

NIVELES DE CONFORT TÉRMICO EN AULAS DE DOS EDIFICIOS ESCOLARES DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN

M. Guillermina Ré¹, Celina Filippín², Irene Blasco Lucas³

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa)

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)

Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina

Tel.: +54(0)264 423 2395 / 3259. Int. 318 – <http://www.irpha.com.ar>

e-mails: guillerminare@gmail.com, cfilippin@cpenet.com.ar, iblasco@faud.unsj.edu.ar

Recibido 26/07/17, aceptado 29/09/17

RESUMEN: El objetivo de la investigación es efectuar un aporte a la determinación de niveles de confort en establecimientos escolares. Para ello se analiza el comportamiento térmico de seis espacios áulicos de dos casos de estudio con diferentes características constructivas. Se realiza el procesamiento de datos empíricos correspondientes a mediciones higrotérmicas de invierno y primavera, en condiciones reales de ocupación, y encuestas de sensación térmica a 459 usuarios, basada en la escala ASHRAE. Además se calculan los índices PMV y PPD para cinco días de los períodos monitoreados. Se concluye que las variables edad, indumentaria, actividad y la diferencia de temperatura interior-exterior, tienen gran influencia en la percepción de bienestar térmico por parte de los alumnos. Es necesario continuar profundizando estudios en la temática para definir umbrales adecuados a las particularidades de esta tipología edilicia en el contexto regional.

Palabras clave: edificios escolares, espacio áulico, confort térmico, monitoreo, índices, encuestas.

INTRODUCCIÓN:

El entorno físico escolar juega un papel importante en el logro de los objetivos educativos y en el bienestar general de estudiantes y profesores. Existen estudios experimentales realizados a nivel internacional, que han demostrado que los estudiantes pertenecientes a aulas acondicionadas térmicamente obtienen mejores resultados que aquellos en aulas sin calefacción o refrigeración (Pepler y Warner, 1968; Wargocki y Wyon, 2006).

El confort térmico se encuentra condicionado por los parámetros ambientales o físicos de un espacio habitable, y por factores personales del usuario que influyen sobre la apreciación que éste tiene de dicho espacio. Los parámetros ambientales que más inciden en la percepción del confort, son la temperatura, la humedad relativa, la temperatura media radiante, el movimiento del aire y la radiación solar. Respecto a los factores personales, éstos se dividen en fisiológicos (género, edad, peso, tasa metabólica, actividad que se desarrolla, estado de salud) y psicológicos-culturales (vestimenta, hábitos, expectativas de confort). Por esta razón, un ambiente con idénticos parámetros objetivos de confort, puede percibirse de manera diferente según varíen las condiciones de sus usuarios (Serra Florensa y Coch Roura, 1995).

La norma ASHRAE-55 (2004) entiende al confort térmico como “*aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es determinada mediante evaluación subjetiva*”, dado que considera la combinación de los factores del ambiente interior con los factores personales que ofrezcan condiciones aceptables para la mayoría de los individuos.

¹ Alumna del Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad de Mendoza.

² Directora de Tesis Doctoral.

³ Co-directora de Tesis Doctoral.

La Norma IRAM 11659-1 (2004) define como zona de confort, aquella cuyas condiciones de temperatura y humedad relativa brindan sensación de bienestar térmico a la mayor parte de los seres humanos. Los rangos sugeridos para verano en lugares de trabajo son entre 22°C y 27°C, con un porcentaje de HR entre 40% y 60%. Sin embargo, para la situación de refrigeración, también se establece que la diferencia de temperatura entre interior y exterior sea de 10°C a 12°C como máximo, es decir que para temperaturas exteriores superiores a 35°C el nivel de confort se ubicaría entre 26°C y 30°C en ambientes interiores. Para invierno, en aulas, se recomienda climatizar los ambientes con un mínimo de 17°C y un máximo de 20°C.

Por otro lado, los umbrales que especifica la Norma ISO 7730 (2005) como zona de confort en espacio áulico para una categoría C ($PPD \leq 15\%$, $-0,7 \leq PMV \leq +0,7$), es entre 22°C y 27°C para verano, y entre 19°C y 25°C para invierno.

