# Acondicionamiento Higrotérmico – Lumínico de Edificios Escolares en Zonas Urbanas de la Región N.E.A. Auditorías energéticas y propuestas de mejora mediante Diseño Solar Pasivo.

RESUMEN: El acondicionamiento higrotérmico y la iluminación natural cobran fundamental importancia en los edificios escolares situados en zonas urbanas de la Región NEA, caracterizada por su clima Muy cálido - húmedo, con alta disponibilidad de radiación solar y donde la luz y el calor, se convierten en factores antagónicos. La luz natural anticipa sobrecalentamiento por ganancias instantáneas y produce deslumbramiento molesto, que conlleva la incorporación de dispositivos de protección adicionales y el uso de luz artificial en forma permanente. En el marco de un Acuerdo de Trabajo suscripto entre la FAU - UNNE y el Ministerio de Educación de la Provincia del Chaco, se ejecutaron 63 auditorías termo-energéticas de 8 prototipos escolares de los niveles inicial, primario, secundario y terciario, localizados en la ciudad de Resistencia, que fueron analizadas estadísticamente obteniendo un diagnóstico global. Las mediciones permitieron validar modelos de simulación mediante software específico, definiendo una propuesta genérica de optimización con la que se obtuvieron mejoras termo-lumínicas y energéticas significativas. En base a ello, se desarrolló una metodología de "estimación del Factor de Vidriado (Fv) mediante regresión lineal multivariada" para el cálculo de áreas vidriadas óptimas de edificios escolares (tipologías abierta y compacta) a media orientación. Los resultados serán transferidos al Ministerio como base científica, a fin de contribuir a la reducción de los consumos eléctricos en el sector educativo de la ciudad.

PALABRAS CLAVES: Energía Solar; Factor de Vidriado; Bienestar termo-lumínico; Arquitectura Escolar; Articulación interinstitucional

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una base de datos consignando superficies óptimas de vidrio por m2 de fachada asoleada, (según su orientación, materiales constituyentes y colores de pintura exterior), para las tipologías de edificios escolares localizados en la ciudad de Resistencia (Región NEA), que optimicen sus condiciones de habitabilidad higrotérmica y lumínica, minimizando el consumo energético y maximizando el aprovechamiento de la energía solar en forma pasiva.

# **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- DESARROLLAR UN "BANCO DE DATOS TÉCNICOS" de relevamientos (situacionales, funcionales-relacionales y tecnológico constructivos) que facilite la obtención de un diagnóstico general y detallado de las tipologías características implementadas en la ciudad de Resistencia, que sea transferible a entidades gubernamentales y privadas que se ocupan de la temática.
- REALIZAR "AUDITORIAS TERMO-ENERGÉTICAS", del comportamiento higrotérmico - lumínico de edificios escolares de nivel inicial, primario, secundario y/o terciario, mediante:
  - II.1. Mediciones Experimentales In Situ
  - II.2. Contrastación de resultados con la aplicación de programas específicos de simulación dinámica (SIMEDIF y ECOTECT - Radiance).
- ELABORAR PROPUESTAS MEJORADORAS con variantes tecnológico-constructivas de los aventanamientos de los prototipos característicos, basadas en la optimización del rendimiento higrotérmico y lumínico de los mismos, que tiendan al aprovechamiento del recurso solar mediante estrategias de diseño bioclimáticas pasivas.
- IV. CONCRETAR UNA "BASE DE DATOS" con superficies óptimas de vidrio por m2 de fachada asoleada para los prototipos estudiados, adecuadas para la situación climática "muy cálido-húmeda" del N.E.A., transferible a organismos públicos y privados interesados.
- V. DIFUNDIR LOS RESULTADOS ALCANZADOS que sirvan de base científica para la formulación e implementación de futuros programas de infraestructura escolar oficiales o privados, de orientación para la capacitación de los actores involucrados e interesados en "diseño ambientalmente consciente" y para la formación ciudadana de los usuarios en el uso racional de la energía.

### **METODOLOGIA**

A.PRIMERA ETAPA. FASE INTRODUCTORIA DE RELEVAMIENTO y recopilación de antecedentes (marco teórico - conceptual). Se define el Universo de Estudio en que se circunscribirá el trabajo, así como los grandes ejes o campos temáticos del tema - problema a investigar. Sistematización de la información reunida, selección de las unidades de análisis con que se trabajará, y definición de los aspectos de interés (variables) a estudiar de cada unidad de análisis y que servirá de base a la siguiente etapa, de operacionalización.

