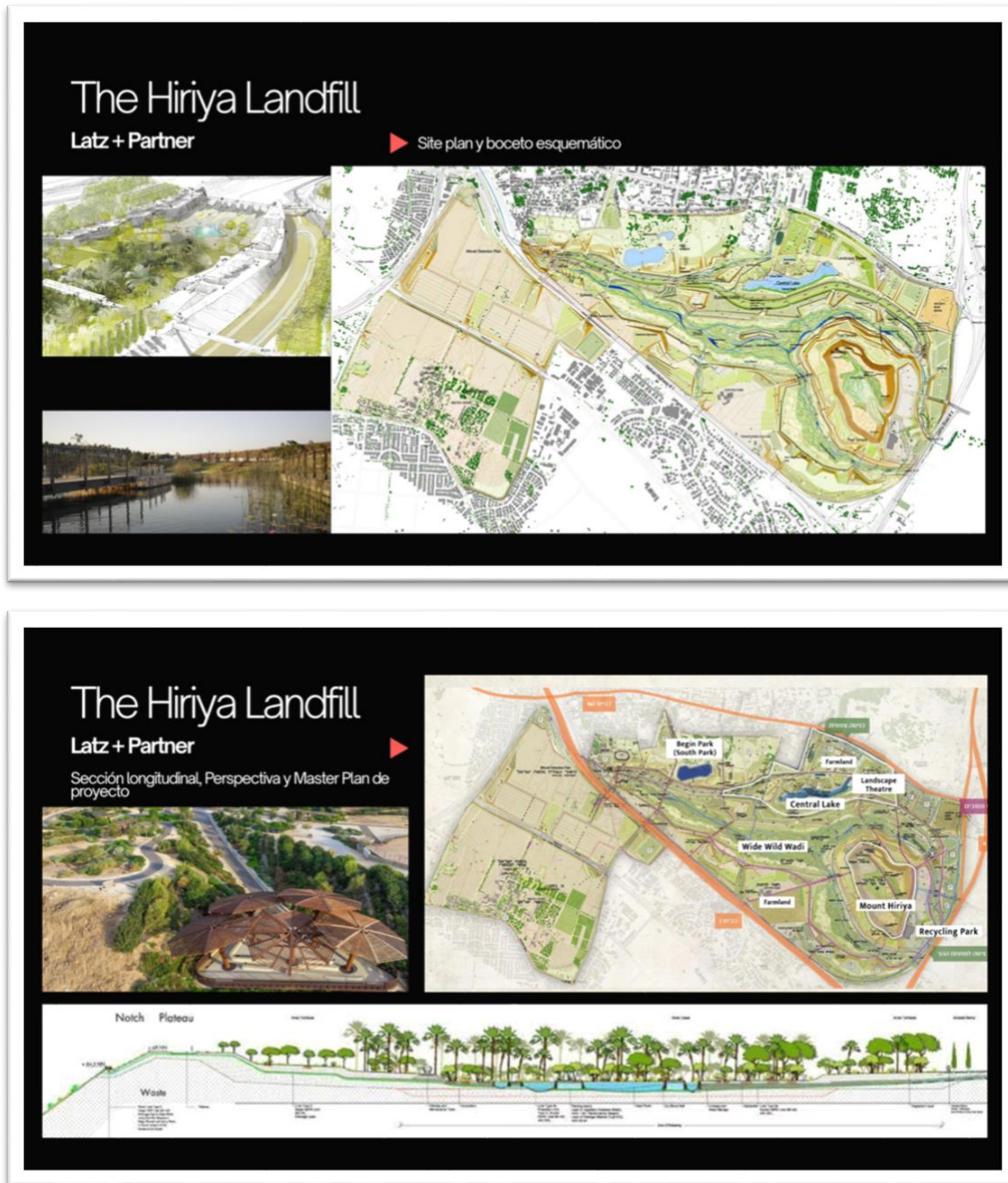


Imagen 1 y 2: muestran plano típico de emplazamiento y sección longitudinal de proyecto.

XIII. Precedentes: Chaobai River Basin Regeneration Plan por Sasaki

33



Ubicación: Distrito Baodi, Tianjin, China. **Área:** aproximadamente 208 millas cuadradas.

Estado: En curso (*In-Progress*)

Datos importantes:

- Restauración ecológica de un río fragmentado por encauzamientos de concreto, para reconectar comunidades con el río.
- Reconversión de canales de riego (~600 km) en corredores ecológicos con humedales y vegetación autóctona para filtrar escorrentías agrícolas y recargar aguas subterráneas.

³³ ilustración gráfica del proyecto Chaobai River Basin Regeneration Plan por Sasaki.

- Transformación de monocultivos de arroz y agricultura convencional hacia modelos agroecológicos.
- Involucra directamente a 28 aldeas locales para asegurar que las intervenciones respondan a necesidades comunitarias.
- Se estima completar etapas clave en agosto de 2025 (relativo al diseño / planificación principal). El proyecto tiene 3 fases.

El proyecto *Chaobai River Basin Regeneration Plan* de Sasaki busca resolver múltiples problemas ecológicos, sociales y económicos en la cuenca del río Chaobai, recuperando integridad de paisaje, funcionalidad del ecosistema, rescate cultural y reactivación productiva.

Problemas que aborda el proyecto: fragmentación ecológica
El canalizar el río con bordes de concreto rígido, haber alterado los meandros y eliminado inundaciones naturales ha roto la conexión entre los ecosistemas fluviales, los cauces laterales, humedales y la vida silvestre. Pérdida de patrimonio cultural
Las tradiciones históricas vinculadas al agua como los cultivos de arroz sujetos a inundaciones estacionales, mercados flotantes, rituales vinculados al río, etc. han sido erosionadas con urbanización, regulación hidráulica rígida y pérdida de prácticas locales.
Monocultivo agrícola poco sostenible. Amplias superficies dedicadas a arroz u otros cultivos en monocultivo, con poca diversidad agrícola, lo que produce problemas de

suelo, baja resiliencia frente al cambio climático, y menor calidad ecológica. Infraestructura hidráulica subóptima y degradaciones del agua. Canales de riego, bordes impermeables, drenajes alterados, poco filtrado, ausencia de corredores naturales que mitiguen escorrentías, contaminación agrícola, falta de regulación ante inundaciones. Economía rural estancada y falta de participación local. Escasas oportunidades económicas más allá de la agricultura convencional, baja diversificación, poca implicación comunitaria en la planificación del territorio.

