

# IMPLEMENTACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA, CHACO

**María Laura BOUTET / Alejandro L. HERNÁNDEZ / Guillermo J. JACOBO**

María Laura Boutet. Docentes e investigadores categorizados. Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología y la Producción. FAU, UNNE – CONICET. Email: lauraboutet@yahoo.com.ar

Alejandro L. Hernández. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), UNSa. – CONICET. Email: alejoher65@gmail.com

Guillermo J. Jacobo. Docentes e investigadores categorizados. 1 Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología y la Producción. FAU, UNNE – CONICET. Email: gjjacobo@arq.unne.edu.ar

Palabras Clave: Monitoreos, infraestructura escolar, articulación interinstitucional.  
*Keywords: Monitoring, school infrastructure, interinstitutional joint.*

## RESUMEN

En el marco de un acuerdo de trabajo suscripto entre la FAU, UNNE y el Ministerio de Educación de la Provincia del Chaco, se realizaron 63 monitoreos del comportamiento higrotérmico y lumínico de ocho edificios escolares de la ciudad de Resistencia, durante un año, mediante instrumental de última generación aportado por el ministerio, incluyendo entrevistas, encuestas y charlas informativas a docentes y alumnos. Como resultado se verificó que dichos edificios carecen de condiciones de bienestar adecuadas, en todas las estaciones del año. Las mediciones realizadas permitirán validar modelos teóricos obtenidos mediante programas informáticos de simulación dinámica, para la elaboración de propuestas de optimización.

## ABSTRACT

*In the frame of an agreement of work signed between the FAU, UNNE and the Ministry of Education of the Province of Chaco, were realized for a year, 63 monitorings of the hygrothermal behavior and of the light in eight school buildings of the city of Resistencia, by using last generation instruments contributed by the Ministry. It also included interviews, surveys and informative talks to teachers and students. As a result it was found that those buildings lack proper welfare conditions in all seasons of the year. The measurements will validate theoretical models obtained by dynamic simulation software for the making of proposals for optimization.*

## OBJETIVOS

- Exponer la metodología implementada para auditar establecimientos educativos, en el marco del acuerdo de trabajo suscripto entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (FAU – UNNE) y el Ministerio de Educación Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco (MECCyT), orientada a obtener un diagnóstico de la situación energética del parque edilicio educativo de la ciudad de Resistencia.
- Analizar los resultados preliminares correspondientes a las auditorías energéticas efectuadas durante un año, en tres edificios del complejo educativo del barrio San Miguel de la ciudad de Resistencia.

## INTRODUCCIÓN

Se presentan las actividades implementadas en el marco del acuerdo de trabajo suscripto entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (FAU – UNNE) y el Ministerio de Educación Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco (MECCyT) el 03/06/2010, ratificado por Resolución Ministerial N.º 3357 del 14/06/2010. Dicho acuerdo se celebró como aval interinstitucional para el desarrollo de la tesis del Doctorado en Ciencias, Área Energías Renovables de la Universidad Nacional de Salta de la docente e investigadora de la FAU – UNNE Arq. MARÍA LAURA BOUTET, titulada *“Acondicionamiento Higrotérmico – Lumínico de Edificios Escolares en zonas urbanas de la Región NEA. Auditorías energéticas y propuestas de mejoras mediante Diseño Solar Pasivo”*.

Dicha tesis se encuadra, además, en el Programa de Becas de Posgrado Cofinanciadas entre el CONICET y la UNNE (Tipo I, período 01/04/09 – 31/03/12 y Tipo II, período 01/04/12 – 31/03/14), bajo la dirección del Dr. Alejandro Luis Hernández (INENCO – UNSa.) y la codirección del Arq. MSc.

Guillermo José Jacobo (FAU – UNNE). Tiene como antecedentes directos proyectos de investigación aplicada acreditados, ejecutados y en ejecución (PI-C001-2010), en la cátedra Estructuras II-FAU-UNNE, como así también trabajos de campo cuyos resultados fueron divulgados en diferentes publicaciones científicas (BOUTET, M. L. ET AL. 2010a, 2010b, 2011, 2012).

La finalidad del acuerdo es transferir los resultados de la tesis doctoral como base científica para la formulación e implementación de nuevos programas de infraestructura escolar, mediante el aprovechamiento de la *“Energía Solar Térmica Pasiva”*, con el compromiso del Ministerio de Educación de adquirir el instrumental de última generación necesario para realizar auditorías energéticas en establecimientos educativos dependientes de él. La entrega de los instrumentos de medición se concretó exitosamente en marzo de 2012. Con ellos se ha ejecutado un total de sesenta y tres monitoreos de aproximadamente diez días de duración cada uno, del comportamiento higrotérmico-lumínico de ocho tipologías representativas de edificios escolares del Nivel Inicial, Primario, Secundario y Terciario de la ciudad de Resistencia, en forma rotativa e ininterrumpida desde abril de 2012 hasta marzo de 2013 inclusive, y el registro de variables meteorológicas correspondiente.