En el trabajo de Kuchen (et al, 2009) se manifiesta que los estándares internacionales que indican las exigencias sobre confort térmico para los espacios de oficinas, se basan en un modelo desarrollado en los años 70 por el Prof. Fanger en el Centre for Indoor Environment and Energy, Dinamarca; y que en la actualidad distintas investigaciones en la temática muestran una evolución de dichos indicadores. A partir de esta consideración, se desarrolla un método basado en mediciones y encuestas mediante el uso de una unidad móvil equipada con sensores y un cuestionario sobre el ambiente térmico, con el propósito de obtener indicadores de calidad ambiental. Los autores concluyen que el modelo de confort debe introducir variables propias del entorno local. Los usuarios de locales ventilados naturalmente toleran rangos más amplios de temperatura operativa, dado que experimentan un mayor contacto con el exterior; en contraposición, los usuarios de espacios con climatización total, son más sensibles a los cambios térmicos. Para 30 edificios analizados, la temperatura de confort resulta ser de 23,3°C, con un mínimo porcentaje de disconformes de 7%. El artículo destaca la importancia que implica modificar la temperatura operativa en $\pm 1^\circ\text{C}$ en relación al consumo energético del edificio.

En La Pampa se han diseñado, construido y monitoreado edificios escolares cuyas pautas de diseño estaban orientadas a lograr una mayor eficiencia energética (Filippín, 2005). En dichos establecimientos se evaluó su comportamiento en distintos períodos del año, con el fin de conocer el ahorro de energía logrado, y las temperaturas de confort promedio registradas por profesores y alumnos. En la escuela de Algarrobo del Águila, ubicada al Oeste de la Provincia, los usuarios manifestaron sentirse en confort con temperaturas de 17°C en invierno, cuyo efecto es un uso mínimo de los sistemas de calefacción permitiendo un ahorro de energía del 90%. En la escuela EGB3 de Catrillo, localizada al Este de La Pampa, se presenta una situación diferente con temperaturas de 21°C en el sector de aulas, y calefacción encendida durante la noche; sin embargo, el edificio alcanza un 50% de ahorro energético. Al respecto, se concluye que el mayor o menor compromiso del usuario afecta en parte su performance energética. También influyen un grado de vestimenta adecuado, hábitos correctos en el manejo de los sistemas auxiliares de calefacción y horarios de ventilación apropiados.

Hasta la actualidad, sobre espacios áulicos de escuelas existentes en San Juan no se han registrado datos de sus niveles de confort higrotérmico en correlación con el comportamiento energético del edificio. El objetivo del presente trabajo es conocer las preferencias térmicas en aulas de dos edificios escolares, a partir del análisis de datos teóricos y empíricos. Los casos de estudio pertenecen a períodos históricos diferenciados que registraron los mayores índices de construcción de infraestructura escolar como producto de las políticas de Estado implementadas.

METODOLOGÍA

Se emplearon técnicas de observación directa y relevamiento edilicio, junto con el análisis de documentación específica, que permitieron recolectar información de los aspectos arquitectónicos, constructivos, de equipamiento y de uso. Con la aplicación de las Normas IRAM 11601, 11604, 11605 y 11659 se definieron las propiedades térmicas de las envolventes (Re et al., 2016, a y b) y se calcularon los consumos teóricos de la carga térmica de calefacción anual [Q_{cal}] y de la carga térmica total en refrigeración [Q_R] para los meses estivales; también los coeficientes volumétricos de pérdidas de calor [G_{cal}] y de refrigeración [G_R].

Las escuelas se evaluaron mediante diversos procedimientos complementarios entre sí para llegar a conocer las condiciones de confort térmico en aulas. Las mediciones higrotérmicas se llevaron a cabo en invierno y primavera del año 2013, durante 19 días corridos en los meses de Julio y Agosto, y 14 días en Noviembre en condiciones reales de ocupación (Re, 2016; Re, et al, 2016 a y b). Sin embargo para el presente trabajo dicho intervalo se delimita a los días que presentaron temperaturas extremas de frío o calor, de acuerdo a la estación, con el fin de realizar el análisis detallado del comportamiento térmico de las aulas durante días críticos. Los períodos de monitoreo fueron definidos para 14 días en invierno (del 31/07 al 13/08) y para 10 días en época cálida (03/11 al 13/11). Se utilizaron data-loggers tipo HOBOS U12, con registros de temperatura (°C) y humedad relativa (HR%) cada 15 minutos. Los datos climáticos exteriores se registraron con una estación meteorológica tipo DAVIS localizada en el techo del Instituto de Energía Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ (Pontoriero y Hoesé, 2013-2014). El procesamiento de la información se efectuó con el PROMEDI-HTL (Blasco Lucas, 2013), que permitió realizar el análisis numérico y gráfico comparativo.