- FASE ETAPA. SEGUNDA OPERACIONALIZACIÓN, ANALISIS DIAGNÓSTICO. Se aplican procedimientos de operación sobre las unidades de análisis seleccionadas, en este caso monitoreo experimental y simulación dinámica para obtener los resultados centrales de la investigación. La etapa concluye con la formulación de un diagnóstico situacional.
- C. TERCERA ETAPA. FASE PROPUESTAS DE DISEÑO OPTIMIZADO, en función de la economía energética edilicia, finalizando con la identificación y confrontación de los resultados obtenidos en relación a la hipótesis y a los cuerpos de saber existentes.
- D. CUARTA ETAPA. DIFUSIÓN PÚBLICA Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS. Se desarrolló paralelamente a las anteriores mediante la publicación y divulgación de los resultados parciales obtenidos.

# RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Considerando el problema central de la investigación, la INTERACCIÓN ANTAGÓNICA entre la LUZ NATURAL y la TEMPERATURA INTERIOR de los locales, se contempló como una de las principales variables de diseño de edificios con aprovechamiento pasivo de energía solar, el ÁREA DE VIDRIO EN RELACIÓN AL ÁREA DE PISO Y AL ÁREA DE FACHADA DE UN LOCAL. En la ciudad de Resistencia (27,45° Lat. Sur; 59,05° Long. Oeste; Alt. 52 msnm), que pertenece a la zona bioambiental "l-b", muy cálida – húmeda (IRAM 11603, 1996), las ventanas de los edificios colectan radiación solar en cualquier época del año, debido a que su trama urbana se encuentra a MEDIA ORIENTACIÓN (45° con respecto al Norte verdadero). Esto no es contemplado por la Normativa de infraestructura escolar vigente, que establece el porcentaje de área de vidrio por área de piso que se debe instalar para ventilación e iluminación en locales a orientación plena y no considera la geometría del local. A igual área de piso, un local de planta rectangular tendrá mayor intercambio térmico con el exterior que uno de planta cuadrangular de la misma altura al tener mayor área de envolvente. Esto puede dar lugar a sobrecalentamientos incluso en otoño. A partir de este trabajo se lograron APORTES CONCRETOS para su transferencia al Ministerio de Educación del Chaco como principal beneficiario, en el marco del ACUERDO DE TRABAJO suscripto, además de HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS que se pueden extrapolar a otras regiones bio-ambientales:

#### 1. BANCO DE DATOS TÉCNICOS DE EDIFICIOS ESCOLARES DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA (RELEVAMIENTOS Y MONITOREOS)

Herramienta de consulta y evaluación.

A partir de un Universo de estudio de 60 prototipos escolares, se definió una muestra edilicia de 35 unidades de análisis de todos los niveles educativos y de distintos períodos de gestión de gobierno, y se realizaron 63 monitoreos del comportamiento higrotérmico y lumínico de 8 prototipos seleccionados (de los cuales 2 fueron descartados del análisis), mediante instrumental de última generación aportado por el MECCyT. Dicho instrumental consistió en 20 Dataloggers inalámbricos HOBO (USA) T°/%HR/LUZ MOD.U12-012 para la medición de variables internas y una Estación Meteorológica ONSET (USA) H21-002 para el registro de las variables meteorológicas correspondientes. El sector de medición quedó conformado como un triángulo equilátero que interconecta los prototipos agrupados por su cercanía. Los monitoreos se efectuaron en períodos de 10 días cada uno, en forma rotativa e ininterrumpida desde abril de 2012 hasta marzo de 2013 inclusive e incluyeron además, encuestas a docentes y alumnos, charlas informativas y observaciones directas.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE "INDICADORES TERMO -FÍSICOS E ÍNDICES DE CONFORT HIGROTÉRMICO – LUMÍNICO"

análisis procedimental para comparativo de mediciones de variables internas y externas realizadas simultáneamente.

Se realizó un extenso análisis estadístico, de acuerdo a rangos de confort apropiados para el clima del NEA, correlacionando múltiples variables simultáneamente. Entre ellos, el FACTOR DE VIDRIADO (Fv) constituyó el aporte original, un parámetro que permite relacionar las variables más significativas de la envolvente edilicia por orientación: [(Ec. 1)]. Se obtuvo un DIAGNÓSTICO GLOBAL, verificando que el ÁREA DE ENVOLVENTE TOTAL (opaca + vidriada) es la variable más influyente en las condiciones de disconfort higrotérmico. El aporte energético de cada componente está desfasado en el tiempo y ambos pueden conducir a sobrecalentamientos en sus períodos de actuación. Considerando que los casos auditados representan un universo mayor, se determinó que los edificios escolares implementados en Resistencia, carecen de condiciones de bienestar higrotérmico y lumínico adecuadas, en todas las estaciones del año, siendo más crítico su comportamiento en periodos de otoño y primavera. No obstante ello, se determinaron los CASOS DE MEJOR Y PEOR COMPORTAMIENTO, que fueron tomados como referencia: dos edificios de nivel primario / terciario de similar tecnología constructiva, que tienen significativas diferencias en su performance energética, debido a su configuración tipológica (planta abierta con dos frentes de iluminación y ventilación / planta compacta con un solo frente).