Se realizaron, además, entrevistas a las autoridades de los establecimientos educativos y registro sobre las condiciones de uso y situación de confort de las aulas. A modo de primera transferencia, se brindaron charlas informativas sobre *“Condiciones de Bienestar Higrotérmico en el Aula y Energía Solar”*, a docentes y alumnos de los distintos establecimientos educativos y encuestas. En forma simultánea, se realizaron mediciones instantáneas de temperatura, humedad relativa e iluminación natural y artificial, a fin de conocer la percepción subjetiva de los usuarios. Actualmente, se continúa con la

etapa de procesamiento de resultados y análisis estadístico de los monitoreos realizados, y se inició la modelización y simulación mediante herramientas informáticas, de los casos en estudio, para su contrastación, calibración y elaboración de propuestas de diseño optimizado.

## DESARROLLO

El trabajo se fundamenta en la importancia que cobra el control del ingreso de radiación solar a los edificios escolares, situados en zonas urbanas de la Región Nordeste Argentina, caracterizada por su clima "muy cálido-húmedo", donde la luz y el calor se convierten en factores antagónicos desde el punto de vista del diseño. La búsqueda de máximas superficies vidriadas para garantizar los niveles de iluminancia sobre el plano de trabajo que promuevan un adecuado rendimiento en las actividades educativas se contraponen con la necesidad de evitar el sobrecalentamiento de las superficies o masas interiores y, por consiguiente, del aire interior.

En el caso de la ciudad de Resistencia, cuya trama urbana se encuentra a media orientación (45 grados con respecto al norte geográfico), por lo que las ventanas de los edificios colectan radiación solar en cualquier época del año, no sería válida la aplicación de los valores recomendados por la Normativa de infraestructura escolar vigente (MCEN, 1996), basada en las Normas IRAM. Esta limita los tamaños de aventanamientos definiendo la relación de áreas vidriadas por área de piso en locales con orientación plena. Además, la geometría demuestra que, a igual área de piso, un aula de base rectangular tiene más área de paredes expuestas al sol que una de base cuadrangular de la misma altura. Esto puede originar mayores flujos de calor a través de los muros asoleados en el primer caso y, por consiguiente, dar lugar a sobrecalentamientos. *Por tal motivo, la investigación*

*se orienta a la determinación de criterios para dimensionar áreas adecuadas de vidriado por área de piso y área de fachada expuesta, que permitan lograr las condiciones de habitabilidad higrotérmica y lumínica necesarias. Los resultados de este trabajo constituirán un aporte significativo dentro del ámbito académico-científico universitario, y contribuirán concretamente a disminuir los consumos eléctricos en el sector educativo de la ciudad, lo cual es altamente favorable para la economía regional, pues se trata de disposiciones de diseño puramente arquitectónicas, mediante el aprovechamiento de la "Energía Solar Térmica Pasiva", uno de los pilares de la "Arquitectura Bioclimática", minimizando la necesidad de incorporar medios activos convencionales de acondicionamiento. En función de lo expresado precedentemente, se presentan en este documento la metodología del estudio experimental realizado y los resultados preliminares correspondientes a los monitoreos higrotérmico-lumínicos efectuados durante un año, en tres edificios del complejo educativo del barrio San Miguel de la ciudad de Resistencia.*