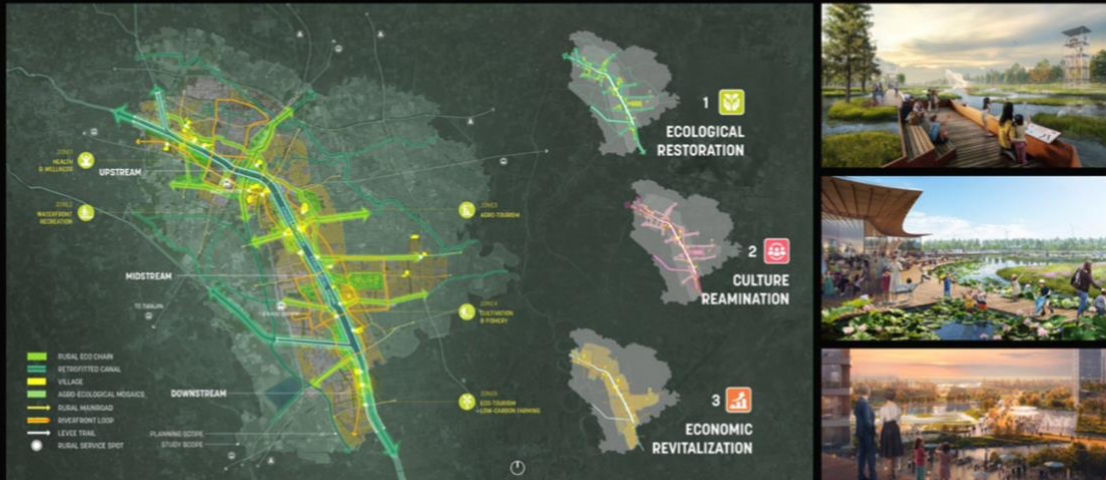
El proyecto propone resolver estos problemas a través de las siguientes soluciones: Restauración ecológica e hidráulica; transformar los bordes de hormigón rígido por “floodplains” adaptativas (planas de inundación estacional) que permitan que el río desborde y se infiltre de forma natural. Reconversión de canales de riego existentes (~600 km) en corredores ecológicos con humedales construidos y vegetación nativa, para filtrar escorrentías, recargar agua subterránea, mejorar calidad de agua. Creación de corredores para especies migratorias de aves, enlazando ecosistemas fragmentados. Diversificación agrícola / agroecología: sustituir monocultivos por modelos mixtos: arroz-pepino, huertos, cultivos de loto, entre otros. Esto mejora la salud del suelo, reduce la dependencia de insumos químicos, aumenta la resiliencia frente a variaciones climáticas. Zonas piloto, demostrativas, para combinar producción con turismo, ofreciendo nuevas vías de ingreso para los agricultores. Reconexión cultural y social: Reanimación de costumbres locales: mercados flotantes, festivales vinculados a la cosecha, educación al aire libre sobre prácticas agrícolas tradicionales, clases / espacios comunitarios que

reaviven la identidad ligada al río. Diseño de espacios públicos a lo largo de la ribera: plazas, paseos, espacios que permitan vivenciar el agua, acercamiento de la gente al río. Resiliencia y adaptabilidad frente al clima: uso de inundaciones controladas como parte del paisaje, haciendo que las crecidas temporales no sean amenazas sino parte del sistema natural. Mejor gestión del agua: recuperación de aguas pluviales, humedales, recarga de aguas subterráneas, filtrado, etc. Planificación participativa e integración institucional: Proceso de diseño que involucró 28 pueblos/villas, durante unos 16 meses, para recoger las necesidades locales, visiones culturales, prioridades. Colaboración con diversas agencias gubernamentales para coordinar políticas, infraestructura, normativa, inversión. Desarrollo económico complementario y sostenible: agroturismo, turismo cultural, festivales, centros de interpretación, mercados ligados al agua como nuevas fuentes de ingreso. Producción diversificada con valor agregado por ejemplo productos agrícolas, pesca/crustáceos, loto, etc. que pueden abastecer mercados locales o turísticos.



Chaobai River Basin Regeneration Plan Sasaki

► Diagrama mostrando master plan propuesto y perspectivas:



Chaobai River Basin Regeneration Plan Sasaki

► Diagrama mostrando el impacto y beneficio de los diferentes programas del proyecto.