PROMEDIOS ANUALES donde: 1.10 α : absortancia solar promedio ponderada de todas las superficies exteriores de un local según su color de 0.40 terminación Av: área total de vidrio en ventanas y puertas EP 1058 JI 174 EP 373 EP 116 EP 26 ES 75 expuestas al exterior. 1.10 1.13 1.29 1.11 1.11 1.26 0.80 PROMEDIO 0.84 0.89 Aexp: área de fachadas y 0.81 0.15 0.10 0.48 0.43 0.22

PROMEDIOS ANUALES EP 1058 JI 174 EP 116 EP 26 ES 75 EP 373 0.65 0.87 0.75 0.82 0.60 0.91 0.23 PROMEDIO 0.27 0.00 0.00 0.01 0.00 Comparación de Indices de Confort Temporal I<sub>T</sub> (T + HR) anuales de los edificios monitoreados.

COMPORTAMIENTO MONITOREOS DEL HIGROTÉRMICO - LUMÍNICO Y SU CONTRASTACIÓN CON PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DINÁMICA (SIMEDIF Y ECOTECT - RADIANCE)

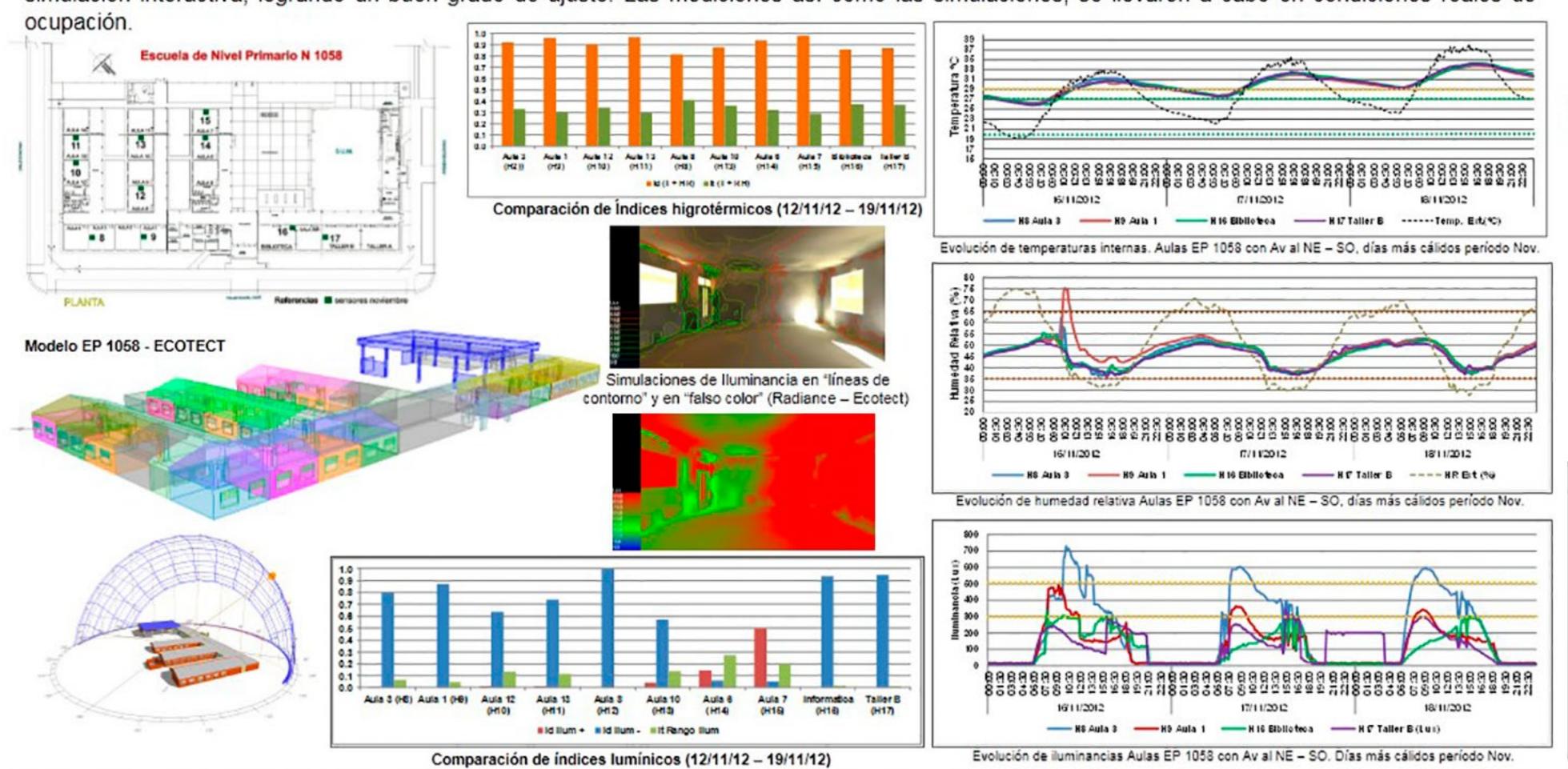
Comparación de Indices de Disconfort In (T + HR) anuales de los

