

## **Indicadores de sustentabilidad ambiental en el diseño arquitectónico paisajístico. Cuantificación de su incidencia en proyectos de grado**

**Germán Baigorri**

german.baigorri@unc.edu.ar

**Pablo Carballo**

pablocarballo@unc.edu.ar

**Paola Trettel**

ptrettel@unc.edu.ar

**Fabián Alberto Tolosa**

fabian.tolosa@unc.edu.ar

**Griselda Lorenzo**

griselda.lorenzo@unc.edu.ar

**Edgar Emanuel Ermoli**

edgarermoli@unc.edu.ar

**Fernando Rodrigo Matos**

fernando.matos@unc.edu.ar

**Facundo González Martínez**

facundogonzalezmartinez@unc.edu.ar

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño  
Universidad Nacional de Córdoba

Fecha de recepción: 23/09/2024 Fecha de aceptación: 22/10/2024

### **Resumen**

Desde la Cátedra Arquitectura Paisajista “B” (APB) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba (FAUD-UNC) venimos trabajando desde el año 2010 en proyectos de investigación en relación a la sustentabilidad urbana abordada mediante la aplicación de indicadores.

A partir del estudio de indicadores de sustentabilidad ambiental aplicables al Espacio Abierto Urbano Público comenzamos a vincular los conocimientos desarrollados por el equipo de investigación con la praxis docente trabajando en ejercicios de diseño con los estudiantes en la Cátedra, entendiendo estas prácticas como un continuo sinérgico y en constante retroalimentación que incorpora un nuevo cuerpo teórico al proyecto y genera nuevas alternativas de diseño mediante la investigación proyectual.

Desarrollamos un instrumento que denominamos “Matriz Proyectual” donde aplicamos una selección de indicadores de sustentabilidad en relación a la variable “Habitabilidad del espacio abierto urbano”: Tipo de coberturas, Permeabilidad del suelo, Forestación del espacio público urbano.

La implementación de la matriz proyectual durante el proceso de proyecto académico junto a los estudiantes, permitió establecer comparaciones objetivables entre las diferentes propuestas, superponiendo los gráficos y datos numéricos de cada indicador, fomentando la reflexión de cada equipo, respecto a la transformación ambiental que su propuesta está generando al sector de estudio.

La cuantificación de las diversas variables que expusieron los indicadores propuestos en la matriz proyectual constituyó un instrumento muy importante para la toma de decisiones en el proceso proyectual. Los indicadores permitieron verificar los aportes ambientales específicos que el proyecto genera, así como también detectar a tiempo las falencias que algunas acciones tuvieron. Finalmente, la implementación de la matriz proyectual resguardó un mayor potencial: la generación de un alto nivel de conciencia en los futuros profesionales que se afianza y consolida desde sus primeras acciones sustentables, ensayando en taller mediante mediciones reales a modo de laboratorio y con rigor científico.

Palabras Clave: Indicadores, Sustentabilidad, Paisaje, Ambiente, Espacio Público

## **Abstract**

*Since 2010, the Landscape Architecture Department "B" (APB) of the Faculty of Architecture, Urbanism, and Design at the National University of Córdoba (FAUD-UNC) has been working on research projects related to urban sustainability through the application of indicators.*

*By studying environmental sustainability indicators applicable to Public Urban Open Space, we began to integrate the knowledge developed by the research team with our teaching practice. This was done through design exercises with students in the department, understanding these practices as a continuous, synergistic, and constantly feedback-driven process. This process incorporates a new theoretical framework into the project and generates new design alternatives through project-based research.*

*We developed a tool called the "Project Matrix," where we apply a selection of sustainability indicators related to the variable "Habitability of Urban Open Spaces": Types of coverage, Soil permeability, Urban public space afforestation. The implementation of this project matrix during the academic project process with students allowed for objective comparisons between different proposals by overlaying graphs and numerical data for each indicator. This fostered reflection among each team on the environmental transformation their proposal was generating in the study area.*

*The quantification of various variables exposed by the indicators in the project matrix became an essential tool for decision-making during the design process. The indicators enabled the verification of specific environmental contributions generated by the project, as well as the timely detection of shortcomings in certain actions. Ultimately, the implementation of the project matrix revealed its greatest potential: fostering a high level of awareness among future professionals, which is strengthened and consolidated from their first sustainable actions. This is practiced in the studio through real measurements, acting as a laboratory with scientific rigor.*

*Keywords: Indicators, Sustainability, Landscape, Environment, Public Space*

## **Introducción**

Desde el año 2010 el equipo de investigación de la Cátedra Arquitectura Paisajista "B" de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba (FAUD-UNC) ha enfocado sus estudios en relación a la sostenibilidad urbana abordada mediante la aplicación de indicadores.

Durante los tres bienios iniciales se trabajó sobre el análisis de situaciones urbanas existentes. Estas etapas permitieron al equipo de investigación aproximarse al concepto de sostenibilidad, trabajando con indicadores relacionados a la Estructura Morfológica, Habitabilidad y Confort Urbano (2010-2011), el Estudio Fenomenológico del Paisaje desde los aspectos morfogenéticos y de calidad y cualidad visual (2012-2013) y realizar ejercicios de Modelización de su Espacio y Paisaje Urbano (2014-2015). Las tres etapas de investigación mencionadas permitieron la conformación de un corpus teórico, y una aproximación secuencial a diferentes metodologías de análisis.

Durante las investigaciones siguientes de los bienios 2016-2017 y 2018-2019, se propuso retomar los indicadores de Estructura Morfológica, Habitabilidad y Confort urbano, además de las variables ecológicas y fenomenológicas del paisaje investigadas previamente, aplicándolos en los ejercicios académicos proyectuales realizados por los alumnos en el marco de la Cátedra, sometiéndolos a una relectura bajo el concepto de sustentabilidad urbana, trasladando el cuerpo de conocimientos y los criterios técnicos y prácticos (índices) a la enseñanza docente sobre la práctica de proyecto del Espacio Abierto Urbano Público (EAUP).

En el periodo 2020/2022 se planteó una evolución de carácter metodológico e instrumental, definiendo una matriz conceptual y operativa basada en indicadores ambientales y de confort urbano que opera como instrumento de medición y revisión de los ejercicios proyectuales, definida como "Matriz Proyectual". Dicha matriz permite al equipo de investigación transferir a la práctica académica de grado los conceptos trabajados, logrando la cuantificación de aportes e impactos de los ejercicios proyectuales de la cátedra bajo

el concepto de sustentabilidad urbana, posibilitando paralelamente la medición, cuantificación y análisis por parte de docentes y alumnos del impacto de las propuestas sobre el EAUP.

El objetivo fundamental del trabajo es lograr el reconocimiento de las variables ambientales de mayor incidencia en la proyectualidad del EAUP mediante generación de un instrumento de medición/cuantificación, permitiendo a docentes y estudiantes mensurar desde la lógica ambiental los ejercicios académicos del grado (matriz proyectual), haciendo transferencia de esos conocimientos a la docencia (Cátedra APB – FAUD/UNC) para finalmente generar nuevos conocimientos disciplinares mediante la praxis proyectual. De esta manera, se propone la continuación de una sinergia investigativa-académica de conocimientos y prácticas proyectuales ejercitadas por los docentes investigadores y los estudiantes.

### Planteo del Problema General

En un mundo donde las ciudades continúan en constante expansión, los habitantes urbanos nos enfrentamos problemas ambientales cada vez más graves, resultado de la excesiva antropización del territorio y la reducción significativa de áreas naturales. Una de las problemáticas más comunes en los centros urbanos es el aumento de la temperatura, que provoca un fenómeno conocido como “isla de calor” (Carrieri et al., 2009:2). Este aspecto es de particular importancia en el contexto del calentamiento global en curso, que se agrava con la contaminación por gases y partículas nocivas. Si no se implementan estrategias efectivas para mitigar y adaptar las ciudades, estas se volverán en el futuro más pobladas, más calurosas y menos biodiversas. Por ello, es más urgente que nunca buscar una alineación entre los procesos naturales que sostienen el medio ambiente y los procesos de desarrollo urbano (Vera, 2021:13).