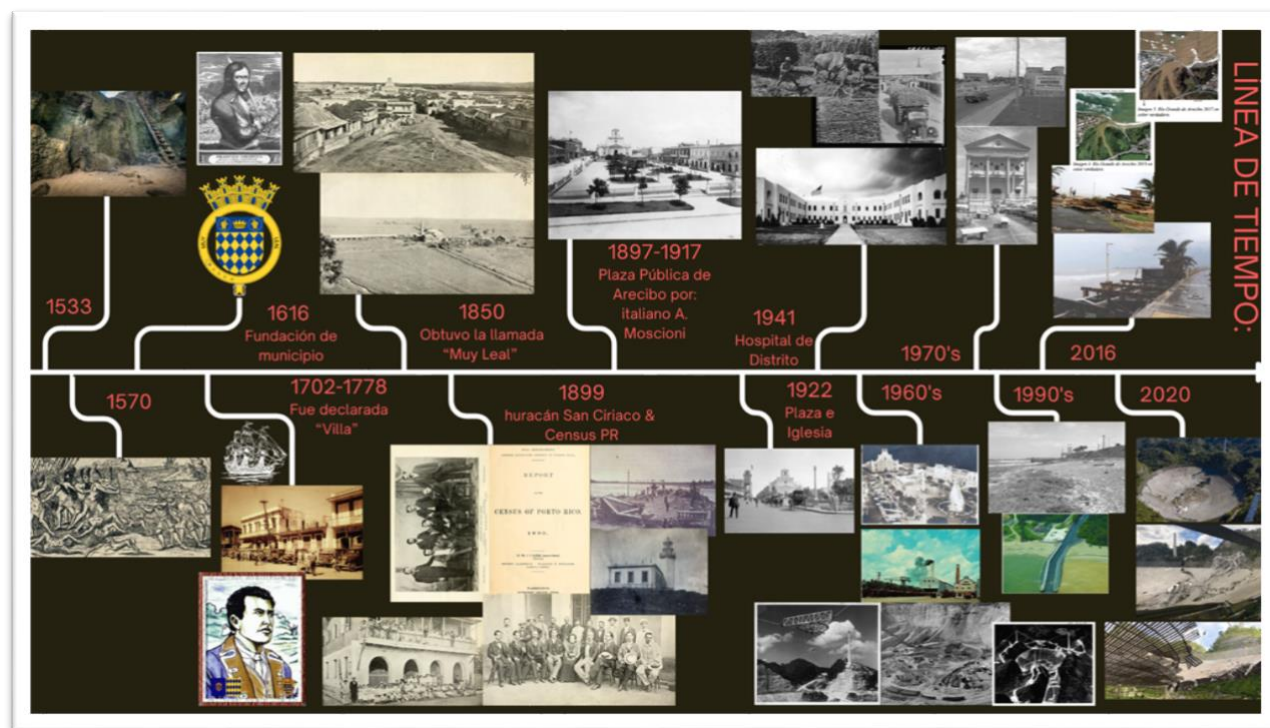
Imagen 1 y 2: muestran diagramas típicos de la propuesta de Sasaki, en el cual identifican los 3 problemas principales que estarán atendiendo y como los proponen resolver: restauración ecológica, cultura remanente y rehabilitación económica.

XIV. Análisis de Site:



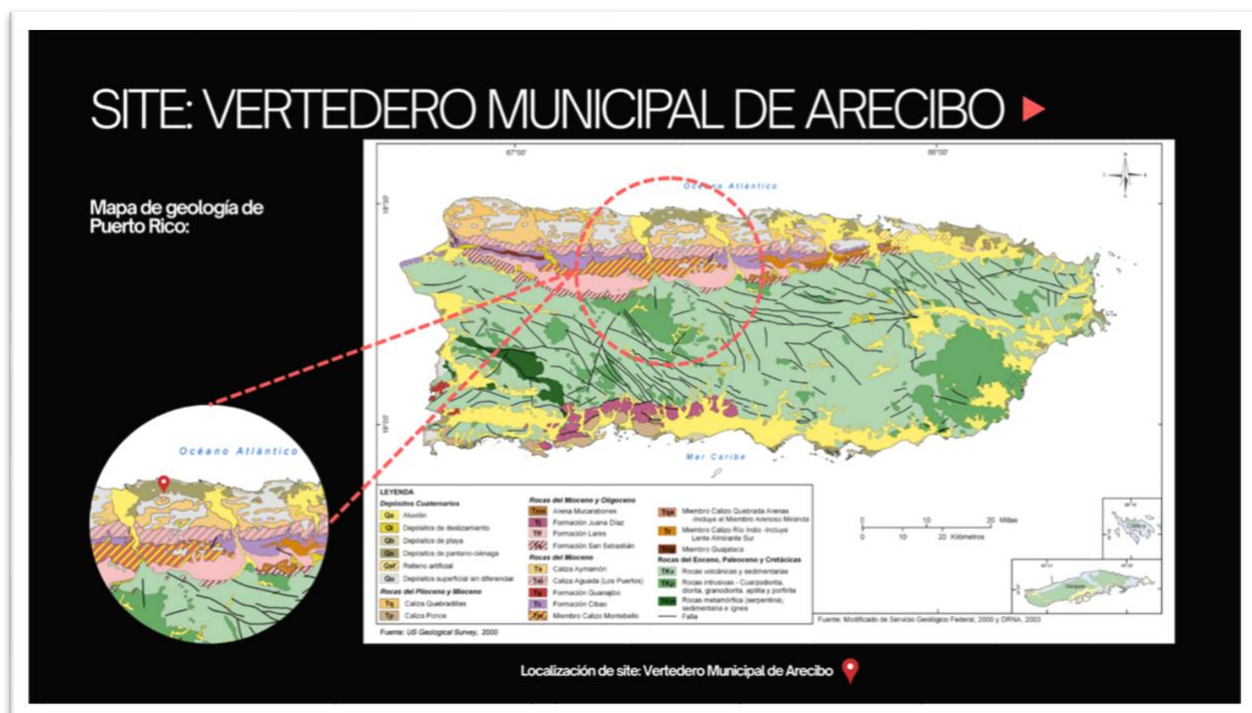
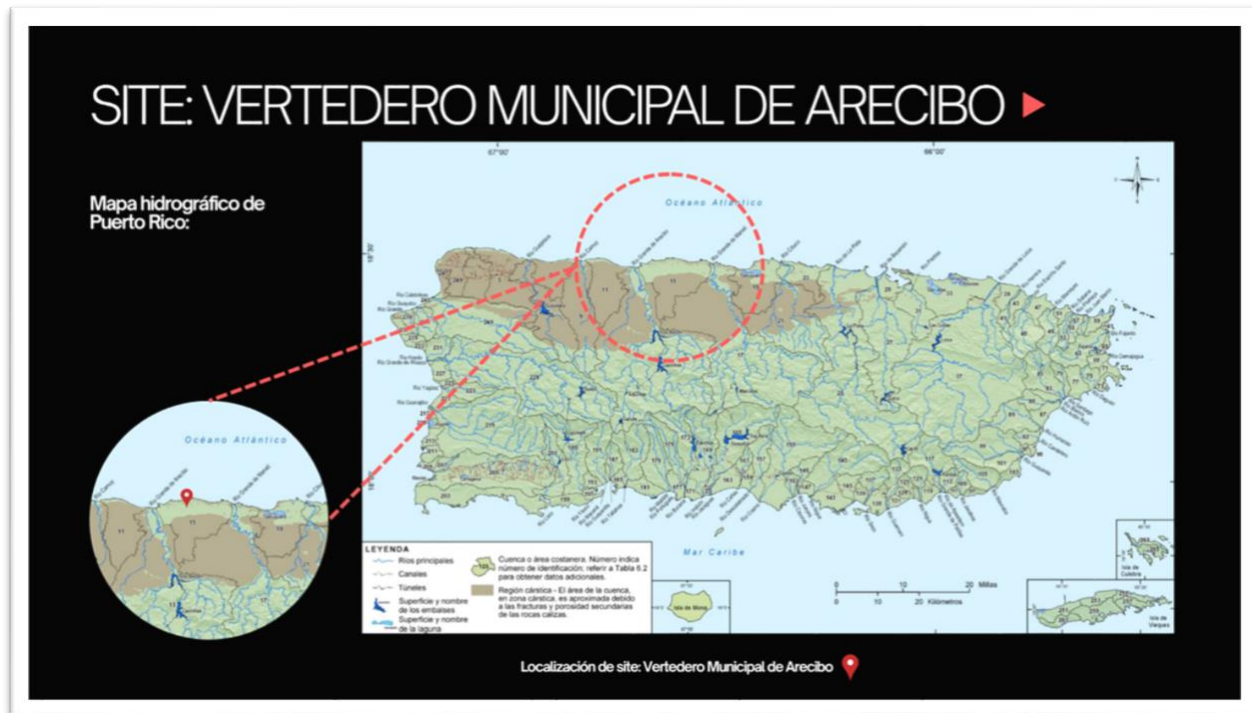
Mapa de localización de municipio de Arecibo y sus 19 barrios: Arecibo Pueblo, Arenalejos, Arrozal, Cambalache, Carreras, Domingo Ruiz, Dominguito, Esperanza, Factor, Garróchales, Hato Abajo, Hato Arriba, Hato Viejo, Islote, Miraflores, Río Arriba, Sabana Hoyos, Santana y Tanamá. El municipio de Arecibo es la municipalidad más grande de las Isla, mide aproximadamente 127mil millas cuadradas.