edificios monitoreados.

Herramienta para la toma de decisiones por parte de los profesionales responsables. Antecedente de nivel científico para la obtención de ayuda sobre futuras inversiones con eficiencia

Con los edificios auditados durante un año y más de 100 locales monitoreados se identificaron patrones de comportamiento de todos los niveles educativos. lo que posibilitó validar modelos teóricos realizados mediante software específico. Se utilizó el programa SIMEDIF (http://exactas.unsa.edu.ar/simedif/) ampliamente validado para la evaluación de temperaturas y el programa ECOTECT (www.autodesk.com/ecotectanalysis) como apoyo para evaluación de radiación solar e iluminación natural mediante su interfaz RADIANCE, en una metodología de simulación interactiva, logrando un buen grado de ajuste. Las mediciones así como las simulaciones, se llevaron a cabo en condiciones reales de

energética.



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

techos expuestos al

exterior descontando A<sub>v</sub>

IRAM 11603:2011. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. IRAM 11605:1996. Acondicionamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen

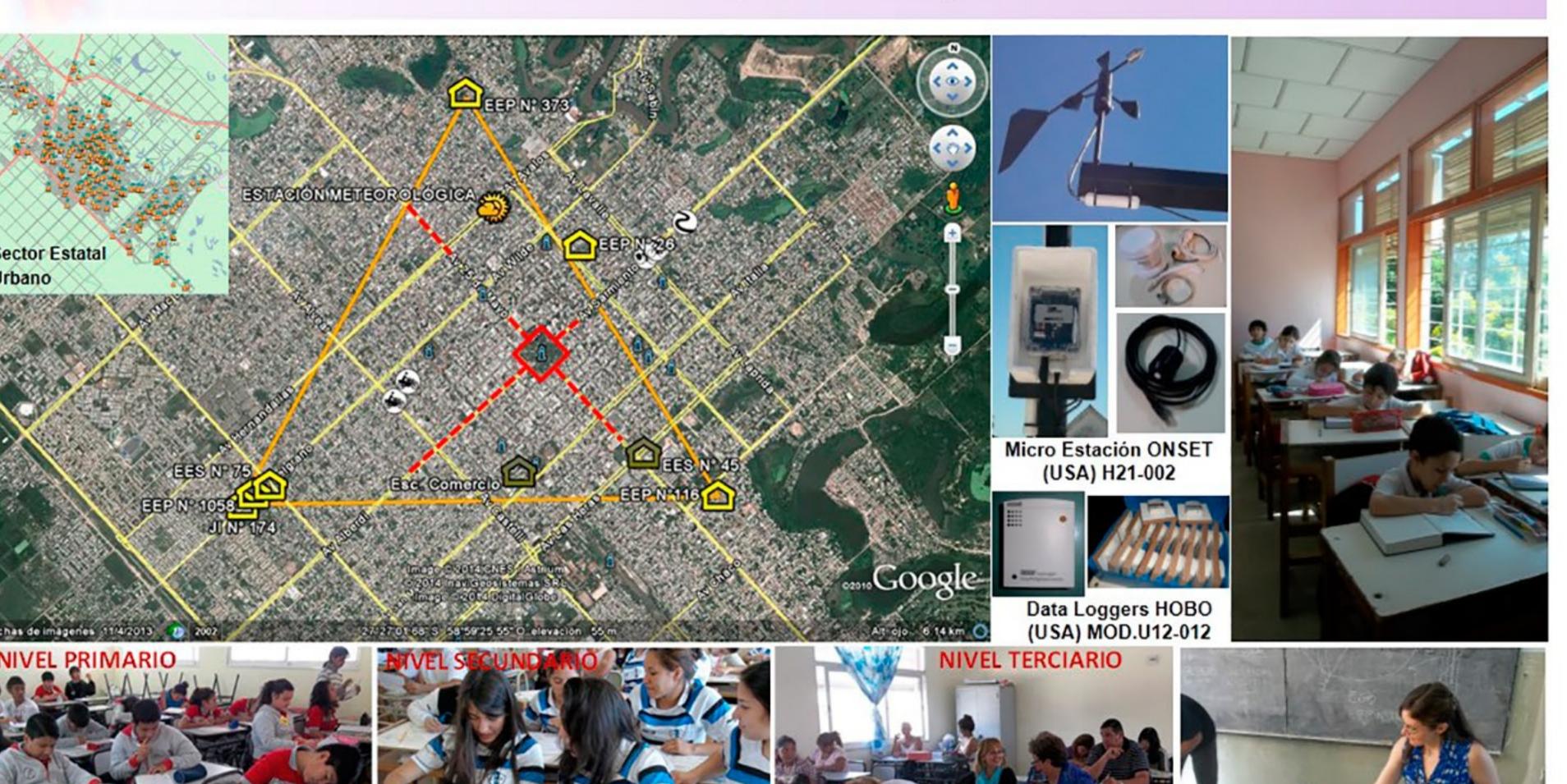
estacionario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

