

## SISTEMAFOTOVOLTAICO Y CAPATACIÓN DE AGUA DE LLUVIA INTEGRADOS EN GALERÍAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO

G. Giuliano<sup>1,5</sup>, F. Fernández<sup>2</sup>, J. Prieto Villarroya<sup>1</sup>, B. Garzón<sup>3,4</sup>, M. Ortega<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña, Universidad Nacional de Santiago del Estero;

<sup>2</sup>Departamento Académico de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero;

<sup>3</sup>Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán, Secretaria Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica;

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), MINCYT;

gm.giuliano@gmail.com, jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar, francofer81@hotmail.com, bgarzon06@gmail.com, mateduortega@gmail.com

**RESUMEN:** El trabajo expone una propuesta de adecuación arquitectónica de los sistemas fotovoltaico autónomo y de captación de agua de lluvia, en la circulación principal de la sede central de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. El proyecto tiene el propósito de ampliar, renovar y modernizar estos espacios semicubiertos, integrando tecnologías sustentables para proveer mayor comodidad a la comunidad universitaria en general, y particularmente a la asociación civil de artesanos y emprendedores "Santiago Diversidad" con su feria permanente. Se plantea el uso de energía renovable solar fotovoltaica, en el suministro de energía para alumbrado del sector, junto a la reutilización del agua de lluvia para el riego de zonas verdes, propiciando así el ahorro de energía eléctrica y de agua potable. Los resultados obtenidos fueron: 1) análisis de los consumos convencionales de energía para la iluminación y del agua destinada a riego ;2) dimensionado mediante software de cálculo del sistema fotovoltaico y de captación y almacenamiento de agua de lluvia; 3) desarrollo de la información técnica pertinente de ambas instalaciones. En conclusión, se comprobó que, al realizar un diseño arquitectónico-tecnológico de forma integral e interdisciplinar, es posible la optimización energética y de los recursos hídricos, materiales y humanos, promoviendo la Sustentabilidad del Hábitat Universitario.

**Palabras claves:** Energía Renovable, Cosecha de Agua, Hábitat Universitario Sustentable.

**ABSTRACT:** The work presents a proposal for the architectural adaptation of the autonomous photovoltaic and rainwater harvesting systems, in the main circulation of the headquarters of the National University of Santiago del Estero. The project has the purpose of expanding, renovating and modernizing these semi-covered spaces, integrating sustainable technologies to provide greater comfort to the university community in general and in particular, to the civil association of artisans and entrepreneurs "Santiago Diversidad" with its permanent fair. The use of renewable solar photovoltaic energy is proposed in the supply of energy for lighting the sector, together with the reuse of rainwater for the irrigation of greenareas, thus promoting the saving of electricity and drinking water. The results obtained were: 1) analysis of conventional energy consumption for lighting and water used for irrigation; 2) dimensioned using software for calculating the photovoltaic system and rainwater collection-storage; 3) development of relevant technical information for both facilities. In conclusion, it was found that by carrying out an architectural-technological design in a comprehensive and interdisciplinary way, it is possible to optimize energy and water, material and human resources, promoting the Sustainability of the University Habitat.

**Keywords:** Renewable Energy, Water Harvesting, Sustainable University Habitat.

## INTRODUCCIÓN

La educación se convirtió en un pilar central en el desarrollo de las sociedades modernas, por lo que transitar hacia el paradigma de la sustentabilidad exige una educación ambiental que pueda reflejarse tanto en la currícula como en la conformación de las prácticas cotidianas y en los edificios que las albergan. El presente artículo se enmarca en el Proyecto SCAIT-UNT (2018-2022), "Hábitat Sustentable y Saludable en el Norte Grande Argentino" y viene desarrollándose desde el año 2014, abordando análisis y propuestas para la eficiencia energética y la sustentabilidad del hábitat educativo en sus diferentes niveles, por lo que hasta la fecha, se fue articulando con varios sectores, entre ellos con la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). La misma, desarrolló un Plan Estratégico 2019-2029, entre cuyos objetivos se encuentra el de elaborar un plan maestro de infraestructura edilicia y de resguardo patrimonial, planificando las mejoras y re funcionalización de los edificios que la componen, y tendiendo a la sostenibilidad y a la accesibilidad física. Esta última línea de acción, tiene como indicador la estimación del porcentaje de ahorro en el consumo energético, correspondiéndose con un contexto global en el que las universidades se comprometen a propiciar el desarrollo sustentable desde sus funciones administrativas y académicas, interconectando políticas, planes de desarrollo, planes de gestión, currículos, etc., con argumentos sólidos de cooperación y participación activa de la comunidad administrativa, docente y estudiantil para responder integralmente a la crisis ambiental (UNSE, 2019).

Ya desde la Declaración de Talloires (Francia, 1990), la Declaración de Halifax (Canadá, 1991), y la de Swansea (Gales, 1993), las universidades buscan incorporar el entendimiento y la ética ambiental a partir de la docencia, la investigación, la extensión y el trabajo interdisciplinario para lograr los objetivos del desarrollo sostenible. Estas dos últimas declaraciones terminaron convirtiéndose en la declaración de Kyoto, realizada en Japón en 1993 durante la novena mesa redonda de la Asociación Internacional de Universidades (IAU), que incrementó los intereses en la sustentabilidad de los campus por obligar a las instituciones de educación superior a promover este paradigma mediante la revisión de sus operaciones (Zapata González et al, 2016). Estos autores también arrojan luz sobre la importancia de la Cumbre de Rio de 1992 y de la Agenda 21 que propició, en la que se reconoce el papel de las universidades en el mejoramiento de las condiciones ambientales; también de la Conferencia Europea de Rectores de Universidades (CRE), ahora European University Association (EUA), quienes formularon el programa Copernicus (CO-operation Programme in Europe for Research on Nature and Industry through Coordinated University Studies), con el objetivo, entre otros, de implementar la perspectiva de la sustentabilidad en todo el sistema universitario (Zapata González et al, 2016).

Otros antecedentes igualmente importantes son el informe “La Educación encierra un tesoro” (Delors et al., 1996), la declaración de Thessaloniki, Grecia (1997), la declaración “La educación superior en el siglo XXI: visión y acción”(1998), la declaración de Lüneburg, Alemania (2001),y la declaración de Ubuntu en Educación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible. Más recientemente, la conferencia de las Naciones Unidas Río+20 renueva el compromiso en favor del desarrollo sostenible y de la promoción de su futuro desde el punto de vista económico, social y ambiental, mediante la resolución “el futuro que queremos” (Naciones Unidas, 2012). Allí se discutieron los compromisos de las prácticas para el desarrollo sustentable de las instituciones de educación superior, y se redactó una declaración en la cual las universidades firmantes se comprometen a “enseñar conceptos relacionados con el desarrollo sustentable, fomentar la investigación en temas de desarrollo, apoyar los esfuerzos para la sustentabilidad y compartir sus resultados a través de reportes enmarcados en referentes internacionales”(Zapata González et al, 2016).