En coincidencia, para intervalos de 4 a 7 días corridos (Tabla 2), se calcularon los niveles de confort en aulas de manera teórica, con los índices PMV (Valor Medio Predicho) y PPD (Porcentaje de Personas en Disconfort), utilizando el programa desarrollado por Gonzalo (2003), según el procedimiento indicado en Santamouris y Asimakopoulos (1996); cuyos datos se basan en la Norma ISO 7730 (2005) para la evaluación del confort térmico de un ambiente interior.

Se completa el análisis con los resultados de una encuesta estructurada realizada a 459 alumnos, en días específicos de los períodos monitoreados. La misma es una adaptación a la tipología escolar, del modelo desarrollado por Kuchen (2008) para oficinas, que adopta la escala de ASHRAE (2004) a fin de medir la sensación térmica mediante preguntas cerradas orientadas hacia juicios valorativos.

CASOS DE ESTUDIO

El trabajo se desarrolla sobre dos edificios escolares de gestión pública que poseen diferente tipología edilicia y año de construcción (Re, et al., 2016, a y b), localizados en el Área Metropolitana de San Juan, en una zona urbana y residencial de baja densidad. El clima del lugar es árido seco con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionarias. La ciudad de San Juan está ubicada en la Región Cuyana al Centro Oeste de la Argentina, a los 31°6′ Latitud Sur y 68°5′ Longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 615m; y pertenece a la Zona Bioambiental III (Templada Cálida), Subzona “a”, con 1096 (GD-18) y 1465 (GD20), según la clasificación de la Norma IRAM 11603 (2012).

Caso EF: La Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca (EF), pertenece a la época de reconstrucción de la ciudad de San Juan luego del terremoto de 1944, en coincidencia a nivel Nacional con el Plan Quinquenal llevado a cabo en el Gobierno de J. D. Perón. Dicho establecimiento, que data del año 1953, tiene una tipología de organización edilicia conocida como “Lineal en Peine”, ampliamente utilizada en todo el país para resolver la arquitectura escolar del momento (Figura 1). La escuela posee una superficie útil de 857m² y cuenta con circulaciones cubiertas que comunican las aulas orientadas al Norte y al Oeste.

Envolvente EF: Se materializa con mampostería portante de ladrillo macizo de 34cm de espesor, techo a dos aguas con estructura de madera, cubierta de tejas, y cielorraso suspendido (que genera un ático inaccesible). El edificio conserva las ventanas y puertas originales de carpintería de madera con vidrio simple repartido. En la Tabla 1 se detallan las principales características edilicias y coeficientes térmicos, calculados en base a las propiedades térmicas de la envolvente edilicia.

Uso y equipamiento EF: Alberga Nivel Inicial y Primario en los turnos de mañana (8h a 12h) y tarde (13h a 17h). En las aulas se utilizan estufas a gas tipo pantalla para calefacción y aire acondicionado (AA) frío-calor y ventiladores de techo para refrigeración.

Caso CPR: El Colegio Provincial de Rivadavia (CPR), fue diseñado y edificado en el marco del Programa Nacional 700 Escuelas, orientado a la construcción de nuevos edificios escolares durante los años 2004 a 2008. El Colegio fue inaugurado en agosto de 2008, y responde a la identidad funcional, morfológica y constructiva del Programa. Posee una organización en “U” que contiene las áreas

pedagógicas (Figura 1). Las circulaciones son semicubiertas, a través de galerías, y conectan los espacios interiores de aulas con el patio cívico. El edificio responde a una imagen arquitectónica contemporánea; posee una superficie cubierta de 1197m² y una superficie útil de 1002m² (Tabla 1).

Envolvente CPR: Construida con mampostería de ladrillo macizo con traba de 30cm, y terminación exterior de revoque grueso planchado, pintado color ocre. Los techos difieren en su materialidad dependiendo del sector donde se ubican, para las aulas se utiliza losa inclinada con terminación de baldosa cerámica. La carpintería es metálica y cuenta con parasoles al norte y oeste.

Uso y equipamiento CPR: Ofrece nivel secundario, en dos turnos: mañana y tarde. El edificio permanece abierto de lunes a viernes de 7.30h a 18:30h, cuenta con actividades especiales los días sábados y guardias nocturnas de 19h a 7h. Las aulas cuentan con estufa a gas de tiro balanceado y dos ventiladores de pared. En el plano de la Figura 1 se indican los equipos mencionados.