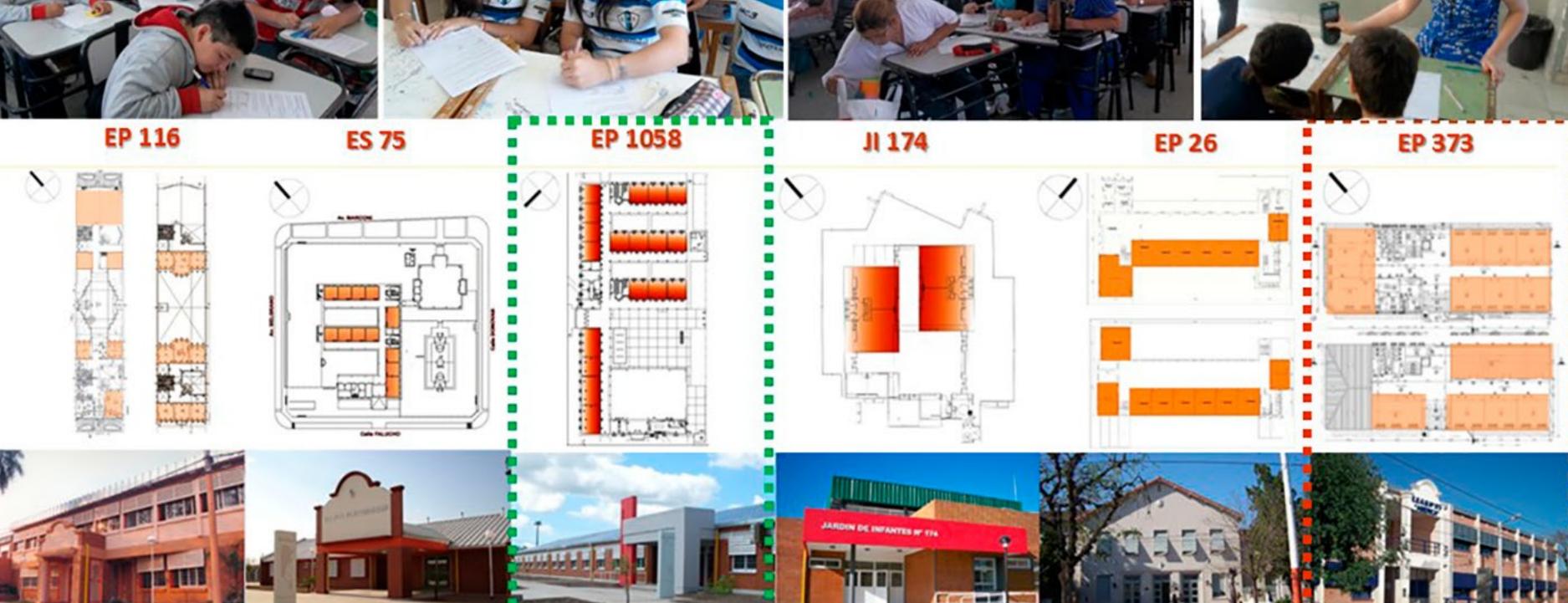
IRAM 11507 4: 2010. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4. Requisitos complementarios. Aislación térmica. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