El terreno del municipio de Arecibo es mayormente llano, pero incluye áreas montañosas de la zona cársica con cuevas, sumideros y mogotes. Los bosques estatales de Río Abajo y Cambalache se extienden sobre distintas elevaciones, entre unos 15 a 424 metros sobre el nivel del mar. Contiene de los ríos importantes: el Río Grande de Arecibo, segundo en caudal de Puerto Rico y el Río Tanamá.



Línea de tiempo mostrando los acontecimientos más importantes del municipio de Arecibo. El municipio fue fundado en 1616 su nombre proviene del cacique Jamaica Aracibo, también se le llama "Villa del Capitán Correa", en honor a Antonio de los Reyes Correa, quien defendió Arecibo de un ataque inglés en 1702.

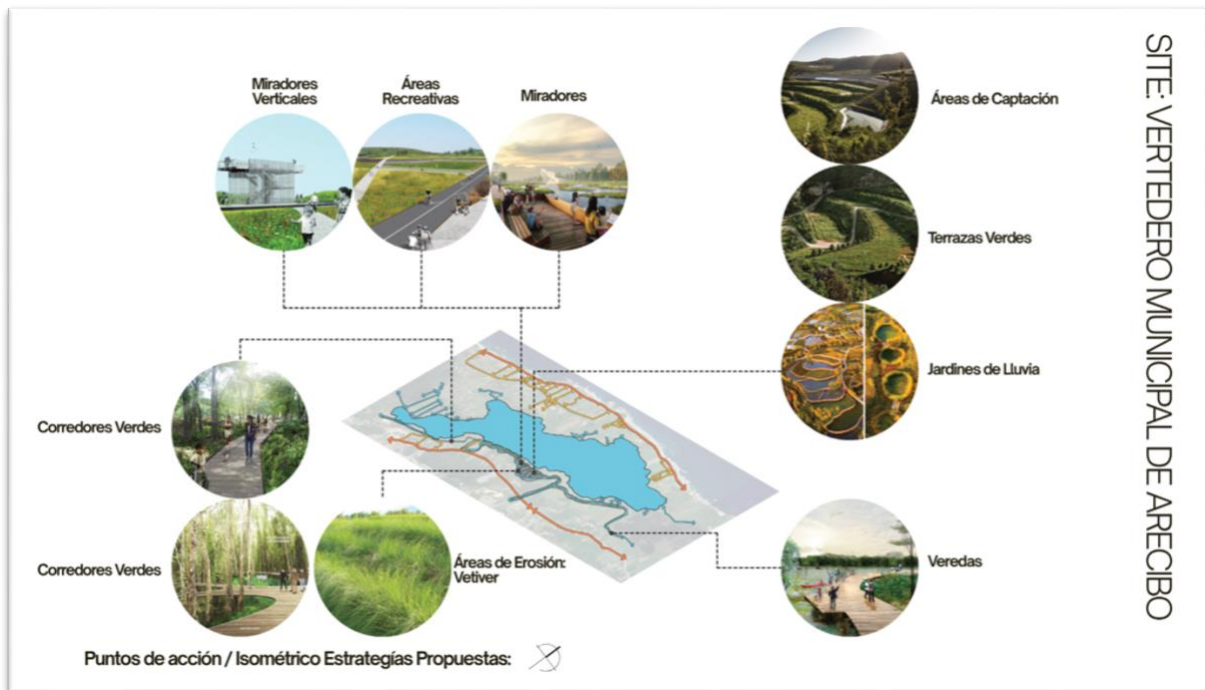




Mapa 1: mapa hidrográfico de puerto rico y acercamiento hacia el site donde se muestra los dos ríos principales de la zona: Río Grande de Arecibo y Río Grande de Manatí.