Por tales motivos, se coincide en la necesidad urgente de incrementar la superficie urbana de los espacios verdes públicos. El confort humano es un concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones del ambiente que lo rodea son las adecuadas para la actividad que desarrolla. Las áreas verdes (parques, plazas, ríos, bosques urbanos) representan una oportunidad para mitigar parcialmente estos efectos, desde el punto de vista ambiental funcionan como mitigadores del fenómeno de la isla de calor al generar núcleos de enfriamiento dentro de la ciudad (Stocco et.al, 2013:26). Sin embargo, su impacto termodinámico a nivel ambiental desde el punto de vista del confort y calidad de vida humanos puede ser muy variable según como esté diseñado. En base al análisis y medición de ciertas variables mediante indicadores de sustentabilidad este trabajo pretende establecer un instrumento de medición que permita calificar cuantitativamente el valor de un determinado Espacio Abierto Urbano Público como cualificador ambiental.

Diversos estudios han avanzado en el desarrollo de instrumentos de medición e indicadores que permiten analizar, evaluar y planificar nuestras ciudades desde una perspectiva sustentable. En España, se destaca el “Plan de indicadores de sostenibilidad para la ciudad de Vitoria-Gasteiz” (Agencia D'Ecología Urbana de Barcelona, 2010), donde se desarrollaron múltiples indicadores específicos: Ocupación del suelo, Espacio público y Habitabilidad, Movilidad y Servicios, Complejidad Urbana, Espacios Verdes y Biodiversidad Urbana, entre otros. Este plan de indicadores permitió al ayuntamiento obtener un diagnóstico de la situación inicial de la ciudad y planificar escenarios futuros mediante acciones que transformarán la vida urbana y mejorarán la sustentabilidad ambiental. Las transformaciones implementadas por el Ayuntamiento resultaron en una mejora de la calidad de vida urbana, lo que le valió reconocimientos a nivel global, como el premio de “Capital Verde Europea” en 2012<sup>1</sup>, otorgado por la Comisión Europea, y el galardón “Global Green City 2019”<sup>2</sup>.

Muchos de los conceptos base que constituyen estos indicadores tienen su origen en el Libro Verde de Medio Ambiente Urbano, donde se recomienda “reducir el sellado y la impermeabilización del suelo” entendiendo que la producción de ciudad lleva consigo el sellado y la impermeabilización de buena parte del territorio que se urbaniza. “Esto supone restringir de manera drástica la posibilidad de vida vegetada y, sin

<sup>1</sup> “EU Green Capital Award 2012”. La iniciativa fue lanzada por la Comisión Europea en 2008, quien estableció un premio para reconocer a las ciudades que están liderando el camino con una vida urbana respetuosa con el medio ambiente. El premio se otorga a una ciudad que destaque por tener un historial coherente de cumplimiento de las normas medioambientales; que se comprometa a plantear objetivos ambiciosos para la mejora del medio ambiente y que pueda actuar como modelo, inspirando a otras ciudades y promoviendo buenas prácticas.  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/urban-environment/european-green-capital-award\\_en?prefLang=es](https://environment.ec.europa.eu/topics/urban-environment/european-green-capital-award_en?prefLang=es)

<sup>2</sup> Reconocimiento otorgado por la organización “Global Forum on Human Settlements”, respaldada por Naciones Unidas.  
<https://www.gfhsforum.org/SCAHS-2019>

ella, la de multitud de organismos dependientes, aparte de consecuencias que tienen que ver con el microclima y el confort urbano, la isla de calor, el ciclo hídrico, la contaminación atmosférica, etc.” (Rueda Palenzuela, 2007). También se recomienda para la gestión de una ciudad sustentable la promoción de la biodiversidad urbana y naturalización de la ciudad, promoviendo más superficies verdes y mayor cantidad y calidad del arbolado público.

Estos trabajos y publicaciones constituyeron la base del “Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas” publicado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España en 2011, donde se profundizan indicadores en relación a la cobertura de suelos, arbolado, permeabilidad del suelo, biodiversidad y que encuentran relación directa con algunas de las mediciones realizadas en el presente estudio.

En nuestro contexto local, se han desarrollado indicadores urbanos de sustentabilidad en estudios e investigaciones para ciudades como San Juan (Nacif, 2016) donde se desarrollaron indicadores en Espacio Público y Habitabilidad, Riesgos Ambientales, Verde Urbano y Metabolismo Urbano, entre otro. Así mismo, se han creado indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes en Tandil, Provincia de Buenos Aires (García, 2006). En este caso, se desarrollaron indicadores basados en: Superficie Cubierta por Vegetación (relación superficie cubierta/ impermeabilizada), Funciones Ecológicas (amortiguación de ruidos, captación de CO<sub>2</sub> y amortiguación de temperatura), Vulnerabilidad Natural (vulnerabilidad del subsistema natural del parque), Gestión integral del parque, entre otras. De carácter más específico al arbolado urbano, Arboit (2013) estudió la “Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina”, determinando la influencia del arbolado urbano, público o privado, sobre el potencial solar de los entornos urbanos. Por su parte, Stocco, Cantón y Correa (2013) estudiaron la eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, evaluando las condiciones térmicas de verano y extrayendo conclusiones sobre las consecuencias de las decisiones de diseño sobre el comportamiento térmico y la eficiencia ambiental de estos espacios verdes.

Finalmente, el estudio desarrollado en la Universidad Nacional de Cuyo por Carrieri y Codina et al. (2009) establece una “Propuesta de metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes mediante coeficientes ecofisiológicos”, donde se plantea la determinación del Coeficiente Ambiental de los tipos de superficies formadoras de espacios verdes, constituyendo un instrumento de medición adaptado a cualquier localización geográfica de Argentina. El estudio plantea la metodología de construcción del Coeficiente Ambiental de un espacio verde determinado con relación al estudio de sus coberturas: “Un espacio verde público típico es una superficie heterogénea, constituida por un mosaico de distintos tipos de superficies. Cada una de estas superficies ofrece una influencia microclimática individual aportando, positiva o negativamente, una alícuota del valor ambiental del espacio verde completo. Es posible calcular, para cada superficie, cuánta energía radiante puede capturar en forma de calor latente y cuánta devuelve al ambiente en forma de calor sensible, como una forma de caracterizar su aporte.” (Carrieri et al., 2009). El estudio establece una metodología de aplicación en cualquier región, para calificar cuantitativamente el valor de los diferentes tipos de espacios verdes como modificadores ambientales, ya sean ejecutados o a nivel de proyecto.

### **Desarrollo de indicadores y matriz proyectual**

El desarrollo del estudio articula resultados y avances de la investigaciones anteriores con la praxis docente desarrollada con los estudiantes en la Cátedra APB, entendiendo estas prácticas como un continuo sinérgico y en constante retroalimentación que incorpora un nuevo cuerpo teórico al proyecto y genera nuevas alternativas de diseño mediante la investigación proyectual, instrumentando esta última a través de la aplicación de indicadores de sostenibilidad y confort urbano.

Para llevar a cabo esta investigación se plantearon 5 etapas:

- **Etapas 1 - Validación conceptual y operacional**
- **Etapas 2 - Validación empírica (sobre ejercicio de aprestamiento académico)**
- **Etapas 3 - Revisión y conclusiones de resultados parciales**

- **Etapa 4 - Verificación empírica (sobre proyecto anual de grado)**
- **Etapa 5 - Conclusiones sobre resultados obtenidos**

### **Etapa 1 - Validación conceptual y operacional.**

En la primera etapa se definieron los métodos e instrumentos para realizar y conducir la investigación. Se identificaron las variables de mayor impacto ambiental y ecológico en el EAUP en correlación con las prácticas proyectuales, seleccionando los indicadores más adecuados.