CARACTERÍSTICAS EDILICIAS	UNIDAD	CPR	EF
Sup Cubierta	m ²	1197	980
Sup Semicubierta (al 100%)	m ²	464	68
Sup Total	m ²	1661	1013
Sup Util - Interior	m ²	1002	857
Factor de Forma	m ⁻¹	0,70	0,61
FAEP (Esteves, et al., 1997)		1,81	1,87
Sup. Rel. Aberturas (Puert. y Vent.)	%	24,85	18,21
Vol. Masa Relativo	%	10,21	13,80
Volumen Interior	m ³	4279	3000
Carga Térmica de Calefacción Anual (Q)	kWh	95905	49458
Carga Térmica de Refrigeración (QR)	W	214244	116001
Coef. Volumétrico de Calefacción Anual (Gcal)	W/(m ³ .K)	2,27	1,67
Coef. Volumétrico de Refrigeración (GR)	W/m ³	50,07	38,67
Orientación Acceso - Fachada Ppal.		Oeste	Oeste
Orientación Preponderante		Nor-Sur	Nor-Sur
Ventilación cruzada		SI	SI

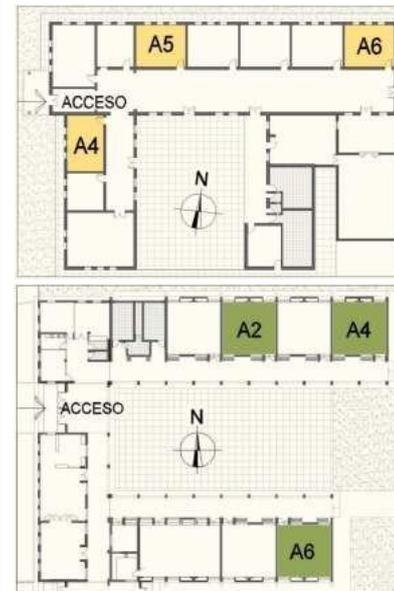


Tabla 1 (Der): Principales características edilicias de las escuelas. Figura 1 (Izq.): Esquema de plantas, resaltando aulas analizadas: EF (arriba) y CPR (abajo).

MONITOREO HIGROTÉRMICO

Se analiza el monitoreo higrotérmico de estación fría y cálida, en simultáneo para tres aulas de cada uno de los casos de estudio. Las mismas han sido seleccionadas por su diferente ubicación y orientación, lo cual permite obtener una noción de las diversas situaciones que se presentan; para cada escuela se buscó una o dos aulas de final de la crujía (con mayor cantidad de muros expuestos al exterior) y otras al centro de la organización lineal (Figura 1). Se adoptan como umbrales que definen la zona de confort los indicados en la IRAM 11659-1 (ver introducción).

Las mediciones de la estación fría, se realizaron desde el 31/07 hasta el 13/08 (Período 1) y se ven representadas en las Figuras 2 y 3. En este intervalo, las condiciones térmicas de las aulas se ubicaron dentro de la zona de confort en un cincuenta por ciento del tiempo, generalmente durante gran parte de las horas de uso escolar; sin embargo, en los días más fríos o en las noches y fines de semana, las temperaturas interiores estuvieron por debajo del mínimo recomendado para aulas, en la Norma IRAM 11659-1. En todos los ambientes se distinguen grandes amplitudes térmicas diarias, revelando el uso de equipos de calefacción. Las temperaturas medias de las aulas se ubican entre 16,5°C en EF-A4, hasta 18,7°C en CPR-A2. Las aulas de la Escuela Fonseca se reconocen con menores temperaturas que las del CPR, siendo A4 de EF la más fría con una temperatura mínima de 14°C. En el CPR las dos aulas ubicadas al final de cada crujía (A4 y A6), con tres superficies verticales en contacto con el exterior, presentan temperaturas levemente menores que A2, con T° medias de 18,2°C en A4 y 18,1°C en A6.