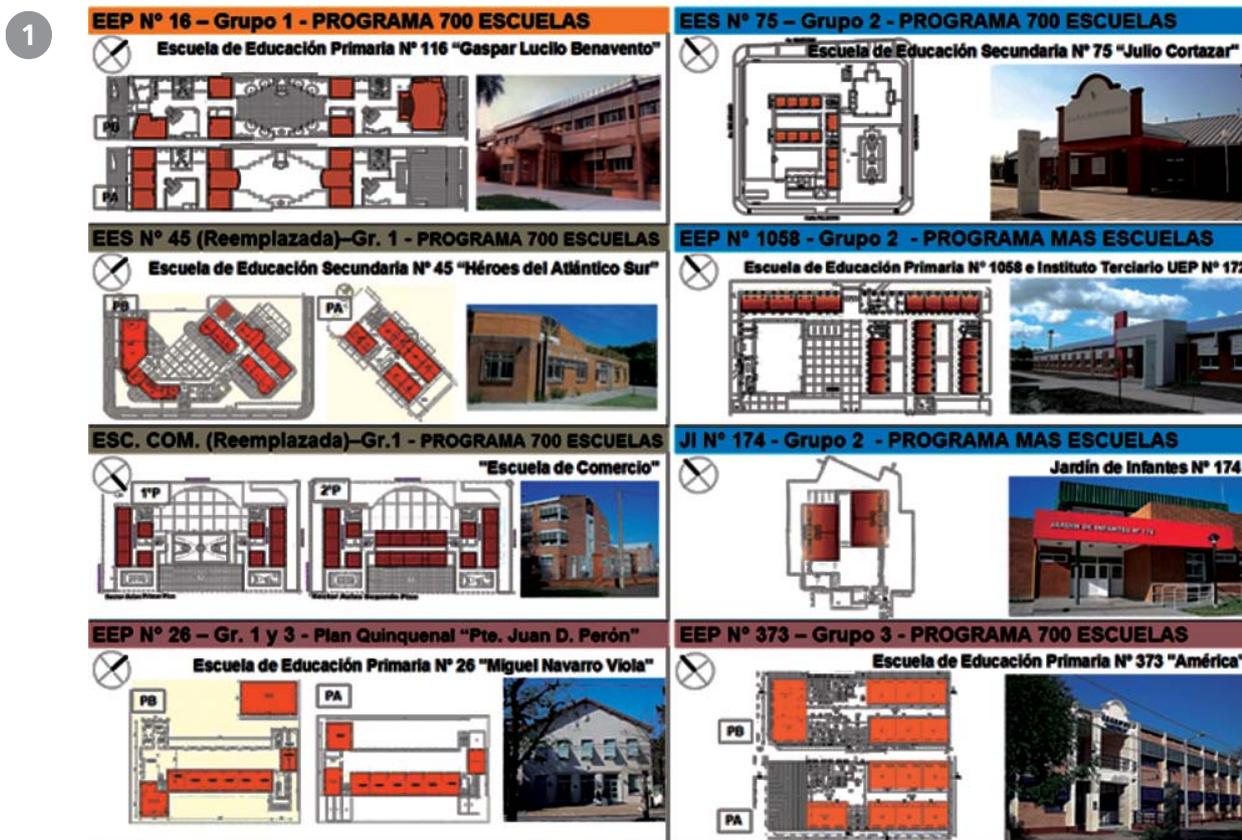
## METODOLOGÍA

A continuación se describen los pasos metodológicos del estudio experimental y el equipo de medición utilizado.

**Selección de prototipos.** A partir de un universo de sesenta edificios escolares implementados en la ciudad de Resistencia, que fueron sistematizados en un banco de datos técnicos de relevamientos, verificando situaciones diferenciadas de implantación (céntrica, barrial, periurbana), orientación, conformación tipológica (partido lineal abierto con galerías y partido compacto de doble y simple crujía, de una a tres plantas) y soluciones tecnológico-constructivas (tecnología tradicional pesada y semipesada), se seleccionaron ocho establecimien-

Fig. 1. Prototipos monitoreados

Fig. 2. Área de cobertura del estudio, ciudad de Resistencia. Localización de prototipos seleccionados



tos que han sido referentes en distintos períodos de gestión de gobierno, repitiéndose significativamente en la Región NEA. El criterio de selección se basó fundamentalmente en el hecho de que estos tienen una alta exposición a la radiación solar directa (Fig. 1 y fig.2).

Debido a inconvenientes externos al trabajo de investigación, la Escuela Secundaria N.º 45 Héroes del Atlántico Sur solo se monitoreó en el mes de mayo. La Escuela de Comercio se monitoreó en su reemplazo en los meses de junio y agosto, pero debido a las deficientes condiciones de seguridad del establecimiento, se produjo el hurto de uno de los sensores instalados, por lo que se decidió reemplazarla por la Escuela de Educación Primaria N.º

26 Miguel Navarro Viola. Esta última se monitoreó en dos períodos por mes a partir de septiembre, al tratarse del único prototipo seleccionado del Plan Quinquenal del Gobierno del Gral. J. D. Perón, siendo un caso de interés desde el punto de vista tecnológico-constructivo, para ser contrastado con los demás casos de gestión más reciente.

Área de cobertura del estudio. El sector de medición quedó definido por un triángulo equilátero de 3.3 km de lado aproximadamente, que interconecta las tipologías seleccionadas y agrupadas según su proximidad (Fig. 2). La estación meteorológica se instaló dentro del triángulo de medición en un domicilio particular, siendo la distancia a la escuela más lejana de solo 2.6 km. Ello posibilitó

Fig. 3. Equipo de medición. Componentes de la estación meteorológica

Fig. 4. Adquisidores de Datos HOBO. Sistema de fijación y conexión a PC portátil

3



4



la descarga de datos y verificación de su funcionamiento en cualquier momento, además de evitar los inconvenientes que acarrearía el traslado de un lugar a otro.

### Equipo de medición

**A. Estación Meteorológica.** Incluye los siguientes componentes:

- **Micro Estación ONSET (USA) H21-002:** rango de operación de -20° a 50°C con baterías alcalinas AA estándar; 4 entradas para sensores, puerto serial de comunicación.
- **Sensor de Radiación Solar:** Piranómetro de Silicio HOBO (USA) S-LIB-M003: rango de medición de 0 a 1280 W/m<sup>2</sup>; rango espectral de 300 a 1100 nm.
- **Sensor de Temperatura y Humedad Relativa ONSET (USA) S-THB-M002:** rango de -40° C a 75° C y de 0-100 % RH con un rango de trabajo comprendido entre -40° C y 75° C; incluye abrigo meteorológico HOBO MOD. M-RS3.
- **Sensor de velocidad y dirección de viento. Veleta y Anemómetro ONSET (USA) MOD. S-WCA-M003:** rango de medición de 0 a 45 m/s.

Para su instalación, fue necesario montar una estructura de soporte, conformada por un mástil de 4.00 m con una cruceta de 0.05 m x 0.05 m de sección y 0.80 m de largo, donde se ubicaron los

sensores, quedando el sensor de vientos a 10 m de altura sobre el nivel de suelo (Fig.3). Finalmente, se conectó un cable interface de 10 m de largo para poder descargar los datos medidos a un ordenador y verificar su funcionamiento periódicamente.