Se utilizaron los indicadores generados en la investigación correspondiente al bienio 2012-2013, en relación a la variable "Habitabilidad del espacio abierto urbano", referidos a:

- Forestación del espacio público urbano y comportamiento hídrico en el espacio urbano.
- Sombra proyectada estándar
- Densidad de sombra
- Albedos y evapotranspiración
- Generación de oxígeno diario por arbolado urbano
- Permeabilidad del suelo
- Tipo de coberturas (según Carrieri et al., 2009).

### **Etapa 2: Validación empírica (sobre ejercicio de aprestamiento académico).**

Esta etapa se realizó en el marco de la práctica docente en el taller proyecto de la Cátedra de Arquitectura Paisajista "B" (APB), concebido como un laboratorio de investigación proyectual, trabajando con los ejercicios de proyecto de los estudiantes, incorporando una matriz proyectual de carácter conceptual y operativa.

Para la configuración de dicha matriz, se definieron tres indicadores de habitabilidad del EAUP, en función de su potencialidad de aplicación y medición en las prácticas académicas del proyecto.

A continuación, se describen, detallando el procedimiento de implementación como instrumento de medición:

**1 - Indicador de tipo de coberturas:** Este indicador mide y clasifica las coberturas urbanas de un área determinada. Mediante la detección y diferenciación de los tipos de cobertura observados desde una foto aérea o imagen satelital, el indicador posibilita clasificar las siguientes superficies: presencia de agua, árboles, césped, suelo desnudo, suelo semi-consolidado, suelo consolidado, superficie construida, superficie construida reflectante. (Figura 1)

La clasificación de estas tipologías de coberturas tiene como objetivo determinar el valor del Coeficiente Ambiental Ponderado del área, resultante de la sumatoria de los valores individuales de las diferentes clases multiplicadas por su coeficiente ambiental típico (CA) calculado para la Ciudad de Córdoba (latitud 31°24', fecha 12 de diciembre, siendo ésta la fecha de máxima radiación). El Coeficiente Ambiental (CA) indica el porcentaje de radiación solar que es sustraída de su capacidad de aumentar la temperatura ambiente para el tipo de superficie considerada. Adoptará un valor de CA = 0 cuando  $Q_s = R_o$ , o sea que toda la radiación solar es transformada en calor y será CA = 1 en la situación ideal que  $Q_s = 0$ , es decir que toda la radiación solar es utilizada en evaporar agua y nada en emitir calor sensible (Carrieri et al., 2009).

**Figura 1: Tabla Coeficiente Ambiental Típico según tipo de coberturas. Gráfico de elaboración propia del Equipo APB.**

CLASE DETECTADA	COEFICIENTE AMBIENTAL TIPICO	
Agua	Sup. acuáticas al sol directo	<b>0,47</b>
Arboles	Cemento c/árboles grandes caducif.	<b>0,83</b>
Césped	Césped de Cynodon dactylon, al sol	<b>0,72</b>
Suelo Desnudo	Tierra seca, al sol directo	<b>0,22</b>
Suelo Consolidado	Cemento usado, al sol directo	<b>0,20</b>
Construido	Cemento usado, al sol directo	<b>0,20</b>
Construido Reflectante	Cuerpo negro ideal al sol directo	<b>0,00</b>

Fuente: Gráfico de elaboración propia del Equipo APB.

**Metodología de aplicación del indicador:** Sobre una imagen que represente la vista superior del sector de estudio (imagen satelital ó planimetría) se clasificaron las coberturas identificando cada una de ellas mediante la utilización de un patrón de colores inteligibles. El recorte sobre la imagen de base tomada en las muestras o los ejemplos para analizar, debía cubrir siempre la misma superficie para luego poder comparar los proyectos, cuantificando las superficies de cada tipo de cobertura en metros cuadrados y sus porcentajes en relación al total de la superficie en estudio. (Figura 2)

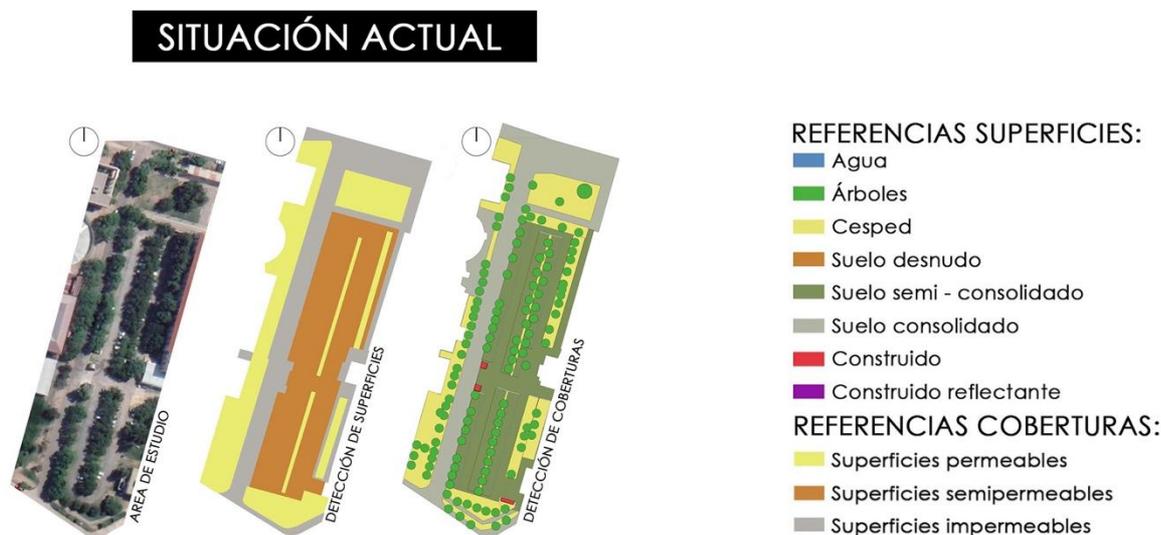
**2 - Indicador de permeabilidad del suelo:** Este indicador mide el grado de permeabilidad de las superficies, a las precipitaciones, en función de su materialidad, discriminándolas en: permeables, semi-permeables e impermeables. Las superficies permeables son aquellas que absorben o retienen en algún grado el agua de lluvia (suelo desnudo, césped, cubresuelos, granza, espejos de agua, cubiertas verdes); Las semi-permeables absorben o retienen un porcentaje del agua sin ser totalmente absorbentes (suelos compactados, cribados, adoquines, hormigones permeables, etc.); Las superficies impermeables son aquellas que no tienen capacidad de absorción o retención de aguas pluviales haciendo que escurran hacia otros sectores (hormigón, mosaicos, asfalto, cubiertas de edificios, etc.).

La clasificación de estas superficies sirve para considerar su comportamiento en relación a las precipitaciones para la ciudad de Córdoba, considerando que el promedio anual del período 1991-2020 es de 815 mm<sup>3</sup>, permitiendo cuantificar el nivel de retención o absorción del agua pluvial para cada caso.

**Metodología de aplicación del indicador:** Sobre un plano o imagen en planta (sección horizontal a 1,5 mts. de altura aproximadamente) se clasificaron las superficies según el tipo de permeabilidad del suelo incluyendo tanto sectores naturales como antropizados, mediante la utilización de un patrón de colores conformando una imagen rasterizada. El recorte sobre la imagen de base tomada en las muestras o los ejemplos para analizar, debía cubrir siempre la misma superficie para luego poder comparar los proyectos, cuantificando las superficies permeables, semi-permeables e impermeables en metros cuadrados y sus porcentajes en relación al total de la superficie en estudio. (Figura 2)

<sup>3</sup> Datos del Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climatológicas Normales - Período 1991-2020. <https://www.smn.gov.ar/estadisticas>

**Figura 2: Metodología de aplicación. Clasificación de superficies según indicadores “Tipo de Cobertura” y “Permeabilidad del Suelo”.**



Fuente: Gráfico de elaboración propia del Equipo APB.