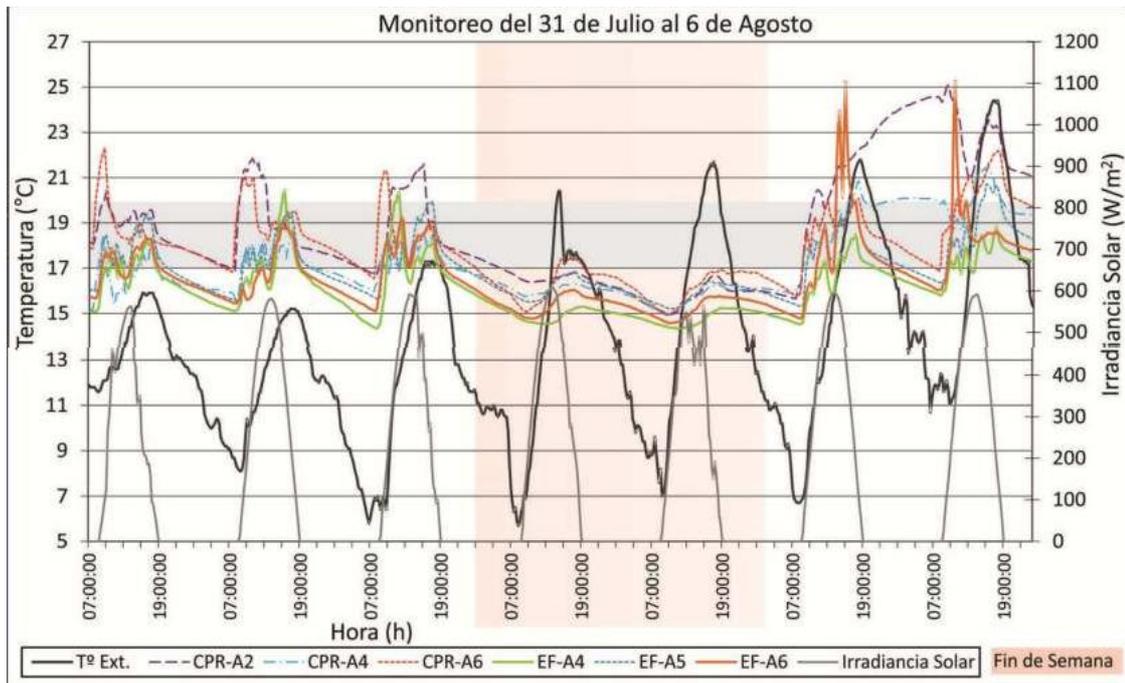


Figura 2. Temperatura e irradiancia solar, evolución temporal. Semana 1 - Invierno.

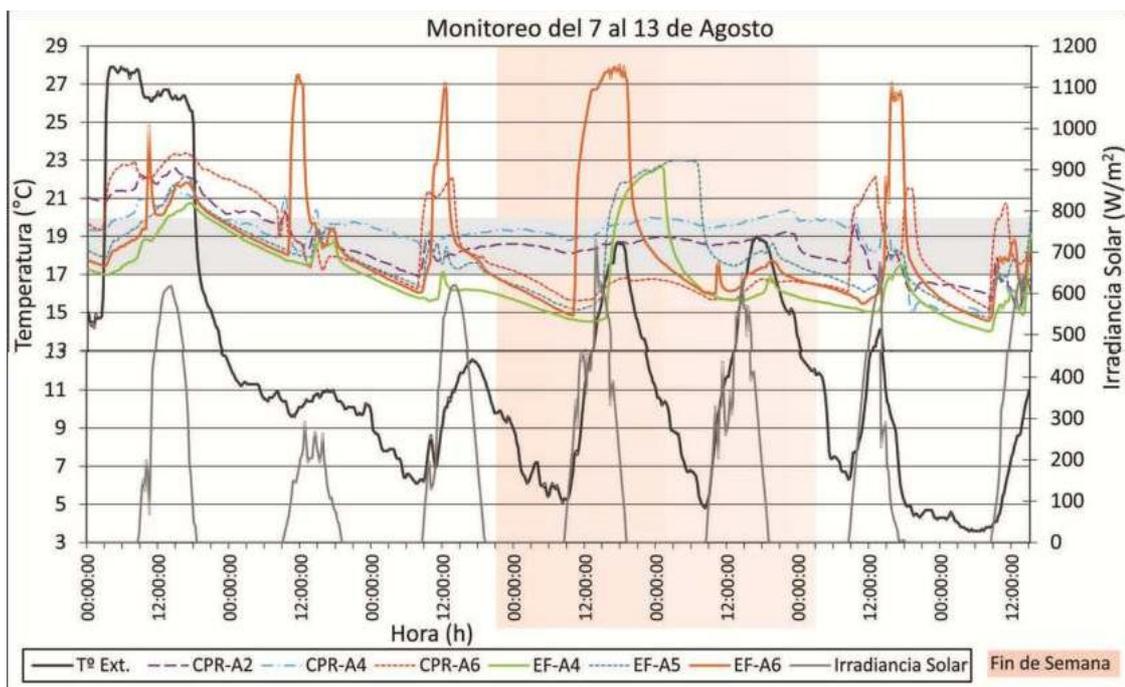


Figura 3. Temperatura e irradiancia solar, evolución temporal. Semana 2 - Invierno.