### B. Adquisidores de Datos (20 unidades).

**Data Logger HOBO (USA) para T°/%RH/LUZ MOD.U12-012:** Dispositivo inalámbrico; rango de medición: -20° C a 70° C de temperatura, 5 % a 95% de humedad relativa, 1-3000 candelas de intensidad de luz, canal de entrada externa de 0 a 2.5 voltios de CC. Los adquisidores se fijaron sobre una base de MDF, asegurados mediante un fleje de chapa atornillado, dejando libre la parte de toma de temperatura/humedad y luz y el puerto USB para su conexión a PC portátil. Cada adquisidor con su base se fijó con tornillos y tarugos en una las paredes de cada aula seleccionada (generalmente la opuesta al pizarrón) a 2.10 m de altura y en la parte central, equidistantes a las ventanas que están en las caras laterales, quedando protegidos de la radiación solar directa y de la incidencia de los equipos de climatización. La placa de MDF impide que el sensor esté en contacto con la pared, al quedar un espacio entre ambos para que circule el aire y el dispositivo no tome la temperatura superficial de la pared (Fig. 4).

Fig. 5. Cronograma de monitoreos de edificios escolares. Años 2012 – 2013

5

CRONOGRAMA DE MONITOREO DE EDIFICIOS ESCOLARES - RESISTENCIA, CHACO.										AÑO 2012			AÑO 2013		
		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO		
G1	EEP N° 116														
	EEP N° 26														
	EES N° 45														
	ESC. COM.														
G2	EES N° 75														
	EEP N° 1058														
	Ji N°174														
G3	EEP N° 26														
	EEP N° 373														

Fig. 6. Imágenes de las charlas y encuestas desarrolladas en diferentes niveles educativos



Las mediciones de iluminancia son representativas del promedio de iluminación natural y artificial del local, no siendo objetivo registrar iluminancias sobre el plano de trabajo (0,80 cm), como es recomendado, sino obtener un promedio del local que permita orientar el análisis de los datos de temperatura y humedad, pudiendo atribuir los sobrecalentamientos a la incidencia solar directa, cuando haya aumentos excesivos de iluminancia o derroche de energía, cuando quedan las luces prendidas de noche.

Este sistema permitió su colocación y retiro en cada establecimiento con gran practicidad, acorde con los tiempos requeridos para cada serie de monitoreos, y fue la única alternativa posible para resguardar la integridad de los sensores y la fidelidad de las mediciones.

C. Todo el equipo se operó mediante el Kit de Conectividad A PC (software, cables interfase y adaptador) para estación meteorológica y dataloggers, estableciéndose un intervalo de medición de 10 minutos (Fig. 4).

**Cronograma de Monitoreos.** Se ejecutó un cronograma de medidas en forma ininterrumpida desde el mes de abril de 2012 hasta el mes de marzo de 2013 inclusive. En el cronograma se observa que cada mes fue dividido en tres períodos de diez días cada uno (Fig. 5).

Cada mes se monitorearon siete edificios agrupados, por su cercanía, en tres grupos identificados con un color distintivo. Los de color amarillo se monitorearon durante la primera decena de cada mes (en gris aparecen las escuelas que fueron reemplazadas), los de color celeste durante la se-

gunda decena y los de color lila durante la tercera decena. En el caso particular de las vacaciones de julio se monitorearon la Escuela Primaria N.º 1058 y el Jardín de Infantes N.º 174, por presentar mejores condiciones de seguridad. En las vacaciones de verano, se monitorearon la Escuela Secundaria N.º 75 y la Escuela Primaria N.º 26, en las que se desarrolló el programa "Escuela de Verano". Dicha programación responde a la necesidad de obtener una buena base de datos para el análisis estadístico que realizar, como así también obtener el máximo aprovechamiento del número de sensores disponibles, alternando los locales medidos cada mes".

**Charlas, entrevistas y encuestas.** Las auditorías implican la medición de los parámetros ambientales (respuesta objetiva) y el sondeo de los factores de confort del usuario, derivados de su percepción (respuesta subjetiva).

En función de ello, se realizaron entrevistas a las autoridades de los establecimientos, se confeccionaron planillas de registro sobre las condiciones, régimen de uso de las aulas monitoreadas, grado de satisfacción general frente a las condiciones higrotérmicas y lumínicas, variaciones de uso de climatización auxiliar en verano y en invierno e iluminación natural y artificial y patrones de uso de dispositivos de oscurecimiento. Esto fue completado por los docentes y preceptores durante los monitoreos. Esta tarea se vio complicada por los numerosos paros docentes, jornadas de capacitación y días feriados del ciclo 2012, por lo que paralelamente se realizaron observaciones directas. (Figura 6. Figura 7).

Las encuestas fueron realizadas a docentes y alumnos según el nivel educativo, sobre la base de la experiencia de SAN JUAN, G. (2008), sobre las dife-

Fig. 7. Imágenes de la charla y encuesta desarrollada en 6.º grado de la Escuela Primaria N.º 26



rentes variables de confort, en todos los establecimientos educativos y en distintas épocas del año y horas del día (Fig. 6).

Como introducción a cada encuesta se brindaron charlas informativas sobre “*Condiciones de Bienestar Higrotérmico en el Aula y Energía Solar*”, con una activa participación de docentes y alumnos.