**3 - Indicador de forestación:** Este indicador mide la cantidad de árboles en una determinada área. La matriz posibilita la clasificación de la forestación por su dimensión según la escala valorando sus aportes ambientales al proyecto mediante las siguientes variables:

**Sombra Proyectada Estándar:** mediante el método gráfico (CAD), se determinan los valores de sombras estándar en función de la forma y el tamaño del vegetal (altura y diámetro). El producto de este método es la superficie de sombra proyectada sobre la calle (vereda o calzada) y la sombra proyectada en las fachadas. La estandarización de esta información facilita el procesamiento y la obtención de valores, evitando calcular los valores para cada especie relevada.

**Densidad de Sombra:** Para su determinación se estableció un cuadro en función del tipo y la densidad del follaje y la época del año, asignando de manera empírica una ponderación del valor de la sombra (sólida) determinada en la tabla “sombras estándar perfil radiado” que definió zonas del perfil en sombra y zonas irradiadas directamente por el sol en el día y horario establecidos.

**Albedos y evapotranspiración:** Se obtuvieron con procedimientos matemáticos y conceptos fisiológicos sobre datos locales de irradiación solar y evapotranspiración de los distintos tipos de vegetación y datos bibliográficos de albedos de las superficies más utilizadas en los espacios públicos. (Carrieri et al., 2009).

**Generación de oxígeno diario:** Para la obtención de este indicador se consideraron los datos del libro “Arbolado Urbano. Implantación y cuidados de árboles para veredas” de (J. Lell, 2006) el cual especifica que un árbol mediano de aproximadamente 1.000m<sup>2</sup> de superficie foliar, aporta 1,50 Kg de oxígeno diario, lo cual es equivalente al oxígeno consumido por cinco personas al día.

**Fijación del dióxido de carbono:** La determinación de este indicador es similar al de “Generación de oxígeno por el arbolado urbano”, e igualmente fueron tenidos en cuenta los datos de J. Lell (2006) en el que se especifica que un árbol de porte mediano tiene la capacidad de fijar 0.04 toneladas de dióxido de carbono por año.

**Metodología de aplicación del indicador:** Con el objetivo de que los estudiantes pudieran desarrollar sus proyectos utilizando la matriz proyectual para verificar sus aportes ambientales y realizar ajustes y mejoras a partir de conclusiones empíricas de obtención simple y sencilla, en una primera experiencia se consideró la implementación de dos de las variables: Generación de oxígeno diario y fijación del dióxido de carbono, posibilitando a los estudiantes una cuantificación simple de cantidad de especies y escala.

Sobre una imagen que representa la vista superior del sector de estudio (imagen satelital o planimetría) se cuantificó la cantidad de árboles y se los ordenó en una tabla que los clasificó según su escala en tres categorías: 1º magnitud (grande), 2º magnitud (mediano), 3º magnitud (pequeño).

El recorte sobre la imagen de base tomada en las muestras o los ejemplos para analizar, debía cubrir siempre la misma superficie para luego poder comparar los proyectos, a partir del resultado de los valores de Generación de oxígeno y Fijación de dióxido de carbono. (Figura 3)

**Figura 3: Tabla de Medición de Forestación.**

## INDICADOR FORESTACIÓN

CUADRO DE REFERENCIA				Cons. diario de O2
Escala	Area foliar (m2)	O2 Diario (Kg O2)	O2 Anual (t O2)	Cant. Personas
1º Magnitud	2000	3	1.10	10
2º Magnitud	1000	1.5	0.55	5 (*)
3º Magnitud	500	0.75	0.27	2.5

(\*) Fuente: Libro "Arbolado Urbano. Implantación y cuidado de árboles para veredas". Juan Lell

Fuente: Elaboración propia del Equipo APB.

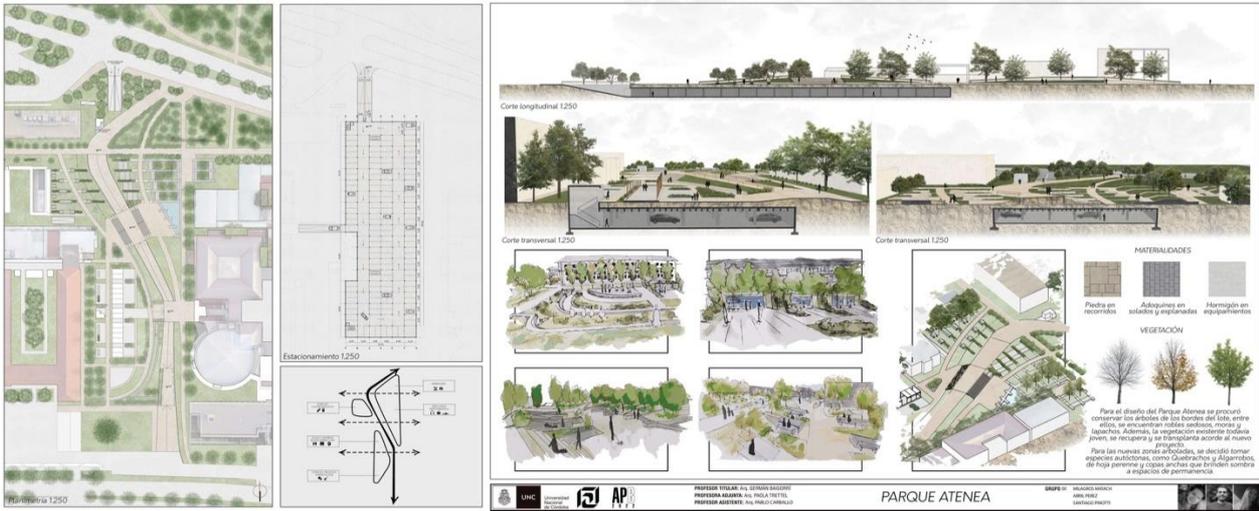
### Metodología de aplicación de Matriz Proyectual en trabajos académicos Ciclo 2022 Cátedra APB

La puesta en práctica de la matriz se realizó sobre dos ejercicios proyectuales que los estudiantes de la cátedra llevaron a cabo durante el ciclo 2022. En el primero, de corta duración (Ejercicio 1), se desarrolló una selección de trabajos para verificar y ensayar la matriz proyectual, obteniendo resultados empíricos y parciales de su aplicación. Posteriormente, se aplicó la matriz de indicadores en el trabajo anual de la cátedra (ejercicio 2), sobre la totalidad de los proyectos aplicando el instrumento ajustado y revisado por el equipo de investigación.