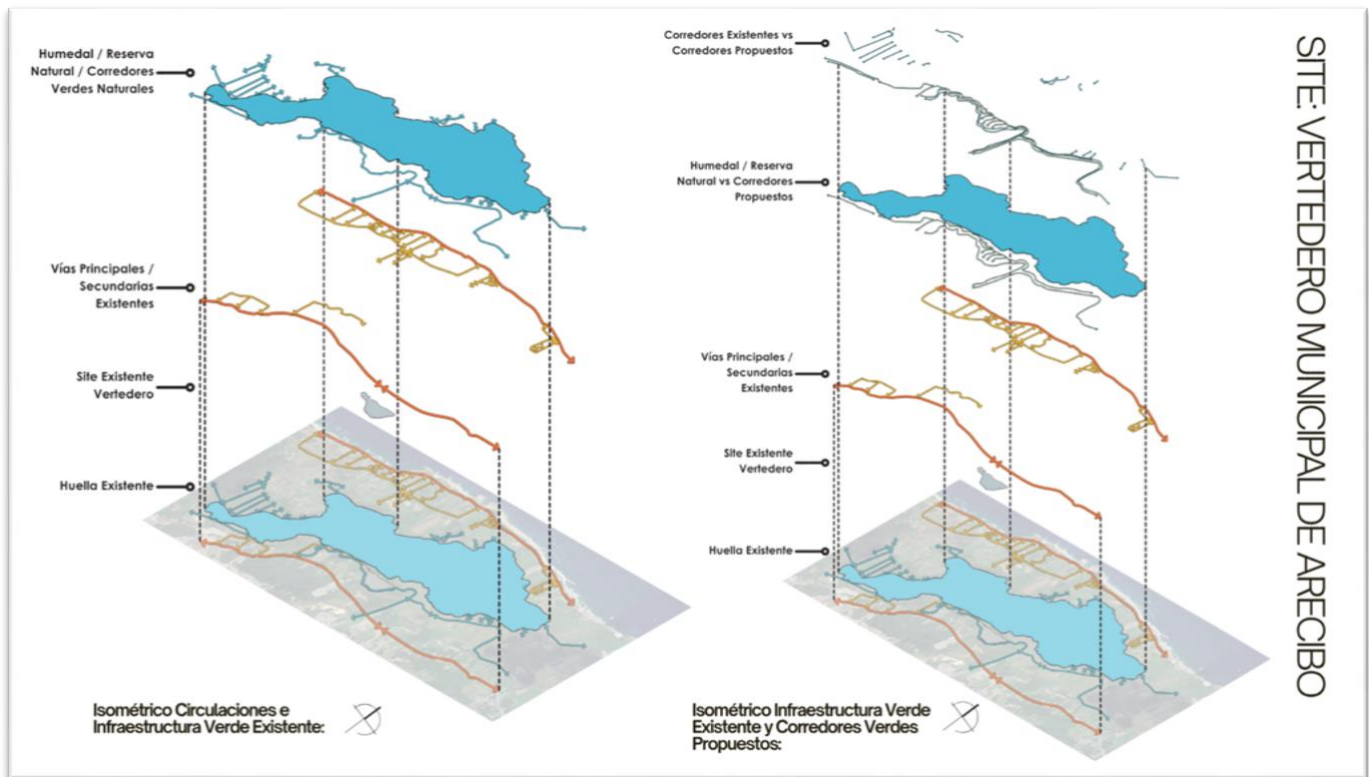


Diagrama de sombras y solsticios de la zona del vertedero municipal de Arecibo.



Isométrico mostrando las distintas estrategias propuestas para el site seleccionado, tomando en consideración los problemas y variables identificadas para

poder desarrollar una propuesta de arquitectura paisajista vinculada la restauración de terrenos contaminados por vertederos y restauración ecológica de la zona de la reserva natural Caño Tiburones.



Diagramas en isométricos explotados mostrando las circulaciones vehiculares y peatonales de la zona junto a la infraestructura verde existente. Se muestran las distintas infraestructuras a través de capas para tener un mejor conocimiento y entendimiento de cómo se componen y se comunican entre ellas.