En el contexto latinoamericano, se destaca la constitución en 2007 de la Alianza de Redes Iberoamericanas de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente (ARIUSA), creada en Bogotá durante el IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente, con el objeto de “promover y apoyar la coordinación de acciones en el campo de la educación ambiental superior, así como, la cooperación académica y científica entre Redes Universitarias por el Ambiente y la Sustentabilidad”(Ariusa, 2007).

A nivel nacional, la Red Argentina de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente (RAUSA, firmado entre el grupo de universidades nacionales del Norte Grande Argentino), tiene como misión fundamental promover y apoyar la cooperación académica y científica en este campo, y constituir un instrumento de acción y representación institucional común que potencie su tarea de influencia ante las instancias universitarias e institucionales, que permita definir y aprobar los programas académicos y de política ambiental en Argentina. Importante también es la experiencia de la Red de Universidades Argentinas para la Gestión Ambiental y la Inclusión Social (UAGAIS). En 2019, representantes de todo el país se reunieron en la Ciudad de Buenos Aires para debatir los "Indicadores para la gestión de sustentabilidad en las universidades argentinas", con la idea de aplicar a los nuevos indicadores los Objetivos para el Desarrollo Sustentable (ODS).

Es así que la participación activa de las universidades en la construcción de este escenario resulta cada vez más impostergable, pues tienen un rol clave en el desarrollo de la sociedad por la formación y sensibilización de futuros profesionales, líderes y gerentes; a la luz de los complejos retos del mundo, las universidades tienen dos misiones: proveer estudiantes con competencias nuevas para crear una sociedad más sustentable y reducir el impacto ambiental de sus operaciones

(Alonso et al., 2014). Es así que un campus universitario, como un hecho tangible articulado a este contexto cultural e histórico descripto, y a un entorno urbano específico ,permite plantearse preguntas sobre la concepción ambiental de esa universidad en la gestión de sus espacios físicos. En Latinoamérica, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), viene realizando aportes a la sustentabilidad desde hace dos décadas, tanto a través de tareas académicas como de gestión edilicia, buscando disminuir su huella ecológica mediante la incorporación de tecnologías sustentables para el aprovechamiento de fuentes de energía renovables. En el año 2014 se inauguraron en Chile 46.000 m<sup>2</sup> de construcción sustentable, en el edificio de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, contando con eficiencia energética incorporada en su diseño, construcción y operación, permitiendo generar un ahorro energético de un 50% en relación a un edificio tradicional. En Argentina, se ha analizado el consumo de energía en hábitats universitarios en distintas áreas geográficas, y observado su comportamiento mediante la incorporación de mejoras tecnológicas. En la Ciudad de Buenos Aires, se inauguró recientemente el nuevo edificio de la Facultad de Exactas de la UBA, el "Cero más Infinito", con techo verde y estrategias pasivas para la climatización en pos de la eficiencia energética edilicia. Al Sur del país, fue proyectada y ejecutada una Residencia Universitaria Bioclimática para la Universidad Nacional de La Pampa, donde se realizó un seguimiento del comportamiento térmico y del ahorro energético que supuso la incorporación de soportes para disminuir la demanda de energía convencional destinada a dichos propósitos, mediante el uso de ductos enterrados para el calentamiento en invierno y enfriamiento en verano de la temperatura del aire en el interior (Filippín et al., 2002; Flores Larsen et al, 2004). En la Universidad Nacional del Nordeste, UNNE, se realizaron propuestas para la mejora térmico-energética de la envolvente en aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (Alias, et al 2012).

Ahora bien, parte de la complejidad de incorporar tecnologías sustentables a edificaciones ya existentes, tiene que ver con el nivel de integración de aquellas a la arquitectura previa, de manera que no queden como objetos inadecuados. Este es el caso de la tecnología fotovoltaica (FV), donde los paneles integrados en la envolvente arquitectónica (ya sea en el techo, en las fachadas, en marquesinas, parasoles, superficies acristaladas, espacios semicubiertos, etc.), como sustento para la captación y generación de la energía que el edificio necesite consumir, supone un diseño y planificación (Pilar, 2016). En Argentina, el proyecto IRESUD, "Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos", existente desde 2011, tiene el objetivo de promover la Generación Distribuida (GD), mediante el diseño, instalación y operación de Sistemas Fotovoltaicos (SFV), en viviendas y edificios públicos y privados, y conectados a la red de baja tensión en áreas urbanas; "la filosofía de la integración arquitectónica consiste en dotar al SFV de una doble función: generación de energía y elemento de construcción, logrando así economías y

sinergias entre sistema y edificación”, con lo cual, este proyecto abrió las puertas a esta modalidad de construcción sustentable que prácticamente no existía como práctica proyectual sistemática en nuestro país (Eyras et al., 2016). En el marco de este proyecto, varias universidades incorporaron paneles FV a las envolventes de algunos de sus edificios, como la UNLP, la UNLu, la UNMDP, la UNICEN, la UNCa, la UNNE, la UNAM, la UNT, y las UTN de las provincias de Córdoba, Mendoza y Santa Cruz. En la Universidad de Santiago del Estero (UNSE), se instalaron 4,8 kWp de potencia en la sede del parque industrial.

Respecto a la incorporación de Sistemas de Captación y Aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL), en universidades, existen proyectos para su implementación en la Universidad Libre de Colombia, sede Bosque Popular (Correa Sastoque, 2014), y en la Universidad Católica de Colombia (Ortiz Forero y Velandia Bernal, 2017)

Por su parte, el Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña (IEADER) de la UNSE, perteneciente a la RAUSA, tiene la misión de propiciar el estudio sistemático del ambiente con un enfoque transdisciplinario, formando recursos humanos capacitados en la temática, y colaborando en el desarrollo humano de las comunidades de la región mediante la planificación estratégica de soluciones sostenibles del ambiente rural (IEADER, 2020). Una de sus líneas de trabajo fue, junto al Grupo de Hábitat Saludable y Saludable (GHabSS) de la FAU UNT – CONICET, proyectar Sistemas Fotovoltaicos (SFV), con integración arquitectónica y establecer también principios de adecuación bioambiental, estudiando propuestas de mejoramiento en diferentes sectores de la UNSE, como el Proyecto Bioambiental para la Reforma y Ampliación del IEADeR (2019), en el que se proponen la incorporación de paneles y colectores solares y de un muro verde; y el estudio de la eficiencia térmico-energética de la envolvente para el proyecto existente de ampliación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas (FCEyT) ubicada en la sede del Parque Industrial. Por último, en el presente trabajo se proponen mejoras formales, funcionales y tecnológicas en el sector de las galerías de la sede central de la UNSE, tanto para la generación eléctrica como para la reutilización del agua de lluvia.