## Autora: Dra. Arq. María Laura Boutet

Datos personales: lauraboutet@yahoo.com.ar; Tel. (0362) 4426688; Formosa 287 (3500) Resistencia - Chaco Datos institucionales: Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta. Tesis del Doctorado en Ciencias - Área de Energías Renovables. Director: Dr. Alejandro Luis Hernández (FCE – UNSa.); Codirector: MSc. Arq. Guillermo José Jacobo (FAU – UNNE). Fuentes de financiamiento: Becas Internas Tipo I y Tipo II Cofinanciadas CONICET – UNNE / Fondos del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco s/ Acuerdo de Trabajo suscripto con la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste. Fecha de culminación: 12/10/2017. Defensa: 20/03/2018 (Calificación Sobresaliente 10) Categoría: Investigadora Formada, Categoría 3 – Programa de Incentivos (SPU).

Área temática: 3) Científico – tecnológica



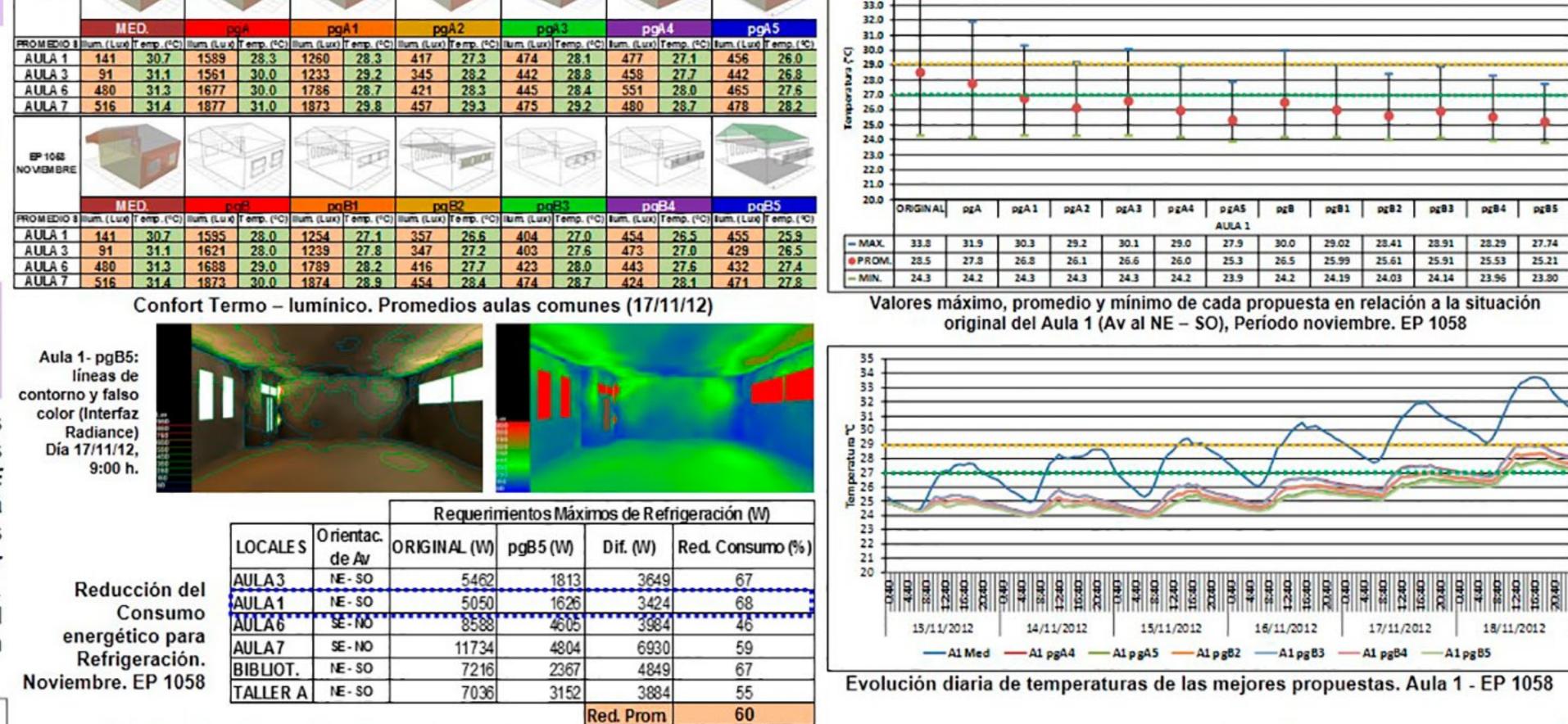


. PROPUESTAS DE MEJORAS TECNOLÓGICA-CONSTRUCTIVAS

"Propuesta genérica" con sus variantes, como punto de anclaje para otros casos de estudio.