### Ejercicio 1 de aprestamiento (proyecto académico situado = insumo de la investigación proyectual)

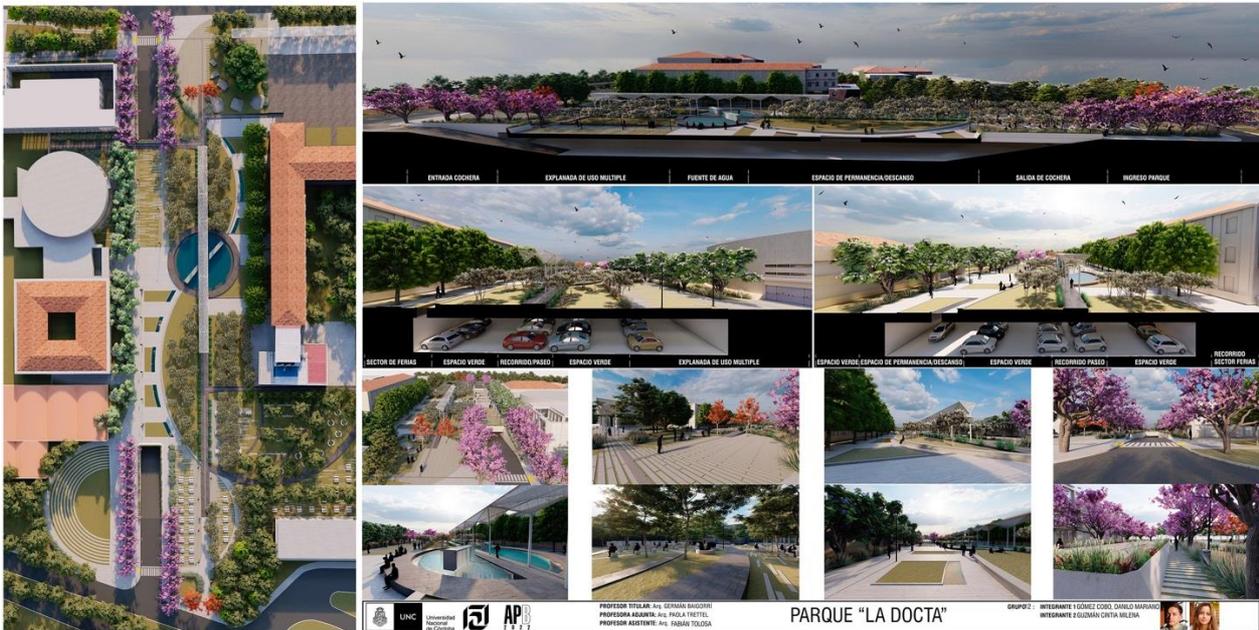
Entendiendo a la universidad como ámbito de la formación de futuros profesionales a partir de las prácticas proyectuales de grado y al proceso de investigación como generador de nuevos conocimientos se planteó generar una dinámica sinérgica constituyendo al proyecto arquitectónico paisajístico en un espacio de estudio, interacción y reflexión permanente. Este ejercicio se llevó a cabo por el equipo de investigación docente sobre trabajos seleccionados de la cátedra, que se realizaron en terrenos del campus de la Universidad Nacional de Córdoba, aplicando inicialmente la matriz proyectual, obteniendo resultados parciales que permitieron el ajuste de la misma, para ser aplicados en el ejercicio 2, de carácter anual. (Figura 4 y 5)

**Figura 4: Resultados proyectuales de alumnos de la Cátedra Transformando el sector de cocheras en un nuevo espacio público de Ciudad Universitaria.**



Fuente: Alumnos: Matach - Perez - Pinotti. Año 2022

**Figura 5: Resultados proyectuales de alumnos de la Cátedra Transformando el sector de cocheras en un nuevo espacio público de Ciudad Universitaria.**

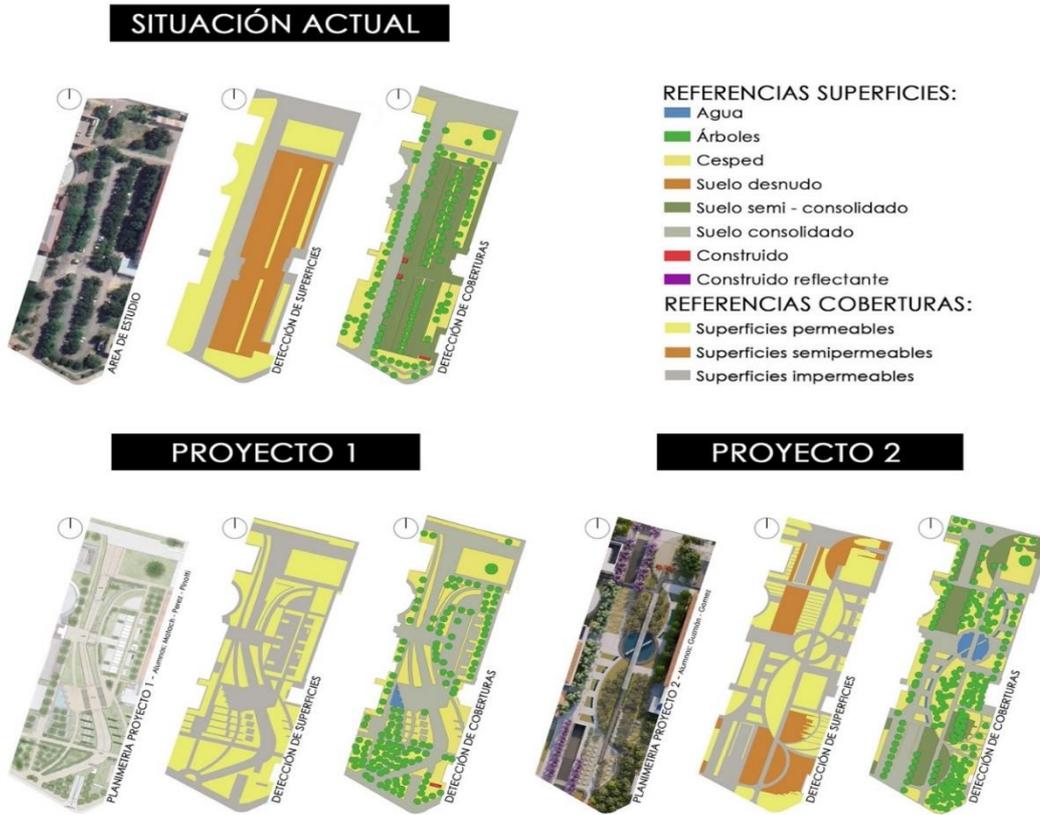


Fuente: Alumnos: Guzmán – Gómez Cobo. Año 2022.

**Etapas 3 - Revisión y conclusiones de resultados parciales.**

Sobre los trabajos seleccionados del ejercicio 1, se aplicaron los tres indicadores planteados de la MATRIZ PROYECTUAL (Tipo de Coberturas, Permeabilidad del Suelo y Forestación), se analizó y cuantificó la situación actual del predio intervenido, comparándolo con los resultados obtenidos por los proyectos. Los datos obtenidos se ingresaron a una tabla sintetizando los resultados, en cantidades numéricas, porcentuales y gráficos ilustrativos para su mejor comprensión. En esta etapa preliminar se verifica que la Matriz es un instrumento eficaz, que permite a docentes y alumnos evaluar comparativamente cada indicador mediante datos numéricos y gráficos, contrastando en términos objetivos y cuantificables si el proyecto desarrollado aporta una mejora ambiental a la situación original, al operar proyectualmente sobre las variables ambientales en estudio. (Figura 6,7,8 y 9)

**Figura 6: Cuantificación de superficies según indicadores de "Tipo de Cobertura" y "Permeabilidad del Suelo". Trabajos de estudiantes ejercicio proyectual año 2022.**

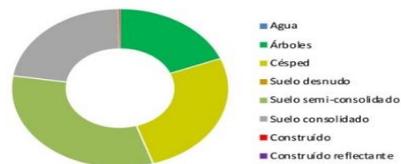


Fuente: Elaboración propia del Equipo APB.