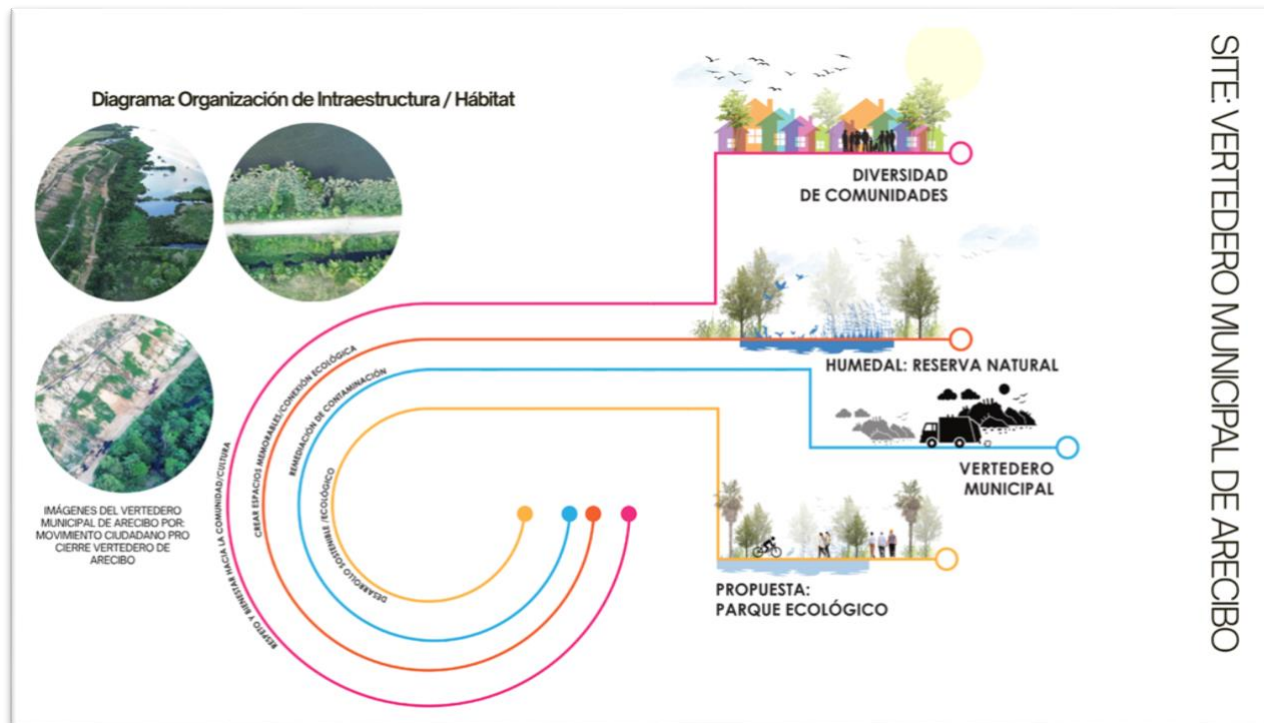


Diagrama 1: muestra la organización / hábitat existente del predio para tener un mejor conocimiento y entendimiento como estas irán vinculadas con la propuesta de restauración. **Diagrama 2:** se muestra el problema de gestión de residuos sólidos a

través de una fragmentación de manera gráfica de cuantos residuos sólidos se generan diariamente en Puerto Rico por persona y luego como es distribuido en los vertederos. Además, se identifican las distintas zonificaciones en donde se localiza cada uno de los 29 vertederos de Puerto Rico, con círculos rojos se identifican las distintas categorías aplicables del vertedero municipal de Arecibo.



Diagrama 3: se muestra de manera grafica los distintos grupos de interés del predio del vertedero municipal de Arecibo; estos siendo: el municipio de Arecibo en primer lugar porque es el ente que necesita y maneja los residuos sólidos del municipio. En segundo lugar, las EPA debido a que el municipio no maneja de manera adecuada y segura los residuos, se ha producido contaminación y riesgo. En tercer lugar, la comunidad ya que el predio tiene comunidades cercanas y se han visto afectadas por la falta de manejo de residuos adecuada. El Departamento de Recursos Naturales entra en

cuarto lugar ya que ellos son la entidad que vela por los recursos naturales del país, en este caso siendo principalmente la reserva natural Caño Tiburones. Finalmente, el último grupo de interés son los visitantes o turistas que frecuentan este lugar; ya que son quienes visitan y perciben directamente la situación.

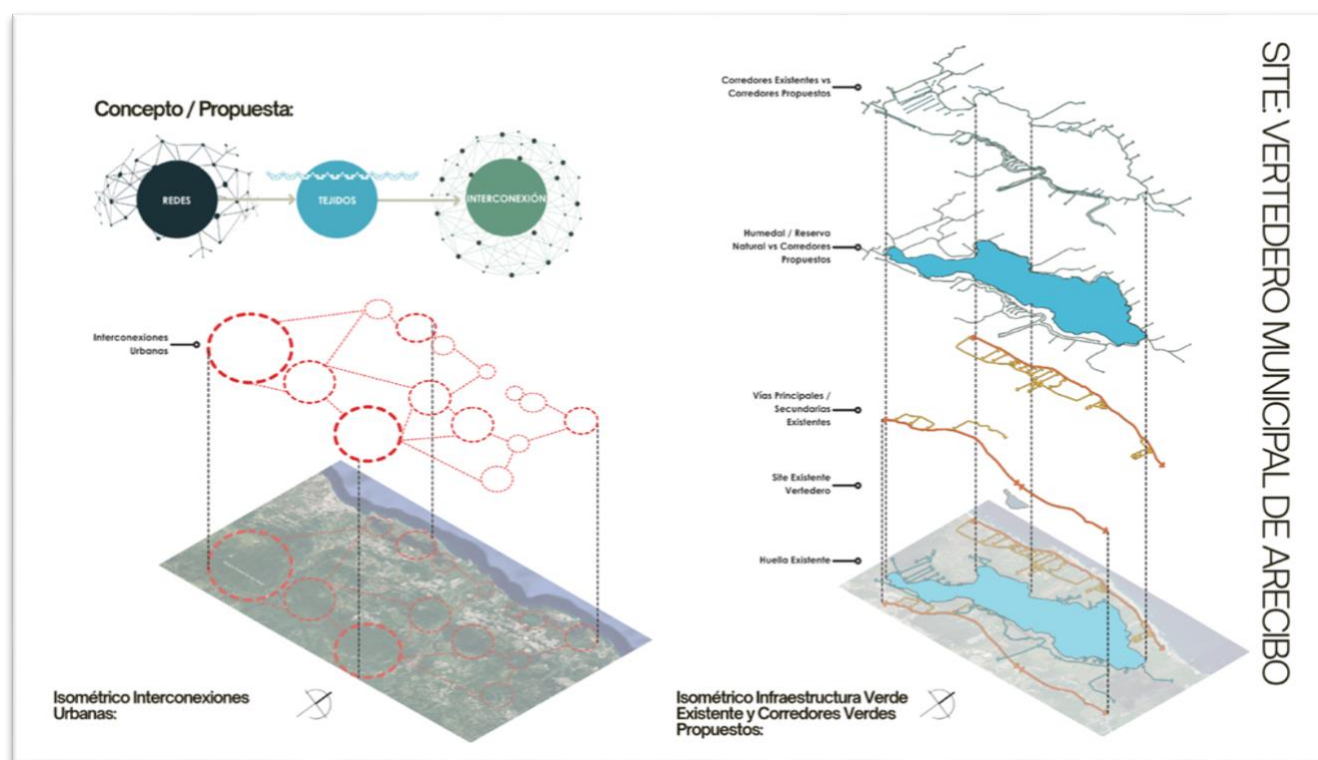


Diagrama 4: se muestra a través de isométricos el concepto y esquemático de la propuesta de diseño paisajista para el predio del vertedero municipal de Arecibo. En la parte superior se fragmenta la palabra “redes” a través de sus sinónimos y significado, para llegar a la palabra del concepto a utilizar; interconexión. Se muestra un isométrico identificando con círculos entrecortados las distintas áreas mayoritarias de corredores verdes, bosques y humedales al rededor de la zona del predio a una escala regional; los mismos se marcan interconectado a través de sus veredas o acuíferos. De esta manera se puede entender a una escala regional como las distintas reservas naturales se pueden