Cada encuesta se realizó en un período de cuarenta minutos. Se incluyeron simultáneamente mediciones instantáneas a nivel de pupitre (temperatura, humedad relativa, iluminación natural y artificial) mediante un multímetro digital auto rango 5 en 1 - MS8229 – MASTECH, con termocupla Tipo K, posibilitando el mapeo y la comparación de las distintas posiciones dentro del aula y a fin de verificar, a modo didáctico, si concordaba la percepción de los usuarios con los estándares de confort (Fig. 7).

**Análisis Estadístico.** A fin de determinar parámetros que permitan evaluar la cantidad de área vidriada adecuada según el área de fachada expuesta a la radiación solar, se definieron los siguientes índices higrotérmicos y dimensionales para cada local monitoreado, cuyas fórmulas y procedimiento de cálculo aún están siendo analizados y exceden los objetivos de este trabajo, por lo cual solo se los enuncia:

**Id+:** índice de disconfort térmico por sobrecalentamiento del espacio. Este índice da una medida del grado de disconfort térmico por sobrecalentamiento de cada local monitoreado respecto del mismo disconfort producido en el clima exterior.

**Id-:** índice de disconfort térmico por enfriamiento del espacio.

Este índice da una medida del grado de disconfort térmico por enfriamiento de cada local monitoreado respecto del mismo disconfort producido en el clima exterior. Ambos índices se calcularon, ade-

más, incluyendo el efecto combinado temperatura-humedad relativa (exceso o defecto de humedad relativa, según la temperatura).

**It:** índice temporal de confort. Este índice ayudó a determinar cuáles aulas dentro de un edificio se comportaron térmicamente mejor. También sirvió para comparar aulas en distintos edificios monitoreados simultáneamente. Esta comparación orientó la búsqueda de las causas por las cuales algunas aulas se comportaron mejor que otras, analizando ganancias internas por personas y por equipos auxiliares, ganancias por radiación solar directa, materialidad de la envolvente y ventilación - renovaciones de aire por hora – infiltración.

**Fv:** factor de vidriado. Se calcula para cada local monitoreado en los distintos edificios escolares distinguiéndolos según la orientación cardinal en que se encuentren las ventanas y puertas vidriadas.

**Ffv:** factor de forma volumétrico de cada local. Este factor mide la proporción entre el área de pérdida de calor y el volumen de aire para calefaccionar / refrigerar.

**Ffp:** factor de forma en planta de cada local. Es el cociente entre el ancho del piso y el largo del piso.

Para el cálculo de dichos índices se tomó como referencia el rango de confort determinado por JACOBO (2001): *Temperatura Máxima* con HR = 20 %-50 %: 29.5° C; *Temperatura Mínima* con HR = 20 %-50 %: 25.0° C; *Temperatura Mínima* con HR = 80 %: 20.0° C. Sobre la base de estos valores de referencia se diferenció una zona de confort de invierno de 20 a 25° C y una zona de confort de verano de 25 a 29° C.

Una vez calculados estos índices y factores para cada local monitoreado en cada período, se obtienen correlaciones entre ellos, incluyendo los pares de valores de locales similares en cuanto a las características constructivas correspondientes a todos los edificios monitoreados simultáneamente, pero haciendo una correlación para cada período de monitoreo y para cada orientación de las ventanas.

Fig. 8. Complejo Educativo B.º San Miguel



## DESCRIPCIÓN DE PROTOTIPOS ANALIZADOS

A la fecha de presentación de este trabajo (julio de 2013) se analizaron los datos del Grupo N.º 2 de escuelas, monitoreadas la segunda decena de cada mes, correspondientes al complejo educativo del barrio San Miguel, zona residencial de baja densidad edilicia (Fig. 8).

Estos prototipos son representativos de la producción oficial de arquitectura escolar de ejecución actual en la provincia del Chaco, a través del Programa Nacional 700 Escuelas y Más Escuelas:

- Escuela de Nivel Secundario N.º 75 Julio Cortázar, Programa Nacional 700 Escuelas. Prototipo de planta abierta con desarrollo lineal en "E" tipo peine, en torno de patios. Incluye ocho aulas comunes dispuestas en dos alas transversales y un ala longitudinal donde se disponen las aulas especiales (laboratorios, sala de idiomas, sala de informática y biblioteca). Funciona en tres turnos (mañana, tarde y vespertino) con un promedio de treinta alumnos por aula. La matrícula total en el año 2012 fue de 816 alumnos.

- Escuela de Nivel Primario N.º 1058 – Programa Más Escuelas. Prototipo de planta abierta con desarrollo lineal en "E" tipo peine, en torno de patios y SUM. Incluye diez aulas comunes dispuestas en tres alas transversales y un ala longitudinal donde se disponen cuatro aulas comunes y cuatro aulas

especiales (biblioteca, sala de informática, dos talleres). Funciona en dos turnos (mañana y tarde) con un promedio de veinte alumnos por aula. En el mismo edificio funciona el Instituto Terciario UEP N.º 172, en dos turnos (tarde y noche), con una matrícula total de 1001 alumnos con edades de dieciocho a sesenta años.