## **OBJETIVOS**

El objetivo general es aportar a la Eficiencia Energética y a la sustentabilidad del hábitat universitario en la provincia de Santiago del Estero. A su vez, los objetivos particulares son diseñar, verificar y transferir un proyecto de integración de tecnologías sustentables, incorporando un Sistema Fotovoltaico (SFV) para la generación eléctrica, y uno de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL) para cubrir las necesidades hídricas de riego y limpieza, mejorando así las condiciones de uso de un sector de la sede central de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

## METODOLOGÍA

Durante el desarrollo de la investigación, se utilizó una combinación metodológica del tipo descriptiva, exploratoria, analítica y de estudio de casos. Se consideraron las condicionantes geográficas y climáticas de la localidad; se realizó un análisis de las necesidades del caso de estudio. Fueron evaluados el requerimiento de energía eléctrica para iluminación y del recurso hídrico para riego y limpieza de piso. Se efectuó una propuesta de mejora de tecnología en luminarias, para disminuir el consumo y dimensionar un SFV, para el aprovechamiento de la energía solar. Igualmente, se planteó el desarrollo de un proyecto para la adecuación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Por último, se detalla y especifica la resolución de ambos, con un nivel óptimo de adecuación arquitectónica y de ahorro de energía eléctrica y del recurso hídrico.

## RESULTADOS

### 1) Ubicación del caso de estudio y caracterización geográfica y climática

La Sede Central de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), se encuentra en el Dpto. Capital, hacia el Este de la ciudad, accediéndose a ella por av. Belgrano Sur 1915 (Fig. 1). Esta localidad pertenece a la Zona Bioambiental Muy Cálida I y a la subzona a, con amplitud térmica mayor a 14° C, según la clasificación bioambiental de la Norma 11.603 (IRAM, 2012) para la República Argentina (Fig. 2).



Figura 1: Imágenes Satelitales de Ubicación Sede Central UNSE. Referencia: Fuente Google Earth

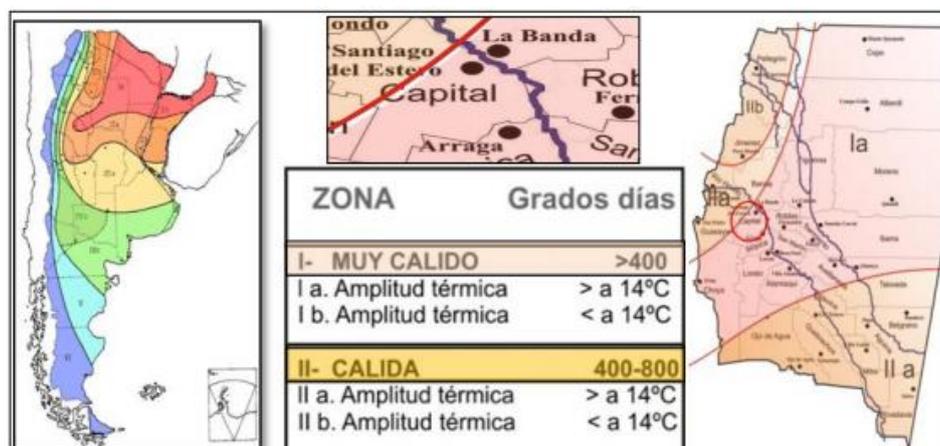


Figura 2: Ubicación Provincia de Santiago del Estero, Zona Cálida la –Departamento: Capital.

Fuente: Norma 11.603 (IRAM, 2012) Elaboración Propia

El clima se caracteriza por ser “Seco semiárido Estepario” según la clasificación climática de Köppen; el período estival es muy cálido, con altas temperaturas que pueden llegar a los 40 °C en enero y lluvias distribuidas entre los meses de octubre y marzo; la época invernal es seca y registra temperaturas bajas (ver Tabla 1). El otoño es en la ciudad la época más agradable, normalmente el cielo se halla nublado, con largos periodos de lloviznas y sin vientos.

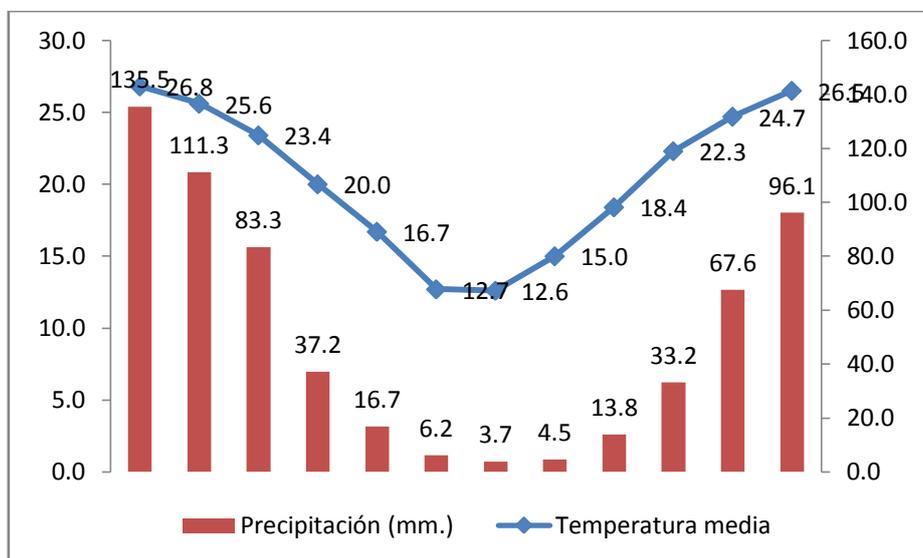


Figura 3: Distribución anual de temperaturas y precipitaciones medias mensuales. Fuente: SMN (2005-2015) y Elaboración Propia.

Respecto a la irradiación solar global diaria, las registradas por Grossi Gallegos y Righini (2008), se encuentran entre los valores medios de los identificados en el país, oscilando entre los 2,5 KWh/m<sup>2</sup> en los meses de junio y julio, y llegando a los 5,5 KWh/m<sup>2</sup> en los meses cálido (Figura 4).

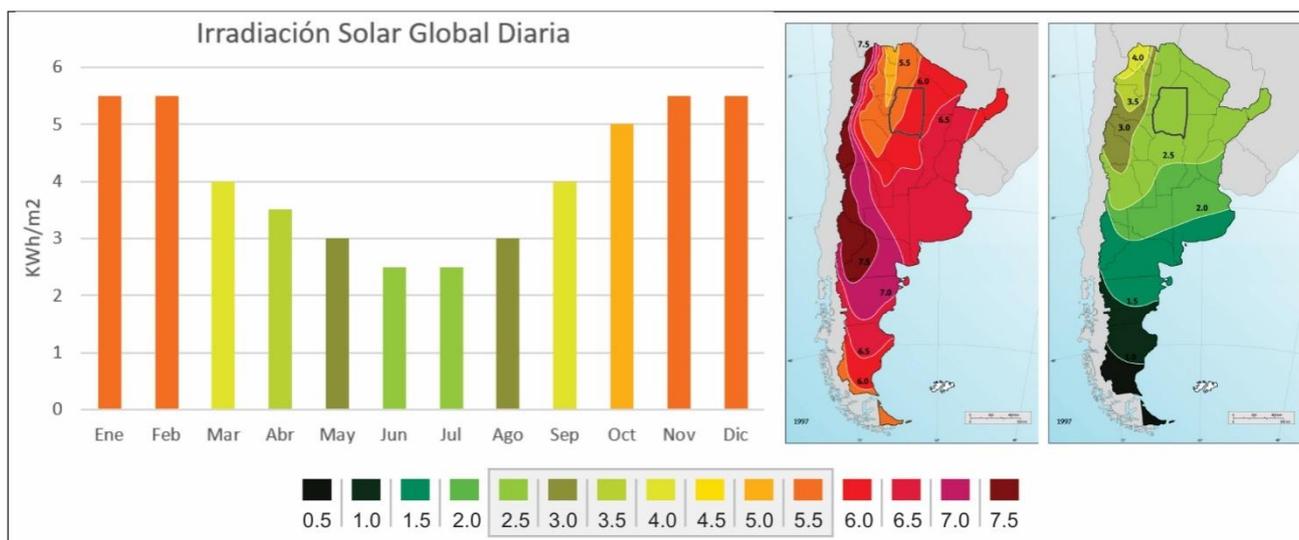


Figura 4: Valores mensuales de la irradiación solar global diaria sobre plano horizontal para Santiago del Estero (KWh/m<sup>2</sup>) y Distribución de la irradiación solar global diaria sobre plano horizontal en Enero y Junio a nivel nacional. Fuente: Grossi Gallegos y Righini (2008) y Elaboración Propia.