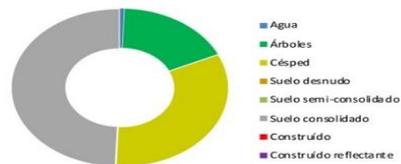
**Figura 7: Tabla de medición del indicador “Tipo de Coberturas” comparando datos del estado actual y de 2 proyectos testigo de alumnos.**

**INDICADOR  
TIPO DE COBERTURAS**

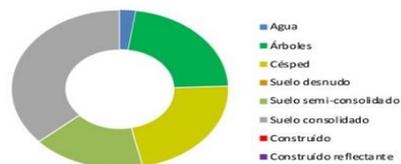
Situación actual:	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.35</b>	<b>100%</b>
Agua	0.00	0%
Árboles	2060.99	19%
Césped	2856.88	26%
Suelo desnudo	0.00	0%
Suelo semi-consolidado	3550.02	32%
Suelo consolidado	2437.46	22%
Construido	18.00	0%
Construido reflectante	0.00	0%



Proyecto 1	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.34</b>	<b>100%</b>
Agua	66.68	1%
Árboles	1910.18	17%
Césped	3553.78	33%
Suelo desnudo	0.00	0%
Suelo semi-consolidado	0.00	0%
Suelo consolidado	5392.70	49%
Construido	0.00	0%
Construido reflectante	0.00	0%



Proyecto 2	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.34</b>	<b>100%</b>
Agua	252.38	2%
Árboles	2412.86	22%
Césped	2428.23	22%
Suelo desnudo	0.00	0%
Suelo semi-consolidado	1833.71	17%
Suelo consolidado	3996.16	37%
Construido	0.00	0%
Construido reflectante	0.00	0%

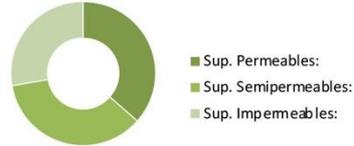


Fuente: Gráfico elaboración propia del Equipo APB.

Figura 8: Tabla de medición del indicador “Permeabilidad del Suelo” comparando datos del estado actual y de 2 proyectos testigo de alumnos.

**INDICADOR  
PERMEABILIDAD DEL SUELO**

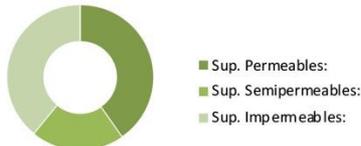
Situación actual:	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.36</b>	<b>100%</b>
Sup. Permeables:	3985.91	36%
Sup. Semipermeables:	3909.35	36%
Sup. Impermeables:	3028.10	28%



Proyecto 1	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.34</b>	<b>100%</b>
Sup. Permeables:	5092.40	47%
Sup. Semipermeables:	0.00	0%
Sup. Impermeables:	5830.94	53%



Proyecto 2	m2	%
<b>Sup. Total</b>	<b>10923.34</b>	<b>100%</b>
Sup. Permeables:	4402.82	40%
Sup. Semipermeables:	2248.42	21%
Sup. Impermeables:	4272.10	39%



Fuente: Gráfico elaboración propia del Equipo APB.

Figura 9: Tabla de medición de la cantidad de oxígeno de aporte al ambiente de la forestación en relación a su magnitud y área foliar. Indicador “Forestación”.

**DETERMINACIÓN DE O2 ANUAL - CANTIDAD DE PERSONAS ABASTECIDAS POR DIA**

**SITUACIÓN ACTUAL**

Escala	CANTIDAD
1º Magnitud	155
2º Magnitud	9
3º Magnitud	0



O2 Anual (ton. O2)
169.73
4.93
0.00



Cons. diario de O2 (Cant. Personas)
1550
45
0

**Proyecto 1**

Escala	CANTIDAD
1º Magnitud	48
2º Magnitud	65
3º Magnitud	28



O2 Anual (ton. O2)
52.56
35.59
7.67



Cons. diario de O2 (Cant. Personas)
480
325
70

**Proyecto 2**

Escala	CANTIDAD
1º Magnitud	150
2º Magnitud	88
3º Magnitud	0



O2 Anual (ton. O2)
164.25
48.18
0.00



Cons. diario de O2 (Cant. Personas)
1500
440
0

Fuente: Gráfico elaboración propia del Equipo APB.

## **Conclusiones sobre los resultados de los indicadores de la matriz proyectual**

### **1 - Indicador tipo de coberturas:**

Algunas variables se mantuvieron estables o disminuyeron (superficie de césped), debido al planteo de nuevos programas. En otros casos aumentaron considerablemente, (cobertura de árboles) resultado de las alternativas proyectuales planteadas. En los proyectos se distinguió un aumento de la superficie del suelo consolidado, situación que se debió principalmente a la incorporación de nuevos programas y usos en las propuestas de espacio público que implementaron los estudiantes, Este incremento representa un resultado negativo en el Coeficiente Ambiental (CA) resultante. En múltiples proyectos se incorporaron superficies de agua, lo cual también colaboró en el mejoramiento del Coeficiente Ambiental, en contraposición al estado actual donde se verificó la inexistencia de esta superficie.

### **2 - Indicador permeabilidad del suelo:**

Se verificó una mejora de esta variable al incrementar la cantidad de superficies permeables en las dos propuestas desarrolladas por los estudiantes en comparación con el estado actual del predio, con porcentajes que superaron el 60% en los nuevos proyectos. Sin embargo, los valores de las superficies impermeables se incrementaron debido a la incorporación de nuevos programas y usos que requieren solados consolidados y/o senderos de circulación peatonal, tal como se observó en el indicador tipo de coberturas.

Este indicador cumplió un rol importante en la toma de conciencia por parte de los estudiantes respecto a la resolución tecnológica de sus propuestas, incentivando la utilización de solados o superficies que tiendan a retener o retardar el agua de lluvia, evitando el rápido drenaje al sistema pluvial de la ciudad. La cuantificación y comparación de estos datos durante el proceso de desarrollo del proyecto permitió que cada equipo pueda tomar decisiones, retroalimentar sus propuestas y realizar los ajustes necesarios para mejorar los datos de este indicador y por consiguiente lograr mayores beneficios ambientales.

### **3 - Indicador de forestación:**

El sector de intervención cuenta con un buen número de vegetación, dispuestas predominantemente de forma ordenada, con una separación que obedece a la disposición de los vehículos. Dado que la premisa principal de este ejercicio de aprestamiento es proyectar el soterramiento de la cochera para liberar la actual playa de aparcamientos con el objetivo de ganar un mayor espacio público con nuevos usos y actividades, se habilitó la posibilidad de considerar su extracción y posterior reubicación de los árboles (moras híbridas), variedad exótica de rápido crecimiento utilizados en el espacio público por su escaso valor económico en el mercado.

La matriz posibilitó determinar la cantidad de árboles existentes. Como una variable cuantitativa a manejar determinando según su escala, la producción de oxígeno que estas especies aportan al ambiente. De la misma manera, mediante la matriz, se determinó la cantidad de ejemplares, que incorporó cada proyecto obteniendo el aporte de oxígeno estimado que el proyecto está generando en función del consumo diario de las personas. Si bien en esta etapa de la investigación, se decidió desarrollar únicamente la variable generación de oxígeno, el indicador en su conjunto permitió cuantificar otras variables como la proyección de sombra, la mitigación de dióxido de carbono del ambiente, permitiendo cotejar el aporte o mejoría que el proyecto puede hacer al ambiente y su entorno inmediato.

### **Etapa 4 - Verificación empírica (sobre proyecto anual)**

La etapa de verificación empírica de la investigación proyectual, se aplicó en todos los proyectos anuales que desarrollaron los equipos de estudiantes de la cátedra APB concibiendo al taller como un laboratorio,