- Jardín de Infantes N.º 174 – Programa Más Escuelas. Tipología compacta con cuatro módulos simétricos de aulas integradas de a dos por paneles corredizos, incluyendo SUM semicerrado mediante parasoles a nivel lateral superior. Funciona en forma parcial, en dos turnos (mañana y tarde) con salas de uno a cinco años y un promedio de veintitrés alumnos por sala.

Los tres prototipos se han ejecutado con tecnología tradicional de mampostería de ladrillos portantes, estructura de HºAº, cubierta de chapa tipo AU-L1, carpintería de aluminio con vidrios laminados, en algunos casos protegidas por parasoles y galerías. Se monitorearon simultáneamente los tres edificios (siete sensores en la escuela secundaria, diez en la escuela primaria y tres en el jardín).

## RESULTADOS PRELIMINARES

Se exponen a continuación los resultados preliminares respecto de las distintas variables analizadas: **Datos climáticos medidos.** Las condiciones climáticas medidas en el año 2012 y principios de 2013 presentaron fluctuaciones infrecuentes en cortos períodos, con valores alejados de los estadísticos para la ciudad de Resistencia, excepto en los meses de abril, junio (en su fase fresca), octubre y noviembre 2012. En particular, en el mes de julio, se registraron valores de temperatura media mucho más bajos, y en el mes de diciembre más elevados que los estadísticos. Si bien en estos meses, en general son pocos los días de clases, en el caso del ciclo lectivo 2012, la actividad escolar se extendió

más, debido a los paros docentes acaecidos durante el año. Las aulas resultaron inhóspitas para un buen desarrollo de la actividad educativa. De la misma manera, durante los meses de enero y febrero, se desarrolló el “Programa de Escuelas de Verano” en la Escuela Secundaria N.º 75, en condiciones totalmente fuera del rango del confort.

**Condiciones internas medidas.** Frente a la variabilidad del clima, se verificó que los locales responden mejor a las bajas temperaturas que a las altas, produciéndose súbitos sobrecalentamientos en meses de **otoño, invierno y primavera**. Si bien en clima cálido-húmedo no es conveniente la incorporación de masa térmica de acumulación, la masa térmica de los edificios estudiados resulta insuficiente para moderar los repentinos cambios de las condiciones climáticas.

Los casos particulares de **sobrecalentamiento** se repiten, en general, todos los meses del año, excepto en julio, y no siempre son producto de ganancias solares directas, sino también de ganancias solares indirectas a través de la envolvente constructiva, del mal accionamiento de las ventanas y manejo inadecuado de la ventilación natural, de la imposibilidad de uso de ventiladores por problemas eléctricos y del régimen de ocupación principalmente en el nivel secundario y terciario. La mayor influencia de las **ganancias solares directas** se registra en los meses de **mayo, junio, septiembre, octubre y diciembre**, debido a la media orientación existente en la cuadrícula de la ciudad de Resistencia.

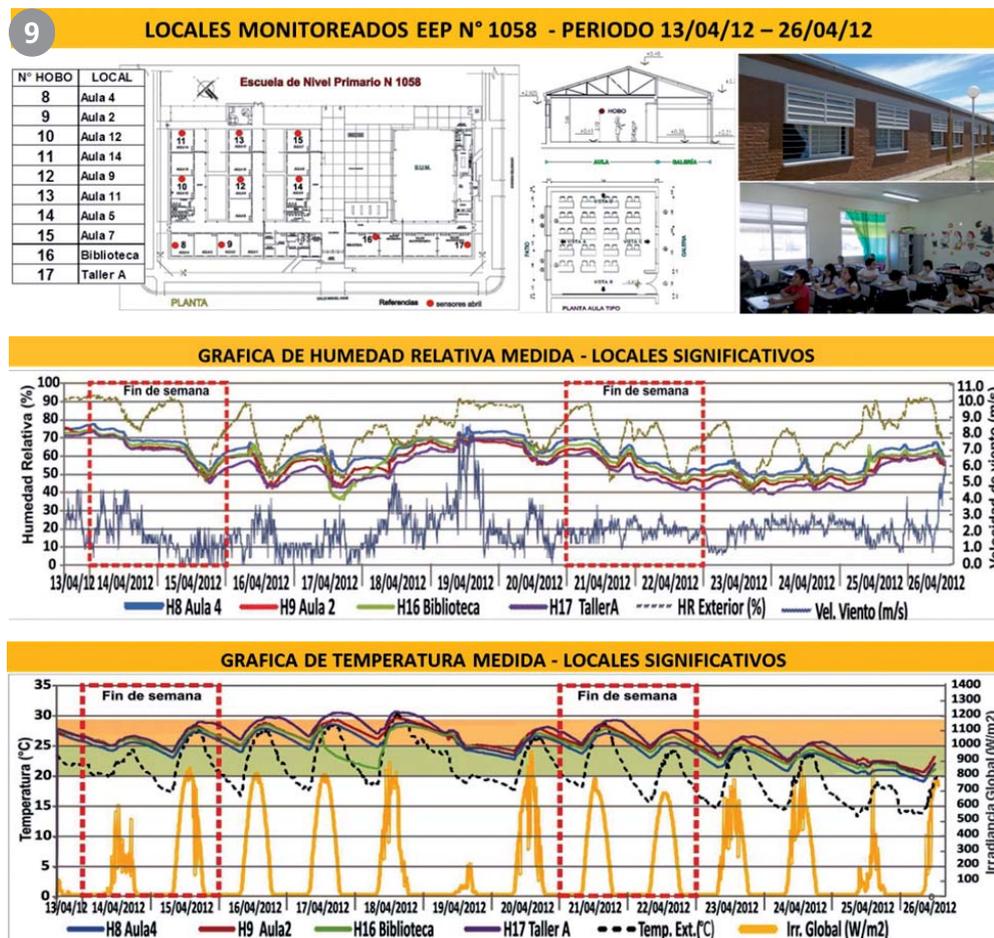
La irradiación solar afecta marcadamente el comportamiento térmico de las aulas con tres fachadas expuestas y mayor factor de forma volumétrico a igual factor de forma en planta, pues así como presentan súbitos sobrecalentamientos en períodos diurnos, también presentan enfriamientos en períodos nocturnos, debido al mayor intercambio interior-exterior a través de la envolvente.