## 2) Caracterización de la problemática a abordar

La UNSE cuenta con dos accesos por avenida Belgrano que dan a circulaciones semicubiertas tipo galerías. El acceso principal corresponde al que lleva al Edificio del Rectorado y al Paraninfo; el mismo ha sido refaccionado recientemente y se encuentra en buen estado de mantenimiento. A su vez, el acceso secundario lleva al Patio Central (Patio 3 en Figura N° 5), donde confluyen varias circulaciones, desde o hacia los diferentes edificios, rematando en una suerte de Rotonda o Glorieta octogonal, que la comunidad educativa universitaria la llama cariñosamente "Calesita". A continuación, se encuentra el patio cívico (Patio 4), para la realización de actos y homenajes, que cuenta con una plataforma accesible, a modo de escenario con tres mástiles para nuestras banderas representativas; posee vegetación e iluminación y es descubierto. Es a lo largo de las caminerías mencionadas y en el Patio Central donde se ubican los puestos pertenecientes a la Asociación Civil de Artesanos y Emprendedores Santiago Diversidad, siendo una feria de carácter permanente. Respecto a éstas, es evidente que su estado de mantenimiento es regular, con necesidad de renovación de pintura y alumbrado en todos sus trayectos. Es así que las galerías cumplen la doble función de servir a la circulación protegiendo a los peatones de las inclemencias del tiempo, y como lugar de exposición de los puesteros y sus mercancías.

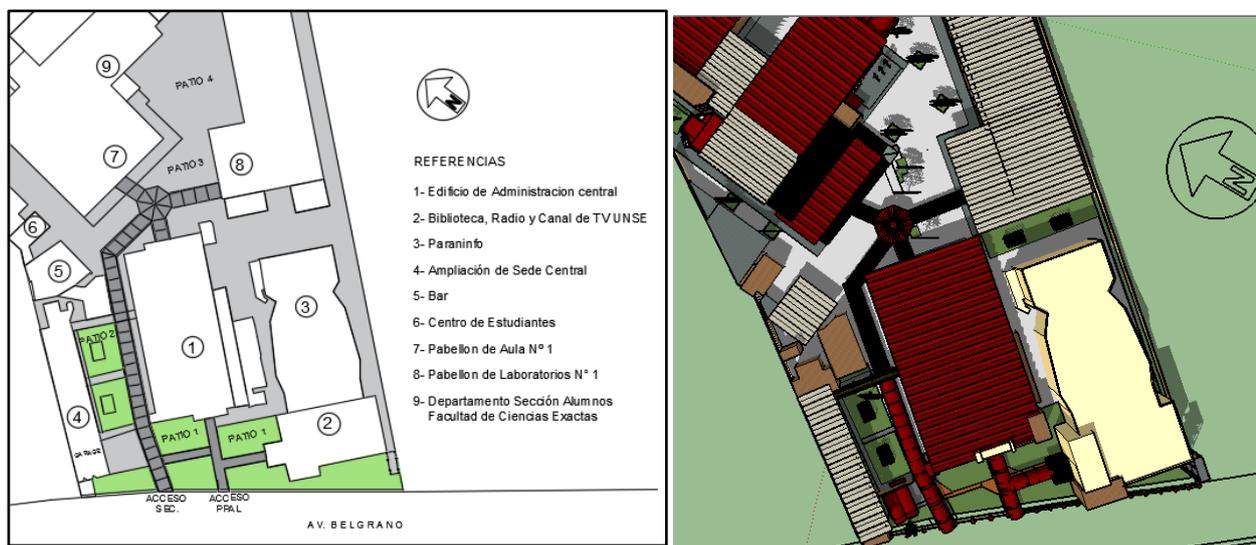


Figura 5: Plano de ubicación y de techo del sector de estudio en sede central de la UNSE.

Fuente: Secretaría de Planeamiento Físico Universitario y Elaboración Propia.

Esta circulación necesita de su rehabilitación por motivos estéticos, pero también se requiere de una intervención que mejore las condiciones de uso para una mayor protección ante las lluvias (ya que cuando esto sucede los puesteros deben correr sus productos hacia adentro de la galería, disminuyendo superficie de tránsito), y ante las fuertes radiaciones solares del período cálido, ya que los artesanos se ven obligados a protegerse en las pérgolas del Patio 2 (Figura 5), descuidando

la atención a los transeúntes, y perdiendo la oportunidad de captar clientes o de responder a consultas. Seguidamente, se presentan una serie de fotografías del sector (Figuras 6, 7y 8), que evidencian los usos y estado de mantenimiento de cada uno de los espacios mencionados:



Figura 6: Relevamiento Fotográfico de Galerías de circulación peatonal y de ubicación de la Feria Santiago Diversidad, con Asoleamiento de Mediodía y en un día de Lluvia. Fuente: Fotografías Tomadas por los Autores.



Figura 7: Relevamiento Fotográfico de Patio 3-Central de UNSE, en " Sector Calesita". Feria Santiago Diversidad y Jóvenes Estudiantes. Fuente: Fotografías Tomadas por los Autores.



Figura 8: Patio 4-Cívico para actos y homenajes. Fuente: Fotografías Tomadas por los Autores.

### 3)Análisis de consumo de energía eléctrica y del recurso hídrico

#### 3.1. Evaluación del consumo eléctrico del sector analizado en iluminación

En la figura N° 9 se presentan las diferentes tipologías de luminarias (artefactos y lámparas), identificadas en el relevamiento del sector. Se detectaron tres tipos existentes, los cuales se denominaron para su sistematización como Tipo 1, 2 y 3. La tabla N° 1 muestra la estimación del consumo diario total de energía eléctrica solo para la iluminación del sector en estudio, cuyo resultado total es de 58.800Wh/día (C.A- Corriente Alterna). Para la iluminación artificial de fachadas de edificios del sector se utilizaron luminarias Tipo 1, compuestas cada una por un

artefacto tipo brazo y una lámpara fluorescente compacta; en conjunto, representan el 24,48% del consumo total, lo que corresponde casi a la cuarta parte, debido a que existe una instalación acotada en cantidad y potencia de consumo. El segundo tipo es una farola de pie con lámpara halógena, que representa el 24,48%, resultando el segundo consumo de mayor porcentaje de incidencia. La luminaria Tipo 3 es la que implica el mayor consumo: se trata de un Farol colgante con lámpara fluorescente, el cual consume un 51,04% del total, en análisis.