El monitoreo de primavera (Período 2), se desarrolló entre el 3/11 y el 13/11, previo a la finalización del año lectivo. En las Figuras 4 y 5 se observa que las aulas de EF, se sitúan dentro del rango de temperaturas confortables durante todo el período, debido al uso de equipos de AA o ventiladores de techo de acuerdo a las preferencias de los usuarios. Únicamente el día 6/11, con una T° exterior máxima de $37,3^{\circ}\text{C}$, las aulas presentan temperaturas máximas de $27,3^{\circ}\text{C}$ (A5), $27,8^{\circ}\text{C}$ (A6) y $28,4^{\circ}\text{C}$ (A4). Las T° medias para dichas aulas son de $24,9^{\circ}\text{C}$, $25,1^{\circ}\text{C}$ y $25,2^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Las aulas del CPR se encuentran fuera de la zona de confort gran parte de la jornada de clases. Los menores valores se reconocen entre las 7h y las 10h, como consecuencia de la ventilación natural. Las temperaturas medias de las aulas son de $27,3^{\circ}\text{C}$ en A4 y $27,5^{\circ}\text{C}$ en A2 y A6. Los registros máximos de temperaturas interiores para el intervalo fueron de $32,4^{\circ}$ (A6), $32,8^{\circ}$ (A4), en aulas con dos ventiladores de pared en funcionamiento, y $35,3^{\circ}\text{C}$ (A2), en ambiente sin ventilación mecánica.

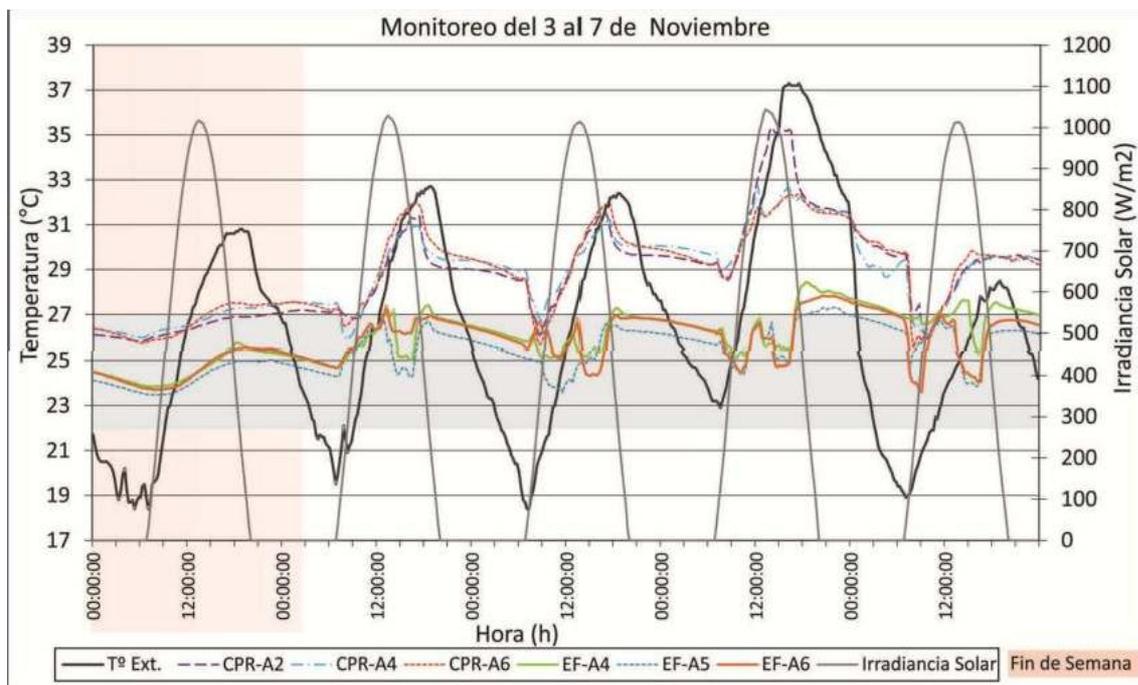


Figura 4. Temperatura e irradiancia solar, evolución temporal. Semana 1- Primavera.