Tras la simulación sistemática de múltiples alternativas de optimización, para los casos de mejor y peor comportamiento, se definió una propuesta genérica que implicó la regulación de las áreas vidriadas y el diseño integrado de sus dispositivos de protección solar, como así también el tratamiento de la envolvente opaca encuadrada en las normativas de habitabilidad vigentes (IRAM 11605:1996; IRAM 11507 4: 2010) en forma integral. Se obtuvieron mejoras térmicas significativas en el período más desfavorable de noviembre, que se reflejaron en la reducción del requerimiento de energía auxiliar para refrigeración, de 60 % en promedio, con un máximo absoluto de 68% en el primer caso y de 41 % en promedio con un máximo absoluto de 57 % en el segundo, corroborándose así la hipótesis de la investigación:

"El aprovechamiento del recurso solar, a partir de estrategias de diseño bioclimáticas pasivas, proporcionará una reducción substancial en el consumo de energías convencionales en edificios escolares de la ciudad de Resistencia, permitiendo alcanzar el confort higrotérmico – lumínico y por consiguiente las condiciones de habitabilidad necesarias para el desarrollo de la labor educativa."

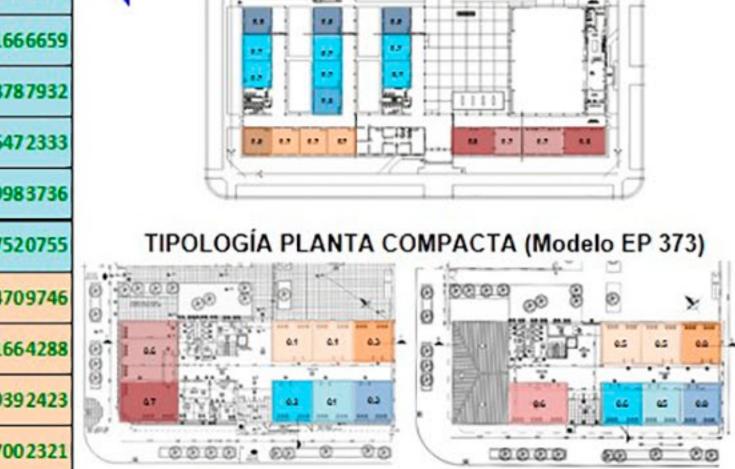


Compatibilidad térmico - lumínica en el caso de mejor comportamiento, dada la configuración de su tipología edilicia (abierta), determinante en el correcto aprovechamiento de la energía solar como recurso renovable y en la regulación de las demás variables ambientales. Los resultados de la propuestas de mejora se sistematizaron siguiendo dos líneas de acción:

#### 5. BASES DE DATOS DE ÁREAS VIDRIADAS Y DE **FACTORES DE VIDRIADO**

Cálculo de Av de edificios escolares similares a los de referencia. Consulta directa de las variables de proyecto de las recomendaciones referidas al uso de dispositivos de protección solar y climatización auxiliar.





TIPOLOGÍA PLANTA ABIERTA (Modelo EP 1058)

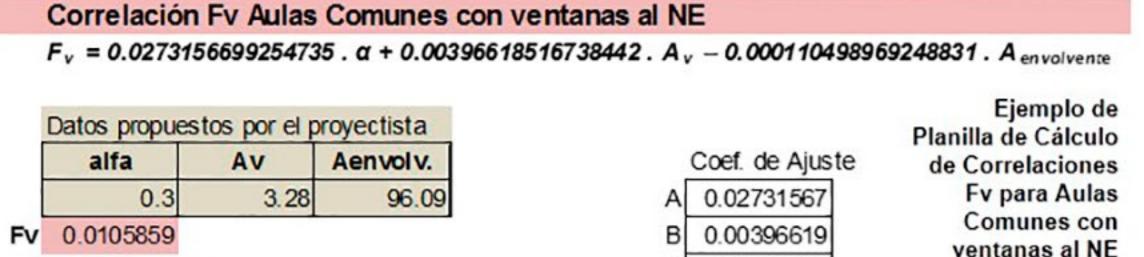
#### 6. CORRELACIONES DE FACTORES DE VIDRIADO MEDIANTE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIADA

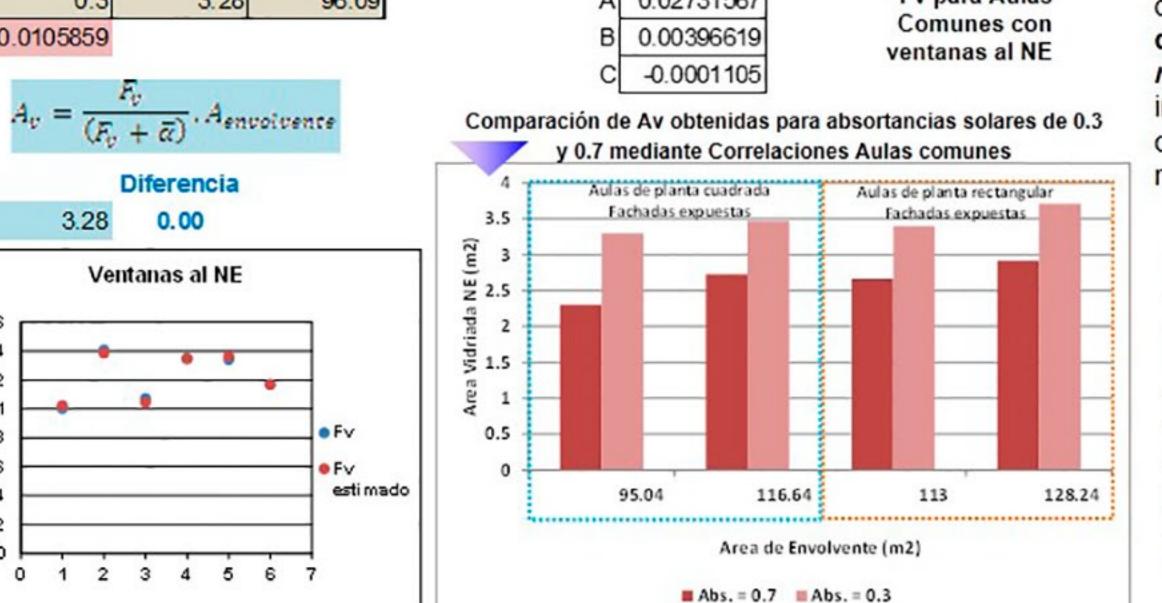
3.28

0.008

Ventanas al NE

Herramienta de cálculo de Av óptimas transferible y de factible actualización, para las tipologías abierta y compacta, de los niveles Inicial, Primario, Secundario y Terciario, considerando las 4 orientaciones de ventanas - NE, SO, SE y NO).





Dada una relación funcional entre las variables {F<sub>v</sub>, α, A<sub>v</sub> y A<sub>envolvente</sub>} tal que [(Ec.2)]:

# $F_{\text{vestimado}} = A.\alpha + B.A_v + C.A_{\text{envolvente}}$

donde A, B y C son coeficientes constantes a determinar por regresión multivariada y, conocidos m valores de cada una de las variables independientes a,  $A_v$  y  $A_{envolvente}$ , se pueden obtener m valores de la variable dependiente  $F_v$ mediante su ecuación de definición [(1)].

Esta metodología de estimación se desarrolló a fin de generalizar el cálculo para otras tipologías, además de las de referencia. Dichas correlaciones permiten determinar, realizando iteraciones, los valores de Av que implican un comportamiento térmico - lumínico óptimo, pues son el resultado del extenso análisis estadístico de monitoreos propuestas de mejora para prototipos escolares representativos de zonas urbanas de la Región NEA.

Los resultados de la tesis constituyen un aporte novedoso al conocimiento, pues no existen estudios sistemáticos, que tengan en cuenta las cuestiones térmicas y lumínicas de forma simultánea con una ocupación intermitente, para un centro urbano a media orientación como la ciudad de Resistencia. Su aplicación contribuirá a reducir la demanda de energía eléctrica del sector educativo de la ciudad, mediante el aprovechamiento pasivo de una fuente natural tan abundante como la energía solar. "Se espera concientizar a los funcionarios involucrados en la obra pública educacional sobre estos beneficios, principalmente en lo que respecta a la mejora del desempeño de la labor educativa. El edificio escolar debe constituir un punto de referencia sólido para modelar conductas más respetuosas con el medio ambiente."