Figura N° 9: Relevamiento fotográfico, del tipo de Luminarias de sector en análisis de Galerías y Patio 3 (Central- "Sector Calesita"). Fuente: Fotografías tomadas por los autores.

| ITEMS        | SECTOR                 | TIPO ARTEFACTOS     | TIPO DE LAMPARAS      | Artefactos (N°) | POTENCIA (W) | Horas/día de Uso (h/día) | A.C. (Wh/día) | INCIDENCIA (%) |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------------|--------------------------|---------------|----------------|
| TIPO 1       | Fachadas Edificios     | Tipo Farol de Brazo | Fluorescente Compacta | 12              | 100W         | 12                       | 14.400        | 24,48%         |
| TIPO 2       | Patio Central          | Tipo Farola de Pie  | Halógena HQI          | 8               | 150W         | 12                       | 14.400        | 24,48%         |
| TIPO 3       | Galería de Circulación | Tipo Farol colgante | Fluorescente Compacta | 25              | 100W         | 12                       | 30.000        | 51,04%         |
| <b>TOTAL</b> |                        |                     |                       |                 |              |                          | <b>58.800</b> | <b>100%</b>    |

Tabla N°1: Relevamiento de luminarias exteriores existentes, para la estimación del consumo eléctrico actual. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Estimación del consumo de agua para riego y limpieza de superficies

Se designan a las superficies que requieren agua para su riego, como sectores del tipo "húmedos o verdes" (Patios 1 y 2: césped, árboles y arbustos), y a aquellas de diferentes solados exteriores, que demandan agua para limpieza, se las denomina sectores del tipo "secos-grises" (solados de caminerías, galerías y de Patios 3 y 4).



Figura N° 10: Relevamiento fotográfico de Galerías (en un día soleado y en otro lluvioso), y el parqueizado del Patio 1. Fuente: Fotografías tomadas por el Equipo de trabajo

En la Tabla N° 2 puede observarse el cálculo de las superficies en análisis. Para el tipo de vegetación existente, se estima que la necesidad de riego por cada m<sup>2</sup> es de 6 litros, mientras que para la limpieza de piso, se considera 1 litro por m<sup>2</sup>. Por lo tanto, la demanda total de agua diaria se calculó en 5.300 litros, y con ello, la demanda anual asciende a 1.934.500 litros. Así, el sector "verde" representa un 67,392% y el "seco" un 32,07% del total.

Debe tenerse en cuenta que los valores obtenidos son resultado de considerar exclusivamente el sector de referencia, el cual, representa aproximadamente un 30% de la superficie de áreas verdes y grises total de la Sede Central UNSE. Cabe aclarar, que el cálculo, no considera otros ítems, como la cantidad de agua necesaria para consumo humano o para servicios como núcleos sanitarios, etc. Se presume que el consumo en la totalidad del Predio, para estos dos ítems, triplica los valores obtenidos, por lo que el derroche de agua potable es alarmante.

|  | DEMANDA DE RECURSOS HIDRICOS                                   | Superf. (m <sup>2</sup> ) | LITROS (l /m <sup>2</sup> ) | Demanda de agua diaria (l) | Demanda de agua anual (l) | INCID.(%)   |
|---|--|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|
|   | 1.Riego de zonas verdes: césped, árboles y arbustos            | 600                       | 6                           | 3600                       | 1.314.000                 | 67,92%      |
|   | 2.Pisos: Caminerías de Patios 1 y 2 y Solados de Patios 3 y 4. | 1700                      | 1                           | 1700                       | 620.500                   | 32,07%      |
|   | <b>TOTAL</b>   |                           |                             | <b>5.300</b>               | <b>1.934.500</b>          | <b>100%</b> |

Tabla N° 2: Demanda de agua en sector de análisis. Fuente: Elaboración Propia

#### 4. Propuesta de reducción del consumo de energía eléctrica y del recurso hídrico

##### 4.1. Propuesta de Instalación de un SFV con integración arquitectónica

Se propone la disminución del consumo eléctrico mediante el reemplazo de las lámparas existentes por lámparas y reflectores del tipo LED, de mayor eficiencia energética (Tabla N° 3).

| ITEMS        | SECTOR                 | TIPO ARTEFACTOS               | TIPO DE LAMPARAS | N° Artefacto | Potencia (W) | Horas/día de Uso (h/día) | AC (Wh/día)   | INCID. (%)  | REDUC. (%)     |
|--------------|------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------------------|---------------|-------------|----------------|
| TIPO 1       | Fachadas Edificios     | Tipo Farol de Brazo           | LED              | 12           | 24 W         | 12                       | 3.456         | 13,80%      | -10,68%        |
| TIPO 2       | Patio 3 (Central)      | Tipo Farola de Pie            | LED              | 8            | 30W          | 12                       | 2.880         | 11,55%      | -12,98%        |
| TIPO 3       | Galería de Circulación | Tipo Farol colgante           | LED              | 25           | 24 W         | 12                       | 7.200         | 28,70%      | -22,03%        |
| TIPO 4       | Patio 4                | Tipo Reflector Colgante s/sen | LED              | 10           | 96W          | 12                       | 11.520        | 45,95%      | +45,95%        |
| <b>TOTAL</b> |                        |                               |                  |              |              |                          | <b>25.056</b> | <b>100%</b> | <b>+ 0,26%</b> |

Tabla N°3: Propuesta de disminución de consumo eléctrico, para el sector de estudio y nuevo sector.

Fuente: Elaboración Propia

Se advierten mejores resultados en el valor total del consumo eléctrico diario, con solo 25.056 Wh/día, correspondiéndose a una disminución del consumo de un 45,69% respecto a la situación

original. En este caso, en la última columna se aprecia que, con el ahorro de cada uno de los tres primeros items del rubro Iluminación, se logra un ahorro prácticamente equivalente al valor del consumo del item que se propone incorporar como propuesta de mejora, construyendo un techo con un SFV arquitectónicamente integrado, sobre el Patio de Actos (Patio 4), propuesta tecnológica que mejora las necesidades puntuales de función y de iluminación de ese patio, a la vez que abastece de manera autónoma los requerimientos energéticos de iluminación de todo el sector analizado.