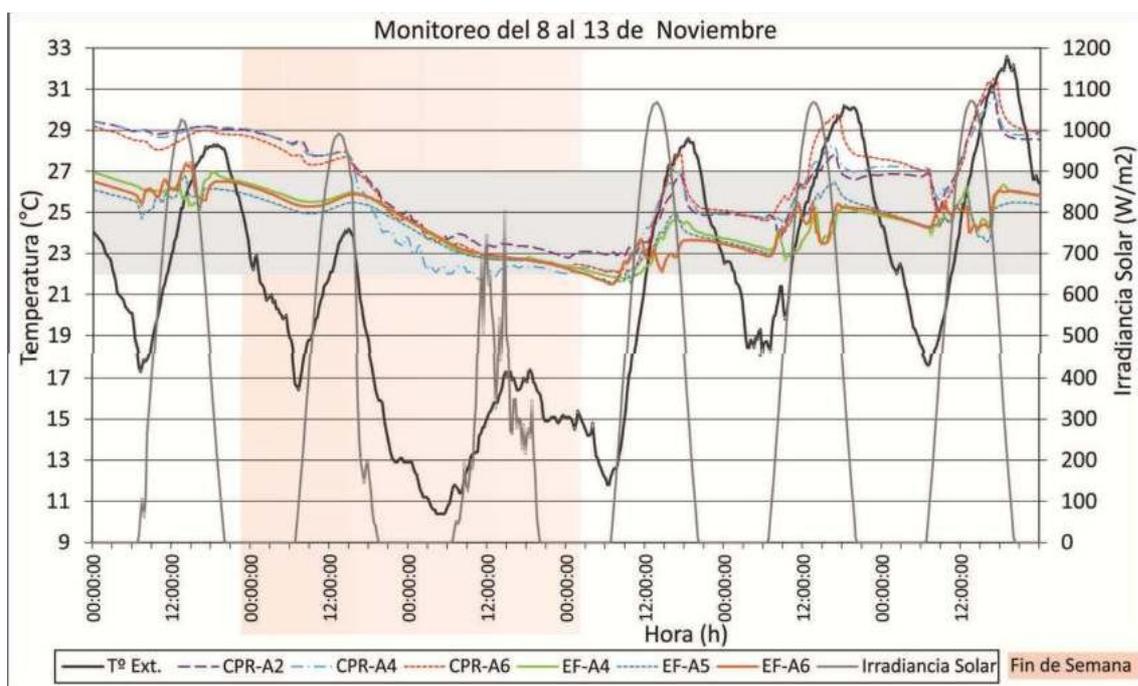


Figura 5. Temperatura e irradiancia solar, evolución temporal. Semana 2- Primavera.

CONFORT TÉRMICO EN AULAS

Índices PMV – PDD

Se calcularon los índices PMV y PDD para las aulas analizadas, utilizando los registros de temperatura y humedad relativa obtenidos en las instancias de monitoreo higrotérmicos. Se consideraron los datos anatómicos detallados en la Tabla 2. Los valores del nivel de vestimenta (Clo) se definieron por período en base a la observación directa realizada en los días específicos (Tabla 3), mientras que la velocidad del viento, fue determinada según el ábaco Kukreja (Yañez Parareda, 1982).

Durante los días analizados para invierno del caso EF (Tabla 3), el PMV máximo en condiciones reales de uso, oscila entre -1,90 (A4) y -1.70 (A5 y A6) valores que indicarían un ambiente entre *ligeramente fresco* y *fresco* (ISO 7730, 2005). Esta situación estaría presente en el 98 % de las horas de clase. El PDD del período oscila entre un 6% (sólo para 4h del período estudiado) y un 74%. Estos índices se corresponden con las temperaturas medias diarias, en las cuales prevalecen los registros ubicados fuera de la zona de confort. Durante el fin de semana, sin cargas internas y con un valor más bajo de velocidad de viento, el PMV oscila entre un ambiente *fresco* y *frio* (Figura 6. Izq.).