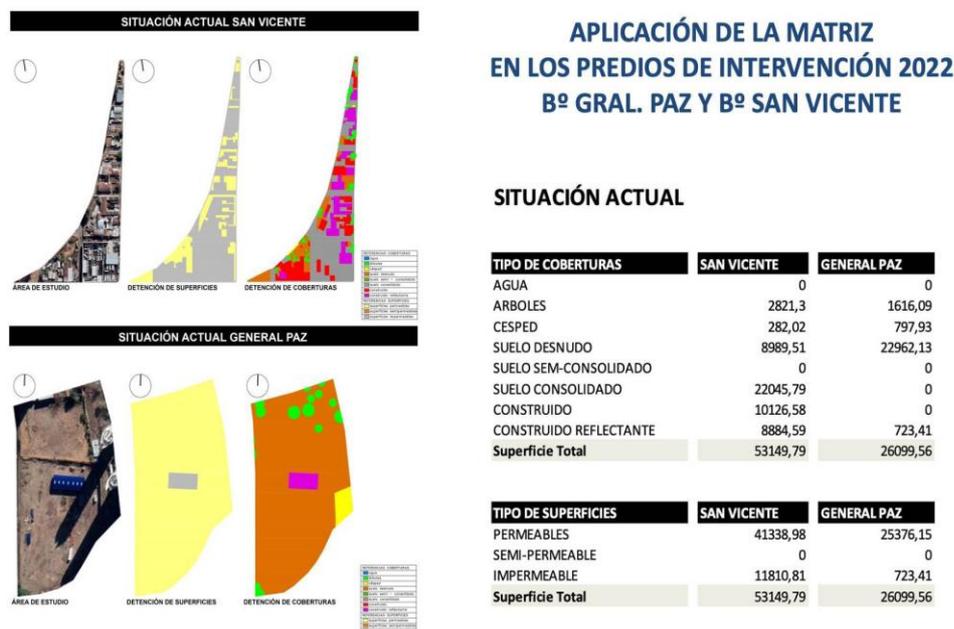
incorporando la matriz conceptual y operacional ajustada en etapa 3. El trabajo del equipo de investigación APB, se centró en la obtención de reflexiones proyectuales en Seminarios - Taller, al inicio de esta, dando seguimiento de la aplicación de la matriz definida en el proceso de investigación proyectual de los distintos talleres, produciendo la sistematización y el análisis de las propuestas en instancias de reflexiones y conclusiones sobre los resultados obtenidos.

### Ejercicio 2 proyecto anual (proyecto académico situado = insumo de la investigación proyectual)

Se desarrolló en terrenos potencialmente inundables de barrio San Vicente y en un lote vacante en barrio General Paz. Abordando el diseño del espacio público entendiéndolo como una infraestructura de servicios ambientales para la ciudad. Durante el desarrollo del proyecto se alentó a la investigación de lógicas sustentables como: la materialización y tratamientos de las cubiertas existentes y las propuestas para los estacionamientos subterráneos, valorando la predominancia de superficies permeables, la incorporación de un mayor número de especies vegetales para disminuir la isla de calor, favoreciendo la biodiversidad, brindando mayor confort ambiental, fomentando el recupero de las aguas grises y pluviales, la utilización de energías alternativas, entre otras. Inicialmente, se analizó el estado actual de cada uno de los predios en relación a los indicadores planteados en la matriz para luego compararlos con las propuestas desarrolladas por los estudiantes (Figura 10).

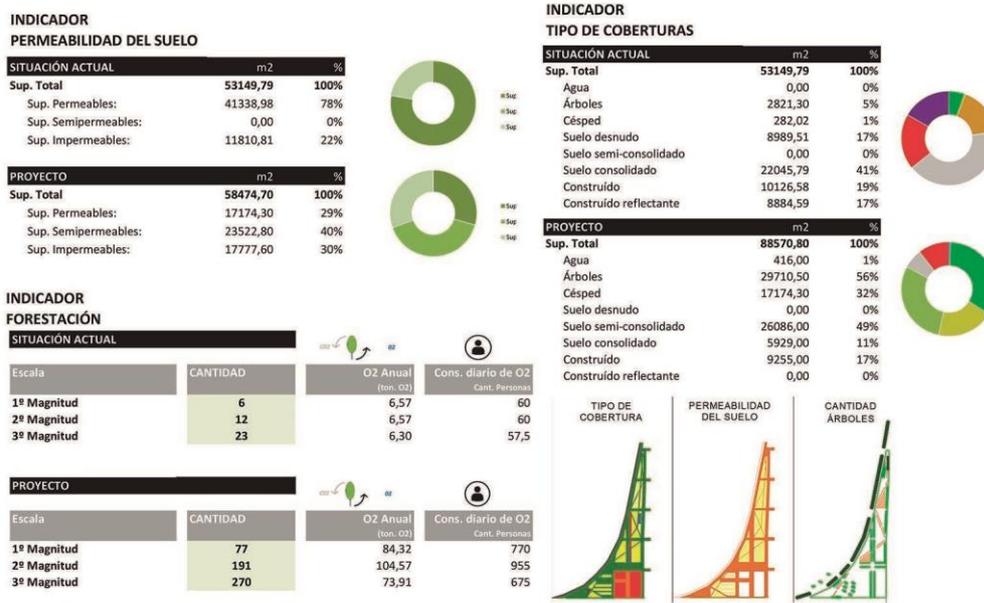
La implementación de la matriz proyectual en este ejercicio anual, permitió establecer comparaciones objetivables entre las diferentes propuestas, superponiendo los gráficos y datos numéricos de cada indicador, fomentando la reflexión de cada equipo, respecto a la transformación ambiental que su propuesta está generando al sector de estudio, arribando de forma simple y sencilla a tres posibles conclusiones: a) que mejore las variables ambientales, b) que no las modifique sustancialmente o c) que genere un aporte negativo. (Figuras 11, 12, 13 y 14).

Figura 10: Estado actual sitios de trabajo Barrio Gral. Paz y San Vicente. Indicadores de la Matriz Proyectual de Cuantificación ambiental.



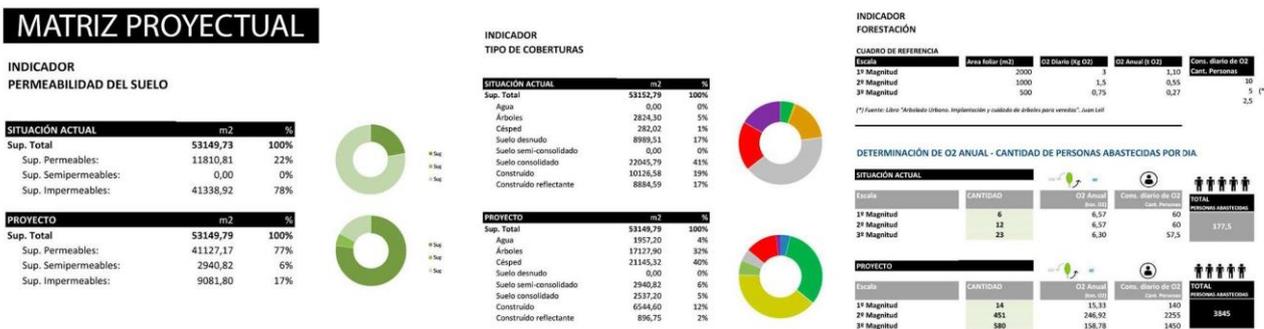
Fuente: Gráfico elaboración propia del Equipo APB.

Figura 11: Resultados aplicación Matriz de indicadores en proyecto de alumnos de grado parque público Barrio San Vicente.



Fuente: Alumnos: KUSNIER – MIRABAL – SILVA. APB Año 2022.

Figura 12: Resultados aplicación Matriz de indicadores en proyecto de alumnos de grado parque público Barrio San Vicente.



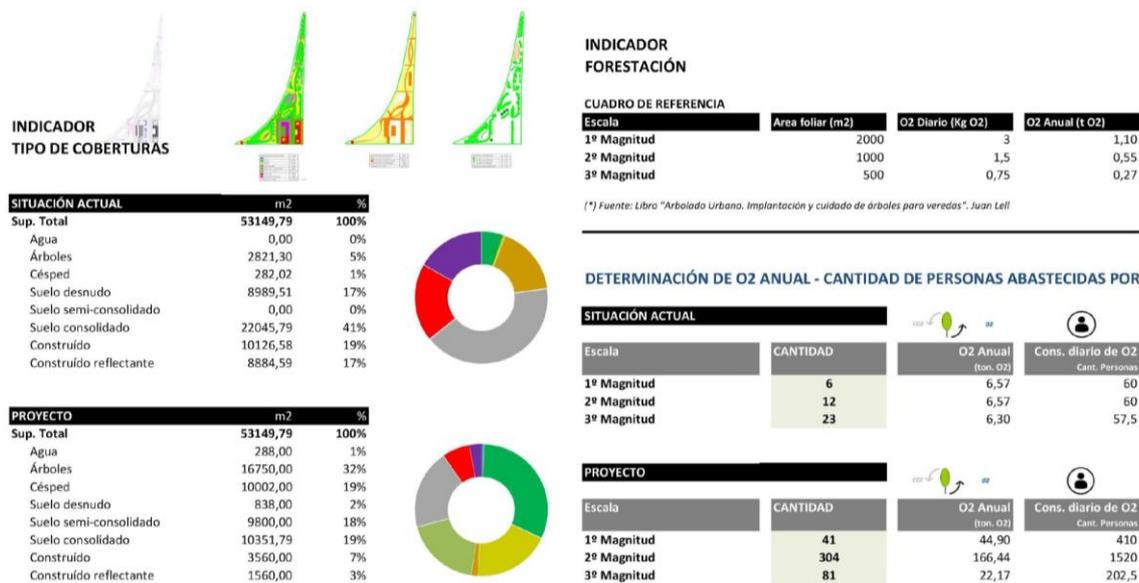
Fuente: Alumnos: ACUÑA – BLANCO – COFRE. APB Año 2022.