#### 4.1.1. Dimensionado del SFV autónomo simple con integración arquitectónica

Se dimensionó un Sistema Fotovoltaico (SFV), aislado simple: el número de módulos y las dimensiones adecuadas de cada uno para una óptima integración arquitectónica. El método utilizado fue el de "amperios horas o del mes menos favorable", tomando valores de consumo y de radiación solar particulares de la localidad donde se ubica el edificio escolar. Se adoptaron además otros valores pertinentes para el cálculo (Tablas N° 5 y 6). Se utilizó para tal fin el programa de cálculo "FotovArq" (Giuliano y Garzón, 2017).

| Cálculos                             | Resultados | Unidades |
|--------------------------------------|------------|----------|
| Carga Total (Lt)                     | 25.056     | Wh/día   |
| Horas Solar Pico (HSP <sub>β</sub> ) | 4,2        | h        |
| Números de Paneles (N°P)             | 28         | Módulos  |

Tabla N° 4: Determinación de Lt, HSP<sub>β</sub> y N° P. Fuente: FotovArq (2017) y Elaboración Propia

Con el programa calculador se dimensionó un sistema con 28 paneles o módulos FV (MFV), de 240 Watt Pp, 1,67 m<sup>2</sup> de superficie total (1670 x 100mm). Además, a través del mismo, se pudo estimar la superficie de la totalidad de los módulos y la distancia mínima entre *string* (cadenas o líneas), de 2m, para maximizar la colección solar y lograr un diseño eficiente e integrado arquitectónicamente y funcionalmente útil, para que la comunidad educativa realice actividades diversas (Fig.11).

#### 4.1.2. Detalles del diseño del SFV con integración arquitectónica

Se propone un sistema fotovoltaico integrado arquitectónicamente de forma apropiada. A tal fin, se plantea el desarrollo de una alternativa superadora, con el diseño de una estructura y cubierta liviana, ubicada en el sector del Patio 4 (UNSE sede Central), pensando en que cumpla con dos funciones en forma simultánea: como estructura soporte del SFV y como sector semicubierto multipropósito. Este espacio constituye actualmente el lugar más amplio al exterior con el que cuenta toda la comunidad académica, destinado o adoptado para reuniones, como por ejemplo celebrar actos recordatorios o de homenaje. El sector libre, de la cual se hace mención, es el

comprendido entre el Pabellón de Aulas N° 1 y el Pabellón de Laboratorios N° 1, donde existe una plataforma baja a modo de escenario, accesible con rampa y tres mástiles (Fig. 11).

En primera instancia del inicio del proceso de diseño, se realizó un croquis que delimitó el área libre comprendida entre los árboles y edificios existentes mencionados, los cuales tienen una altura promedio de 7,5m. Como segundo paso, se esbozó la forma de la estructura, con plataformas y barandas perimetrales e intermedias que soporte el montaje, el peso propio y la carga del sistema dimensionado, con sobrecarga de instalación y mantenimiento seguro. La estructura se cierra con material no opaco o translucido. Se planifican que los 28 paneles fotovoltaicos necesarios según los resultados del dimensionamiento del sistema, se orienten al Norte para la eficiencia del máximo aprovechamiento del recurso solar ( $45^\circ$  girados en planta y  $40^\circ$  en alzado), y ubiquen en 4 hileras de forma lineal y paralela, considerando las dimensiones particulares de cada módulo FV, y respetando con un amplio margen la distancia mínima entre cada *string*. De esta manera se realiza el máximo aprovechamiento del sistema, logrando una cubierta lineal opaca a  $45^\circ$ , y cubriendo los espacios intersticiales con una cubierta no opaca, que permita el paso de la luz.

Finalmente, se propone una altura conveniente para este nuevo plano de protección, incorporando un pórtico de base, jerarquizando la zona seca a modo de "Ágora Protegida".

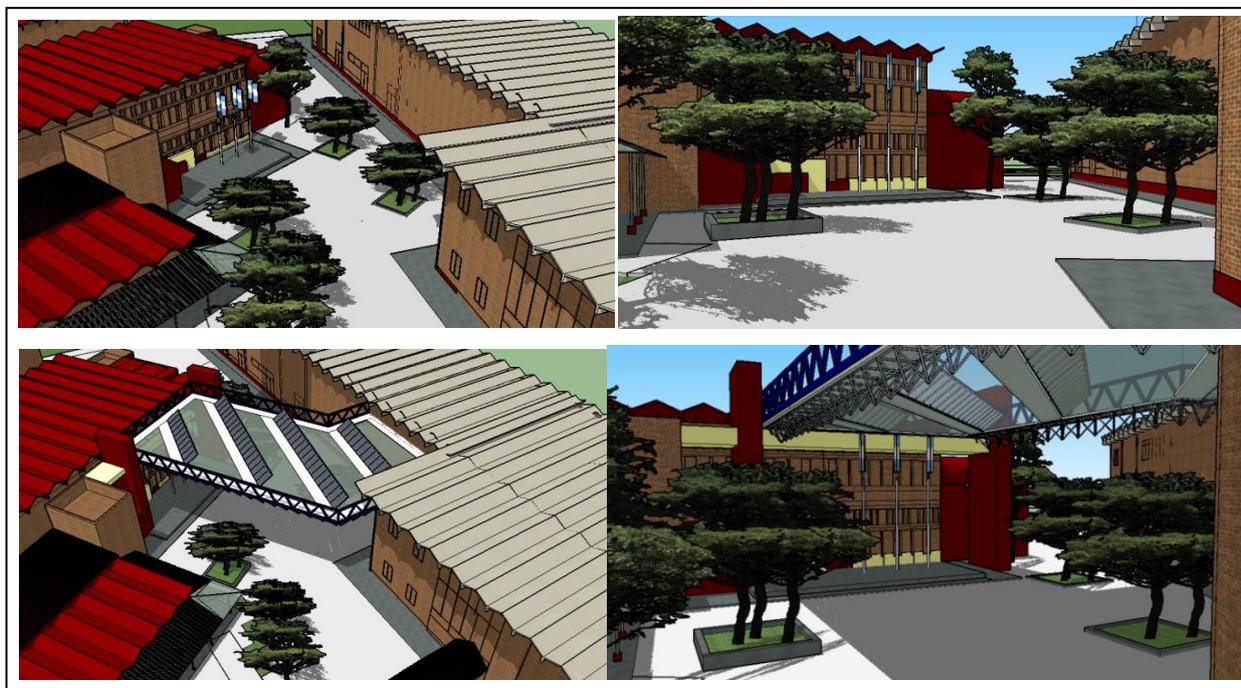


Figura N° 11: Superior : Patio 4 Actual UNSE, Inferior: Propuesta de Sistema Fotovoltaico Arquitectónicamente integrado a Cubierta Multipropósito, sobre Patio 4. Fuente: Elaboración Propia

## 4.2. Propuesta de Instalación de SCALL con Integración Arquitectónica

Anteriormente, se analizó la cantidad de agua potable en UNSE Central, utilizada para el riego de áreas verdes y la limpieza de solados; lo cual, nos llamó a tomar conciencia al respecto. También, se advirtió que en el primer tramo de la galería del acceso secundario, los artesanos de la feria "Santiago Diversidad", permanecen expuestos a la radiación solar y/o lluvia, debido a la falta de protección adecuada. Por ello, a continuación se plantea integrar ambas necesidades, en una propuesta de solución viable de ser ejecutada, como alternativa de mejora a la situación actual, con el diseño, dimensionamiento y desarrollo de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL). El mismo, recoge el agua de la superficie de los techos existentes de las galerías, con la incorporación de un alero lineal de 1,00 m de ancho, para proteger a los emprendedores de la feria. Es decir, se capta el agua de precipitaciones desde cubiertas hasta canaletas, con pendientes adecuadas para conducir las a cañerías verticales y horizontales, hasta llegar el agua de lluvia, a ser almacenada en un depósito para finalmente ser reutilizada (Figura N° 12).