Las temperaturas cercanas a 29° C en los meses de otoño, invierno (en días excepcionales) y primavera resultan excesivas al combinarse con la humedad relativa elevada que se registró en dichos meses (junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre). Las aulas especiales, como talleres, bibliotecas y salas de Informática, deben acondicionarse especialmente dada la posibilidad de usos más intensivos y con mayor cantidad de ocupantes. Los parasoles horizontales al nordeste (ampliamente utilizados en la mayoría de los edificios escolares) no constituyen un dispositivo de protección solar efectivo durante las primeras horas de sol, para los meses de otoño y primavera.

Los valores promedio de iluminancia resultaron bajos en los tres edificios (con variaciones directamente proporcionales a la orientación de las aulas en la planta), particularmente por el uso inapropiado de cortinas. En las aulas con orientación nordeste-suroeste existe un potencial aprovechamiento de la luz natural; sin embargo, es necesario controlar la incidencia solar directa en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde. Se producen problemas de deslumbramiento debido al ingreso de luz solar, inadecuada distribución de la iluminación, falta de uniformidad, excesivos contrastes, entre otros. Esta situación genera condiciones de desconfort visual y, en todos los casos, se recurre al bloqueo de las áreas vidriadas mediante afiches y papeles de diarios y al uso permanente de iluminación artificial, con los consiguientes gastos energéticos.

Velocidades de viento superiores a 4 m/s producen variaciones notorias en las condiciones internas de las aulas. De acuerdo con la conformación volumétrica del aula y el ángulo de ataque de los vientos predominantes, se podría incrementar la ventilación interior tanto en caudal como en velocidad, con un correcto diseño de aberturas de ingreso y egreso del aire, enfrentadas a respectivos campos

Fig. 9. Gráfico síntesis de resultados medidos período abril 2012. Escuela Primaria N.º 1058



de presiones positivas y negativas. Si bien todas las aulas disponen de ventilación cruzada, la operación de las ventanas no es la propicia para generar dicha ventilación.

En la figura 9, se muestran, solo a modo ilustrativo, las gráficas correspondientes al monitoreo del mes de abril de la Escuela Primaria N.º 1058, verificándose la evolución de la temperatura, humedad relativa e iluminancia (natural + artificial) de los locales monitoreados más representativos, en contraste con las variables meteorológicas. En las gráficas de temperatura se señala la zona de confort higrotérmico diferenciada para invierno y verano en dos colores, y en las de iluminancia, la zona de confort visual entre 300 y 500 lux. (Fig 9).

**Sensación de bienestar subjetiva.** En general, varía en función del grupo de edades, del número de ocupantes y de la relación interior-externo de los espacios, como así también de su régimen de ocupación. Las diferencias etarias de los ocupantes se traducen en el aporte calórico diferenciado en las aulas. Se aprecia cierto grado de acostumbramiento a condiciones ambientales por debajo de lo admisible. La ubicación del alumno en el aula es influenciada por la búsqueda de mejor confort

(próximo a las ventanas y puertas o debajo de los ventiladores).

Se detectaron algunas situaciones de inadecuada gestión energética en los casos de estudio (deterioro de los sistemas de ventilación y eléctricos; ausencia de criterios de ahorro de luz artificial, falta de mantenimiento de ventanas y luminarias) y desconocimiento del correcto aprovechamiento de los elementos del clima.

**Análisis Estadístico.** Los índices calculados permitieron orientar el análisis de los datos medidos, determinando casos particulares según las variables analizadas. Si bien las correlaciones halladas son de moderadas a leves, permitieron determinar correspondencias entre las variables analizadas y explicar las causas de los fenómenos detectados. Actualmente se continúa el análisis estadístico de datos medidos y la modelización y simulación mediante herramientas informáticas (*Simedif, Ecotect y Radiance*), de los casos bajo estudio, para su contrastación, calibración y elaboración de propuestas.