percibir de cierta manera como archipiélagos que casi que cada uno es independiente de sí mismo, pero al interconectarlo funcionan como unas redes que se entrelazan y comunican.

Al tener esto de perspectiva se puede lograr diseñar un plan maestro de restauración ecológica de la reserva natural Caño Tiburones y darle una segunda vida a este emplazamiento tan afectado. La propuesta intenta restaurar los terrenos del antiguo vertedero municipal de Arecibo a través de la creación de terrazas con plantas que filtren el terreno a través de la ecotecnología de fitorremediación y crear este lugar en un parque ecológico de la zona norte de Puerto Rico; convirtiéndose en un proyecto prototipo para replicarlo a lo largo de Isla a los vertederos más afectados.

XV. Concepto / Metáfora:

Tejiendo el paisaje sobre las ruinas

La restauración del paisaje se entiende como un acto de tejido: entrelazar lo que fue fragmentado como: la ecología, la memoria y la comunidad; para construir un nuevo sistema vivo. Las ruinas, en este sentido, son testigos de nuestros errores colectivos: residuos de una relación desequilibrada con la naturaleza, pero también puntos de partida para imaginar una convivencia distinta. En lugar de negar el pasado, la restauración crítica lo incorpora y lo entrelaza como memoria viva. Cada capa de suelo contaminado, cada estructura abandonada, nos recuerda la urgencia de repensar cómo habitamos y producimos los paisajes.

Tejer el paisaje es también tejer la comunidad. Supone incluir las voces locales, los saberes tradicionales y las emociones que el territorio despierta. La restauración del paisaje, entonces, deja de ser una imposición externa para convertirse en un proceso de co-creación, donde la naturaleza y las personas vuelven a encontrarse en un mismo tejido de reciprocidad. Así, el paisaje restaurado no pretende borrar la ruina, sino transformarla en raíz: un lugar donde la memoria se entrelaza con la esperanza, y donde el acto de reparar se convierte en una forma de justicia ecológica y social.

XVI. Conclusión:

La situación crítica de los vertederos en Puerto Rico evidencia la urgente necesidad de replantear la gestión de residuos desde una perspectiva ecológica, territorial y social. Décadas de prácticas inadecuadas y el lento cumplimiento regulatorio han generado una red de espacios degradados que amenazan tanto la salud pública como los ecosistemas insulares. Ante este escenario, la arquitectura paisajista emerge como una disciplina clave para articular soluciones integrales que trascienden el enfoque meramente técnico de cierre y mitigación. A través de estrategias como la fitorremediación, los humedales construidos, los recubrimientos vegetales y la infraestructura verde-azul, se pueden transformar los vertederos en paisajes regenerativos capaces de absorber contaminantes, restaurar suelos y reactivar la biodiversidad local. Estas acciones no solo responden a la crisis ambiental, sino que también revalorizan el territorio y promueven la educación ambiental y la resiliencia comunitaria.

En este contexto, la propuesta presentada busca demostrar cómo una visión de restauración paisajista puede operar a múltiples escalas, desde la ecológica hasta la cultural. Se muestra un isométrico identificando con círculos entrecortados las distintas áreas mayoritarias de corredores verdes, bosques y humedales que rodean la zona del predio a una escala regional; estos sistemas naturales se interconectan mediante veredas, corredores ecológicos y acuíferos, revelando una red biológica latente en el territorio. De esta manera, se comprende cómo las reservas naturales cercanas pueden percibirse como archipiélagos ecológicos, cada uno con su autonomía, pero que al ser conectados funcionan como un entramado resiliente de vida y regeneración.

Bajo esta lectura territorial, se plantea el diseño de un plan maestro de restauración ecológica de la Reserva Natural Caño Tiburones, que permita darle una segunda vida al emplazamiento del antiguo vertedero municipal de Arecibo. La intervención propone la creación de terrazas con vegetación a través de la fitorremediación que filtren y regeneren el terreno mediante ecotecnologías, transformando el área en un parque ecológico para la zona norte de Puerto Rico. Este proyecto, concebido como un prototipo replicable, busca servir de modelo para la restauración progresiva de los vertederos más afectados a lo largo de la isla.

La propuesta de restauración paisajista se concibe, así, como una oportunidad para reconectar la ecología con la sociedad, integrando el manejo de residuos a un sistema vivo de regeneración ambiental y cultural. En lugar de ver los vertederos como espacios de exclusión, pueden convertirse en nuevos nodos de interconexión ecológica, productiva y educativa, que demuestren el potencial del diseño del paisaje como herramienta de sanación territorial. En definitiva, la restauración paisajista de los vertederos en Puerto Rico no solo representa una respuesta técnica al problema ambiental, sino un acto de reparación ecológica y social, donde el paisaje se convierte en un catalizador de cambio, resiliencia y sostenibilidad para las generaciones futuras. Al tejer conexiones entre ecosistemas, comunidades y saberes, esta visión promueve un nuevo paradigma de diseño: uno en el que el paisaje no se restaura únicamente, sino que renace, devolviendo vida, equilibrio y esperanza al territorio.