Figura N° 12: Patio 2 y Galería con incorporación de alero lateral de protección a feriantes, e integración de SCALL.  
Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del cálculo del Sistema de Cosecha de agua SCALL, a instalar en la zona de estudio. La finalidad del mismo, es contribuir al ahorro en el consumo de agua para riego y limpieza. Para ello, se recurrió al programa "SCALL V1.1", elaborado por profesionales del INTA (Nickisch y Tosolini, 2017). El planteamiento de cálculo empleado es de procedimiento inverso, pues primero se ha realizado una estimación del volumen disponible, en base a las precipitaciones del área de estudio (600 mm) y a la superficie de cubierta impermeable (208 m<sup>2</sup>). A partir de la información anterior, se calcula la cantidad total de agua que el sistema puede captar y almacenar, y con dicha información se estima el volumen del tanque necesario (80 m<sup>3</sup>). Por último, una vez que se dispone del volumen, se calcula la cantidad de "área verde" que puede ser mantenida mediante el riego procedente de agua de lluvia, lo que se contabiliza como ahorro neto en el consumo de recursos hídricos.

En primer lugar se determina la precipitación neta de los techos del corredor (Ppnt). Para ello, se toma como información de partida la precipitación sobre el área de estudio (600 mm). La precipitación debe ser minorada en base a dos coeficientes correctores. Por un lado, se debe considerar el efecto de las salpicaduras, pérdidas por viento, fricción, evaporación, tamaño de gota. Este coeficiente reductor, según CIDECALLI es del 85% (0,85). Por otro lado, debe de considerarse el coeficiente de escorrentía (Ce) del material empleado (chapa metálica), debido a que siempre existen unas pérdidas mínimas por permeabilidad del material. Para este segundo coeficiente se adopta un valor de 0,75. En base a ello, tal y como se muestra en la siguiente tabla N° 5, se obtiene el valor de la precipitación neta disponible, siendo este de 459 mm.

| <b>PP<sub>neto a</sub> (mm)</b> | <b>PP<sub>Prom</sub> (mm)</b> | <b>Cfte<sub>CIDECALLI</sub></b> | <b>Ce máx. cubierta de chapas metálica CIDECALLI</b> |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|
| <b>382</b>                      | 600                           | 0,75                            | 0,85   |

Tabla N° 5: Precipitación pluvial neta en techos. Fuente: Programa Calculador SCALL(2017) y Elaboración Propia

Por otro lado, una vez estimada la precipitación neta disponible, pudo procederse a la estimación de la demanda de consumo de las áreas verdes a mantener. Esta demanda fue obtenida en un procedimiento iterativo, en el que debía adaptarse simultáneamente los consumos de evapotranspiración del área de riego, con la superficie techada puesta a disposición por el corredor para la captación. En base a ello, se realizó un cálculo de los consumos de áreas verdes (principalmente superficie paso), que podrían ser mantenidos con la precipitación neta obtenida en el cálculo anterior. En la tabla N° 6, se estiman los consumos por riego, considerando una superficie de riego 200 m<sup>2</sup>, y un los datos de precipitación (mm) y Evaporación (mm) del SMN. Así mismo, se

considera un Coeficiente de tanque Evaporimétrico de 0,7. Los consumos obtenidos surgen de la diferencia entre la Precipitación neta disponible (PP) y los usos Consuntivos (UC) de la superficie verde.

| Uso                       | Mes  | Cfte tanque (Kp) | EVAP Tanque (mm) | Cfte cultivo (Kc) | Ciclo cultivo (días) | UC en (mm) | PP (mm) | UC - PP (mm) | Superf. (m <sup>2</sup> ) | Demanda (litros) |
|---------------------------|------|------------------|------------------|-------------------|----------------------|------------|---------|--------------|---------------------------|------------------|
| Área verde de la UNSE     | Ene. | 0.7              | 6.3              | 0.90              | 31                   | 123        | 108     | 15           | 200                       | 3088             |
|                           | Feb. | 0.7              | 5.3              | 0.90              | 28                   | 94         | 88      | 6            | 200                       | 1214             |
|                           | Mar. | 0.7              | 4.5              | 0.85              | 31                   | 82         | 66      | 16           | 200                       | 3266             |
|                           | Abr. | 0.7              | 3.4              | 0.80              | 30                   | 58         | 29      | 29           | 200                       | 5789             |
|                           | May. | 0.7              | 2.3              | 0.65              | 31                   | 33         | 13      | 20           | 200                       | 4040             |
|                           | Jun. | 0.7              | 1.5              | 0.60              | 0                    | 0          | 5       | 0            | 200                       | 0                |
|                           | Jul. | 0.7              | 2.1              | 0.48              | 0                    | 0          | 3       | 0            | 200                       | 0                |
|                           | Ago. | 0.7              | 3.2              | 0.60              | 31                   | 42         | 4       | 38           | 200                       | 7588             |
|                           | Sep. | 0.7              | 4.5              | 0.75              | 30                   | 71         | 10      | 61           | 200                       | 12138            |
|                           | Oct. | 0.7              | 5.9              | 0.85              | 31                   | 108        | 26      | 82           | 200                       | 16447            |
|                           | Nov. | 0.7              | 6.4              | 0.87              | 30                   | 117        | 53      | 64           | 200                       | 12721            |
|                           | Dic. | 0.7              | 6.6              | 0.90              | 31                   | 129        | 76      | 53           | 200                       | 10693            |
| <b>Demanda anual (m3)</b> |      |                  |                  |                   |                      |            |         |              |                           | <b>77</b>        |

Tabla N° 6: Cálculo de la demanda para riego (m3). Fuente: SCALL (INTA, 2017) y Elaboración Propia

Tal y como se ha indicado, los resultados anteriores, fueron iterados modificando la variable de área de riego, conforme a la capacidad del área de captación (que debe ser inferior a los 208 m<sup>2</sup> de área disponible).

| Demanda (m3) | PP neta (mm) | Área de captación necesaria (m2) |
|--------------|--------------|----------------------------------|
| 80           | 382          | 208                              |

Tabla N° 7: Ajuste de Cálculos. Fuente: SCALL (INTA, 2017) y Elaboración Propia

Los resultados obtenidos, muestran la factibilidad de utilizar las áreas techadas del pasillo principal de circulación de la sede central para realizar la captación y almacenamiento del agua de lluvia, y su utilización para riegos de mantenimiento de las áreas verdes de sede central. El aprovechamiento del agua de lluvia, permitiría una reducción en los consumos de agua de 77 m<sup>3</sup>, destinados a riego, que serían íntegramente aportados por las superficies cubiertas del pasillo central. El dimensionamiento realizado considera solamente el área de captación correspondiente a la galería mencionada. Teniendo en cuenta que la sede central de la UNSE dispone de grandes superficies techadas e impermeabilizadas, no contempladas en los cálculos realizados, podría plantearse la adecuación de las mismas para aprovechar el agua de lluvia, y por lo tanto incrementar los volúmenes disponibles destinados a riego de áreas verdes y limpieza de solados, con el consecuente ahorro de recursos hídricos.