Las simulaciones permitirán, además, realizar un análisis pormenorizado de cada variable contem-

“... un diagnóstico detallado de la situación energética edilicia educativa de la ciudad de Resistencia, como así también permitirá validar modelos teóricos de comportamiento higrotérmico...”

plada. En este sentido, se señala como principal dificultad el tiempo necesario de procesamiento de la gran cantidad de datos recabados durante el trabajo de campo, que se vio también retrasado por el proceso de gestión del instrumental desde el año 2010 hasta su adquisición y entrega en el año 2012. No obstante ello, a fin de no demorar la etapa de elaboración de propuestas de diseño optimizado, se sigue en la búsqueda de una metodología adecuada que permita obtener un diagnóstico completo, en el menor tiempo posible.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La adquisición del instrumental de medición por parte del *Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Provincia del Chaco (MECCyT)* ha significado una importante contribución a este trabajo, pues ha permitido la ejecución de auditorías energéticas en forma ágil y dinámica, siguiendo un cronograma intensivo de monitoreos.

El trabajo de campo realizado durante un año posibilitará obtener un diagnóstico detallado de la situación energética edilicia educativa de la ciudad de Resistencia, como así también permitirá validar modelos teóricos de comportamiento higrotérmico- lumínico obtenidos mediante programas informáticos de simulación dinámica, como herramientas para la elaboración de propuestas de optimización energética.

El contacto directo con los usuarios y principales beneficiarios del trabajo, mediante entrevistas, charlas y encuestas, posibilitó complementar los datos objetivos, con su percepción subjetiva, determinando patrones de comportamiento y régimen de uso de los establecimientos en sus diferentes niveles educativos.

A partir del análisis preliminar de los resultados y considerando que los casos auditados representan cuali- y cuantitativamente un universo mayor, se puede afirmar que los edificios escolares implementados en la ciudad de Resistencia, carecen de condiciones de bienestar higrotérmico y lumínico adecuadas, en todas las estaciones del año, siendo más crítico su comportamiento en períodos de otoño y primavera. Por consiguiente, en las propuestas de diseño optimizado, se deberá priorizar la situación energética más desfavorable, para lograr espacios de enseñanza-aprendizaje sustentables y apropiados a las exigencias de sus usuarios.

Por último, se destaca que el presente trabajo responde a demandas concretas del medio, y al estar avalado institucionalmente, a través del **acuerdo de trabajo suscripto entre la FAU – UNNE y el MEC-CyT, tiene un importante potencial de transferencia e implementación.** Además, no existen estudios sistemáticos, como el que se está desarrollando, sobre un universo de análisis amplio en la ciudad de Resistencia, como ejemplos representativos de la situación regional.

Se espera que sus resultados contribuyan a concientizar a los funcionarios involucrados sobre la practicabilidad técnica y económica de los edificios escolares energéticamente eficientes.

---

## BIBLIOGRAFÍA

**BOUTET, M. L.; Hernández, A. L.; Jacobo, G. J.** (2012) "Validación de Simulaciones Interactivas con SIMEDIF y ECOTECT, a partir de Auditorías Energéticas de un Edificio Escolar de la ciudad de Resistencia". Revista Avances en Energías Renovables y Ambiente (AVERMA), Vol. 16, Pp. 27 – 34. ISSN: 0329-5184, Argentina.

**BOUTET, M. L.; HERNÁNDEZ, A.L.; JACOBO, G. J.; MARTINA P., CORACE, J.** (2011) "Auditorías Higrotérmicas y Lumínicas de dos Edificios Escolares de Nivel Inicial de la Ciudad de Resistencia, en Condiciones Reales de Ocupación.", Revista AVERMA, Vol. 15, Pp. 29 - 36. ISSN: 0329-5184, Argentina.

**BOUTET, M. L.; HERNÁNDEZ, A. L.; JACOBO, G. J.; MARTINA, P.; CORACE, J.** (2010a) "Monitoreo Higrotérmico del Jardín Materno Infantil de la UNNE y simulación mediante ECOTECT, en condiciones reales de uso.", Revista AVERMA, Vol. 14, Pp. 17– 24. ISSN: 0329-5184, Argentina.

**BOUTET, M. L.; HERNÁNDEZ, A. L.; JACOBO, G. J.; CORACE, J.; MARTINA, P.** (2010b) "Evaluación de las condiciones de Iluminación Natural y Artificial existentes en el Jardín Materno Infantil de la Universidad Nacional del Nordeste.", Revista AVERMA, Vol. 14, Pp. 25–32. ISSN: 0329-5184, Arg.

**JACOBO, Guillermo J.** (2001). El Confort en los Espacios Arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina, ISBN N.º 978 – 43 – 4155 – 6, Moglia SRL, Corrientes, Argentina.

**MCEN** (1996) Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, Cap. IV. Condiciones de habitabilidad. PI-C001-2010, Proyecto de investigación acreditado Código SGCyT-UNNE, s/ Res. N.º 0921/2010-CS, "Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las Facultades de Arquitectura y Urbanismo y de la de Ingeniería de la UNNE". Director: JACOBO, Guillermo J. (Período 2011 – 2014).

**SAN JUAN, Gustavo** (2008). Comportamiento Energético - Productivo y Ambiental de la Gestión de Redes Edilicias de Educación. Tesis de Doctorado en Ciencias - Energías Renovables, FCE, UNSa. Director: Rosenfeld E., co-director: Hernández A. Salta, Argentina.