XVII. Bibliografía:

- “Buscan Garantizar Vida Útil Del Único Vertedero En Vieques.” *Metro Puerto Rico*, Metro Puerto Rico, 22 Feb. 2022, www.metro.pr/noticias/2022/02/22/buscan-garantizar-vida-util-del-unico-vertedero-en-vieques/.
- “Problemas Con Los Vertederos de Puerto Rico: Todo Lo Que Necesita Saber.” *EcoRich*, www.ecorichenv.com/es/article/puerto-rico-landfill-problems.
- *EPA’s Work to Address Puerto Rico Landfills September ...*, www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/puerto_rico_landfills_fact_sheet_final_0.pdf.
- “Cerrarán Más de La Mitad de Los Vertederos En La Isla Para El 2022.” *WIPR*, 9 July 2019, wipr.pr/cerraran-mas-de-la-mitad-de-los-vertederos-en-la-isla-para-el-2022/.
- “En El Olvido El Reciclaje En Puerto Rico.” *Primera Hora*, www.primerahora.com/noticias/gobierno-politica/notas/en-el-olvido-el-reciclaje-en-puerto-rico/.
- Bigio, Aniel. “28 Jun Agencias Ambientales y CSP Realizan Operativo de Vertederos Clandestinos.” *DRNA*, 28 June 1970, www.drna.pr.gov/noticias/agencias-ambientales-y-csp-realizan-operativo-de-vertederos-clandestinos/.
- *EPA*, Environmental Protection Agency, www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials.
- “PFAS Explained.” *EPA*, Environmental Protection Agency, www.epa.gov/pfas/pfas-explained.

- “Desperdicios Sólidos: Puerto Rico: Revista Ambiental Corriente Verde.” *INICIO | Revista Ambiental Corriente Verde*, www.corrienteverde.com/reciclaje/el-reciclaje-en-pr-llegaremos-algun-dia-al-35.
- Geosoluciones. “Capping: La Bioingeniería al Servicio de La Gestión Ambiental.” *GeoSoluciones*, GeoSoluciones, 11 July 2024, www.geosoluciones.com.ar/blog/post/capping-la-bioingenier%C3%ADa-al-servicio-de-la-gesti%C3%B3n-ambiental.
- “Reconnaissance of Six Solid-Waste Disposal Sites in Puerto Rico and Effects on Water Quality.” *USGS*, www.usgs.gov/publications/reconnaissance-six-solid-waste-disposal-sites-puerto-rico-and-effects-water-quality?utm_source=chatgpt.com.
- *GFX Es Solid Waste Management in Puerto Rico*, www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/gfx-es-solid-waste-management-in-puerto-rico.pdf.
- León, Por Gerardo E. Alvarado, et al. “Johnny Méndez Crea ‘Task Force’ Que Desarrollaría Legislación Para Lidar Con El Cierre de Vertederos.” *El Nuevo Día*, www.elnuevodia.com/noticias/legislatura/notas/johnny-mendez-crea-task-force-que-desarrollaria-legislacion-para-lidiar-con-el-cierre-de-vertederos/.
- “El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales Apunta Al Cierre de Vertederos.” *Para La Naturaleza*, archivo.paralanaturaleza.org/el-departamento-de-recursos-naturales-y-ambientales-apunta-al-cierre-de-vertederos/.
- Opinión Punto de vista María E. Ocasio Torres, and María E. Ocasio Torres. “Opinión: ¿A Qué Se Debe La Crisis de Los Vertederos En Puerto Rico?” *El Nuevo*

Día, www.elnuevodia.com/opinion/punto-de-vista/a-que-se-debe-la-crisis-de-los-vertederos-en-puerto-rico/.

- “Las Capas Del Vertedero.” *Freshkills Park*, freshkillspark.org/capas-del-vertedero.
- “¿Qué Es La Fitorremediación?” *Phy2sudoe*, 19 Jan. 2017, www.phy2sudoe.eu/el-proyecto/que-es-la-fitorremediacion/.
- Cortiz. “26 Jul Informe Del Inventario de Gases de Efecto de Invernadero 2019 y 2021 de Puerto Rico.” *DRNA*, 26 July 1970, www.drna.pr.gov/noticias/inventario-gei-2019-2021/.
- Cortés, Israel López de Victoria. “17 Sep Manejo de Residuos.” *DRNA*, 17 Sept. 1970, www.drna.pr.gov/programas-y-proyectos/manejo-residuos/manejo-de-residuos/.
- Čierníková, Malvína, et al. “Functional Traits of Plant Species Suitable for Revegetation of Landfill Waste from Nickel Smelter.” *MDPI*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 12 Jan. 2021, www.mdpi.com/2076-3417/11/2/658.
- “Restauración Del Vertedero de La Vall d'en Joan, El Garraf - Batlleiroig .” *Arquitectura Viva*, *Arquitectura Viva*, 15 Dec. 2020, arquitecturaviva.com/obras/restauracion-del-vertedero-de-la-vall-den-joan.
- Brezar, Zas. “Landscape Restoration of the Garraf Controlled Waste Landfill in Barcelona by Batlleiroig – Landscape Architecture Platform.” *Landezine*, *Landscape Architecture Platform* | *Landezine*, 11 July 2023, landezine.com/landscape-restoration-of-landfill-in-vall-den-joan-by-batlleiroig/.

- Brezar, Zas. "The Hiriya Landfill by Latz+partner – Landscape Architecture Platform." Landezine, Landscape Architecture Platform | Landezine, 29 Mar. 2023, landezine.com/the-hiriya-landfill-by-latzpartner/.
- "Latz+partner." The Hiriya Landfill, Tel Aviv, IL, www.latzundpartner.de/en/projekte/postindustrielle-landschaften/hiriya-tel-aviv-il/.
- "Chaobai River Basin Regeneration Plan." Sasaki, www.sasaki.com/projects/chaobai-river-basin-regeneration-plan/.
- Dr.A.J.Marsh. PD: 3d Sun-Path, andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html.