## CONCLUSIÓN

Se determinó que en la sede central de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), es posible lograr eficiencia energética con el reemplazo de las lámparas existentes, por otras del tipo LED y con la generación de energía eléctrica para la iluminación de galerías, patio central y para mejorar las condiciones lumínicas del Patio de Actos y Ceremonias. A su vez, se identificó la necesidad de resolver las condiciones de uso en las galerías para los feriantes de “Santiago Diversidad”, quienes las usan como lugar de exposición de sus productos; ya que diariamente desde antes del mediodía y con lluvia se ven obligados a buscar refugio. Se propuso entonces, dos sistemas tecnológicos sustentables: un Sistema Fotovoltaico (SFV), aislado para la generación eléctrica que sirva a las necesidades de iluminación del sector considerado y un Sistema de Captación y Aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL), para aprovechar el agua de lluvia en riego y limpieza de diferentes superficies. Con esto se resuelven, no solo cuestiones referidas al aprovechamiento de la energía renovable del sol y del uso racional del recurso "agua potable", sino también, que se da solución a necesidades funcionales de la comunidad universitaria, tanto para los peatones que transitan, los feriantes que ocupan el sector de galerías y del patio central, como así también, para las actividades que puedan realizarse en el patio de actos, cubriendo la superficie mediante una estructura que de soporte al SFV, dándole a su vez mayor jerarquía. Así se evidencia, que es viable realizar propuestas de diseño tecnológico sustentable con integración arquitectónica, abordadas con un equipo interdisciplinar. Por lo tanto, este trabajo promueve la optimización energética de recursos hídricos, materiales y humanos, y colabora en avances hacia la Sustentabilidad del Hábitat Universitario, objetivo del Plan Estratégico UNSE (2019-2029).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alias, H. M.; Jacobo, G. J.; Martina, P. E. y Corace, J.J. (2012). Auditorías higrotérmicas de edificios según su diseño tecnológico - constructivo: el caso de la Facultad de Arquitectura de la UNNE. ADNea Revista de Arquitectura y Diseño del nordeste argentino- Vol 1 N.º 1- (Diciembre 2013) Pp. 63-76 -ISSN 2347- 064X
- Alonso-Almeida, M. del M.; Marimon, F.; Casani, F. y Rodríguez-Pomeda, J. (2014). Diffusion of sustainability reporting in universities: current situation and future perspectives. Journal of Cleaner Production, 106, 144-154. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.008>
- Ariusa (2007). Alianza de Redes Iberoamericanas de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente. Recuperado de <http://ariusa.net/es/sobre-ariusa/mision>
- Correa Sastoque, A. H. (2014), Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre de Colombia, sede Bosque Popular, Bloque P y Cafetería. Proyecto de grado presentado como pre-requisito para obtener el título de Ingeniero Ambiental por

la Universidad Libre de Colombia, dirigido por el ingeniero civil y magister en recursos hidráulicos Jesús Ernesto Torres Quintero. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11231>

-Delors, J.; Al Mufti, I.; Amagi, I.; Cameiro, R.; Chung, F.; Geremek, B.; Gorham, W.; Komhauser, A.; Manley, M.; Padrón Quero, M.; Savané, M. A.; Singh, K.; Stavenhagen, R.; Suhr, M. W.; Nanzhao, Z. (1996). La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre educación para el siglo XXI. Santillana, Ediciones UNESCO, 1996.

-Eyras, I.; Durán, J.; Parisi, F.; Eyras, R.; Álvarez, M. (2016). Proyecto IRESUD: Primeros ejemplos de Energía Solar Fotovoltaica Integrada a la Arquitectura (BIPV) en el país. Acta de la XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 4, pp. 13.01-13.10, 2016. Impreso en Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5

-Filippín, C.; Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2002). Simulación térmica de verano de un sector del bloque de residencias estudiantiles bioclimáticas en Santa Rosa, La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, ISSN 0329-5184, pp. 05.19-05.24, año 2002.

-Flores Larsen S., Filippín C., Lesino G. (2004) Monitoreo y Simulación del Comportamiento térmico de una escolar rural en Algarrobo del Águila, La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, Nº 1, 2004. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.

-Giuliano, G., Garzón, B. (2017). “FotovArq”: Programa de Cálculo de Sistemas Fotovoltaicos autónomos y su integración Arquitectónica. Obra inscripta en la DNDA, Formulario Nº 232.930, CABA, noviembre de 2017.

-Giuliano, G.; Garzón, B. (2018) Integración arquitectónica de sistema fotovoltaico en escuela estatal rural de Santiago del Estero, Argentina. Revista Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica: claves para el desarrollo. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. ISSN: 2422-6424

-Grossi Gallegos, H.; Righini, R. (2007) Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Eds. SECYT y Universidad Nacional de Luján (Argentina). ISBN: 978-987-9285-36-7

-IEADER (2020). Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. Recuperado de <https://ieader.unse.edu.ar/mision/>

-IRAM. (2012). 11.603: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.

-Köppen (1936). Das geographische system der klimate. Berlin Verlag von Grävuder Borntraeger, seite C13.

-Naciones Unidas, (2012). El futuro que queremos. Documento final de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible, RIO+20. Conferencia de la NU sobre el desarrollo sostenible.

-Nickisch, M. y Tosolini R., (2017). Software de dimensionamiento de Sistema SCALL V1.1. Sistema de Captación y Aprovechamiento de agua de Lluvia. Unidades.C.R. Santa Fe, E.E.A. Reconquista, E.E.A.

Rafaela, Tostado.<https://inta.gob.ar/documentos/software-de-calculo-de-sistema-de-captacion-y-aprovechamiento-de-agua-de-lluvia-scall-para-propositos-multiples>

-Ortiz Forero, W. A.; Velandia Bernal, W. D.(2017). Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partirde un modelo físico de recolección de agua.Proyecto de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Civil, dirigido por el ingeniero Henry Alberto Córdoba Romero. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15502>

-Pilar, C. (2017). Casos de integración arquitectónica de sistemas fotovoltaicos. Un abordaje matricial desde las formas, los usos y los significados. ARQUISUR REVISTA, Revista N° 11. Año N° 7. P.80: 93

-SMN (2015) Datos de Temperatura y Servicio Meteorológico Nacional en el período comprendido entre los años 2005 y 2015. Estación Meteorológica Santiago del Estero Aero.

-UNSE (2019). Plan Estratégico de la Universidad Nacional de Santiago del Estero 2019 – 2029. <https://www.unse.edu.ar/index.php/plan>

-Zapata González, L.; Quiceno Hoyos, A.; Tabares Hidalgo, L. (2016). Campus universitario sustentable. Revista de Arquitectura, vol. 18, num. 2, 2016. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1251/125148006010/html/index.html>

## **DOCUMENTOS DE CONSULTA**

Prieto Villarroya, J.; Carreras, R.; Lencina, S. (2019). Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (Cosecha de Agua). 1ª Jornada Regional de Arsénico. Santiago del Estero (2019) ISSN 2683 – 927X

S&A. (2018) Programa de infraestructura hídrica del norte grande - préstamo BID 2776/OC-AR - Plan Director cuenca del Salí Dulce - Provincia de Tucumán.