Figura 13: Resultados aplicación Matriz de indicadores en proyecto de alumnos de grado parque público Barrio General Paz.



Fuente: Alumnos: DURANDEZ – ECHEGARAY - LOPEZ. APB Año 2022.

Figura 14: Resultados aplicación Matriz de indicadores en proyecto de alumnos de grado parque público Barrio San Vicente.



Fuente: Alumnos: BERTONE – CINDRIC – FALCO. APB Año 2022.

### Etapa 5 - Conclusiones sobre resultados obtenidos (Implementación de la Matriz proyectual de cuantificación ambiental)

La puesta en práctica de la matriz proyectual, como un instrumento metodológico permitió a los estudiantes integrar diferentes conceptos específicos de la disciplina del paisaje, articular las variables ambientales, los indicadores de sustentabilidad y los diferentes estudios aplicados sobre un proyecto particular. La interacción del ejercicio académico en taller y los estudios que el equipo de investigación viene desarrollando logró resultados muy satisfactorios, que se verificaron en trabajos con un mayor compromiso con el medio ambiente para la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. Las observaciones iniciales y las conclusiones particulares de esta experiencia, permitieron consolidar a los indicadores como herramientas proyectuales, comprendiendo el potencial que los mismos representan al aplicarlos a las prácticas académicas.

De los resultados obtenidos, se puede inferir que la cuantificación de las diversas variables que expusieron los indicadores propuestos en la matriz proyectual constituyó un instrumento muy importante para la toma de decisiones en el proceso proyectual. Los indicadores permitieron verificar los aportes ambientales específicos que el proyecto genera, así como también detectar a tiempo las falencias que algunas acciones tuvieron. Finalmente, la implementación de la matriz proyectual resguardó un mayor potencial: la generación de un alto nivel de conciencia en los futuros profesionales que se afianza y consolida desde sus primeras acciones sustentables, ensayando en taller mediante mediciones reales a modo de laboratorio y con rigor científico. Preparándose para intervenir proyectos arquitectónicos en el espacio público como posibilidad concreta de constituirlos en infraestructuras de servicios ambientales, pudiendo verificar, controlar y ajustar oportunamente sus decisiones estratégicas, mediante variables objetivas y mensurables, los aportes y beneficios concretos que realizan al ambiente y la ciudad.

### Logros del Proyecto

#### La generación de la Matriz Proyectual como instrumento de cuantificación, mejora de proyecto y generador de conocimiento.

La generación de la matriz proyectual y su posterior aplicación a los ejercicios académicos del grado permitió al equipo de investigación, docentes y alumnado la medición del impacto y aportes del proyecto

arquitectónico del paisaje, proporcionando datos cuantitativos que permitieron la mejora del proceso de diseño, a través de la valoración objetiva de las propuestas.

Paralelamente se constituyó en una herramienta que permitió la contrastación de los resultados cuantitativos y cualitativos generados en la praxis proyectual en relación a las situaciones iniciales de los predios intervenidos desde la lógica de la sustentabilidad urbana. La matriz proyectual permitió también la comparación de los impactos y aportes de las diferentes propuestas de proyecto generadas en un mismo sitio, posibilitando nuevas instancias de reflexión proyectual en función de poseer datos cuantitativos que permitieron la generación de nuevos conceptos y alternativas de diseño por parte del equipo de investigación y los estudiantes.

### Aporte metodológico

En términos metodológicos la incorporación de variables e indicadores a la práctica proyectual del grado mediante una Matriz de análisis resultó un avance que facilitó reconocer y delimitar problemáticas, aportar índices, estadísticas, parámetros, gráficas y otras formas de síntesis cuantitativas y cualitativas con datos procesados y medibles. Su aplicación a los proyectos académicos permitió anticipar impactos y formular propuestas proyectuales concebidas con criterios de sustentabilidad paisajística y ambiental. Estos datos posibilitaron: clarificar, sintetizar y delimitar objetivamente las problemáticas ecosistémicas y del paisaje en estudio; interpretar y contrastar resultados. Permitieron también anticipar estados y tendencias futuras; evaluar situaciones respecto a metas propuestas y remediar potenciales desviaciones.

### Sinergia entre investigación y praxis docente

La presente investigación logró desarrollar un proceso de sinergia entre el acto investigativo y la práctica docente constituyendo a la proyectualidad arquitectónica paisajística en un espacio de estudio, interacción y reflexión permanente, en función del reconocimiento de los aportes ecológicos y paisajísticos que realiza el proyecto, tanto desde una dimensión objetiva, reconociendo los impactos de las acciones sobre el medio, como articulando dichas acciones con las preexistencias, cualidades espaciales, visuales y morfogénicas del paisaje.

### Concientización de la importancia del ambiente y el paisaje en relación a las prácticas proyectuales (profesionales, investigativas, académicas).

Se transfirieron los conocimientos y resultados del equipo de investigación a la comunidad académica y profesional, mediante presentaciones y publicaciones efectuadas en eventos científicos y de divulgación y congresos relacionados a ecología de paisajes, ecología urbana, planificación urbana sustentable y diseño del paisaje.

### Bibliografía

- Agencia De Ecología Urbana De Barcelona (2011). Sistema de Indicadores y Condicionantes para ciudades Grandes y Medianas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España. Barcelona.
- Arboit, M.E. (2013). Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* 3, (2), 3-18 <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/issue/view/70/104>
- Carrieri, S. A.; Codina, R. A.; Manzano, E. R.; Videla, E.; Vespa, M.J.; Kocsis, C. A.; Ferro Malecki, M.; Fioretti, S. B. (2009). Propuesta de metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes mediante coeficientes ecofisiológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 41, (1), 1-21 [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/3091/carrieriagrarias41-1.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3091/carrieriagrarias41-1.pdf)
- Lell, J. (2006). *Arbolado urbano. Implantación y cuidado de árboles para veredas. Orientación gráfica*. Buenos Aires.
- Nacif, N. (2016). Diseño de indicadores urbanos de sustentabilidad. El caso del Gran San Juan en Argentina. *Revista Urbano* (34). 6 - 15.
- Rueda Palenzuela, S. (2007). Libro Verde de medio ambiente urbano. Ministerio de Medio Ambiente y Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. <https://www.gea21.com/archivo/libro-verde-del-medio-ambiente-urbano-tomo-i/>
- Stocco, S.; Canton, M.A.; Correa, E. (2013). Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* 3, (2), 19-34. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/issue/view/70/104>
- Vera, F., Sordi, J. (2021). *Diseño Ecológico: Estrategias para la ciudad vulnerable. Adaptando las áreas precarias de América Latina y el Caribe al cambio climático*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Dise%C3%B1o-ecologico-Estrategias-para-la-ciudad-vulnerable-adaptando-las-areas-precarias-de-america-latina-y-el-caribe-al-cambio-climatico.pdf>