Para el caso CPR (Figura 6. Der.), el PMV oscila entre -0,50 y -1,50 en condiciones reales de uso, valores que indicarían un ambiente entre *ligeramente fresco* y *fresco*; situación que estaría presente en el 64% de las horas de clase en el A2. Las condiciones del A4 resultan ser las más desfavorables, con un ambiente que prevalece *fresco* la mayoría del tiempo, en acuerdo con la mayor exposición exterior de su envolvente vertical. El A6, con ventanas al sur y galería al norte, alcanza la valoración de un ambiente *térmicamente aceptable* (Gonzalo, 2003) un 36% de las horas de clase. El PDD del período oscila entre un 10% y un 50%; predominando temperaturas medias diarias que permanecen fuera de la zona de confort térmico. Durante el fin de semana, sin cargas internas y con un valor más bajo de velocidad de viento, el PMV se mantiene en -0,50.

Aula	Datos anatómicos			Días de cálculo	Fecha		Actividad metabólica MET	Nivel de vestimenta CLO	Velocidad del aire (m/s)	
	Edad	Peso (*)	Talla (*)		Inicio	Final			D. laborales	D. no laborales
	años	Kg	cm							
EF-A4	9	27	132	Período 1	31/7/2013	5/8/2013	70	1,4	0,15	0,1
EF-A5	10	32	141							
EF-A6	11	33	155	Período 2	3/11/2013	7/11/2013	70	0,6	0,15	0,1
CPR-A2	13	43	159							
CPR-A4	15	49	167							
CPR-A6	17	55	169							

Tabla 2. Izq.: Datos anatómicos para el cálculo de PMV y PPD. Valores de la Organización Mundial de la Salud (*). Tabla 3. Der: Períodos de cálculo, Met, Clo y Velocidad del viento.

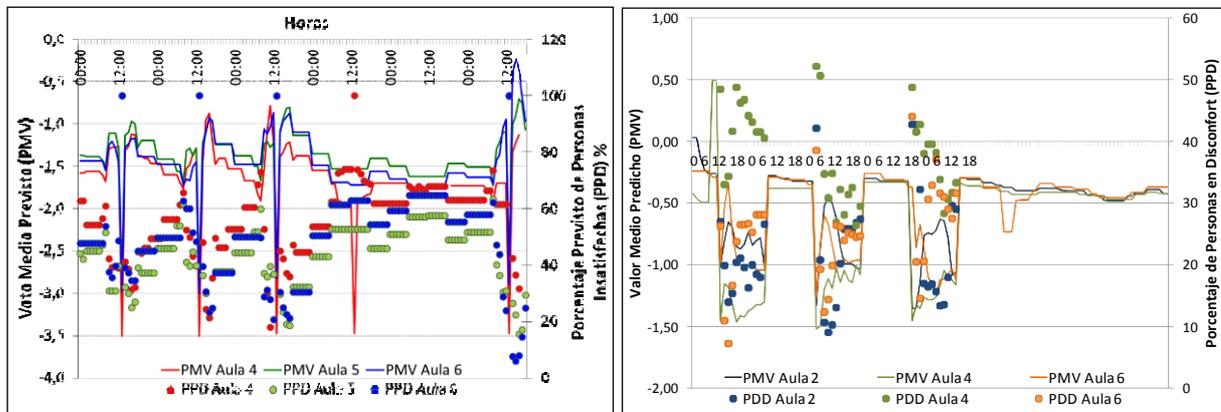


Figura 6: PMV y PPD en Período 1. Izquierda: Caso EF. Derecha: Caso CPR

Para el período 2, los índices fueron calculados durante los días más rigurosos, entre el domingo 3/11 y el jueves 7/11, para las dos escuelas. En el EF (Figura 7. Izq.), el A4, que está orientado hacia el Oeste con su envolvente sombreada por árboles muy densos, presenta el PMV entre +0,5 y -0,5, (*neutral*, *ligeramente cálido* y *ligeramente fresco*) y el PPD menor al 10%. En el A5, de cara al Norte (con un desvío de 10°), el día 7 a las 15h, con una temperatura 24,0°C y humedad relativa de 34%, se registra un PMV igual a “0” indicando *bienestar térmico* (Gonzalo, 2003), y *neutral* (ISO 7730, 2005). El A6, en el extremo de la crujía con mayor superficie en contacto con el exterior, exhibe oscilaciones bastante más marcadas que en los casos anteriores. Cuando el PMV está próximo a 1, *ligeramente cálido*, el PPD se acerca al 13%, a las 13h., con una temperatura de aire interior de 26°C y humedad relativa de 40%. La fluctuación diaria de los índices estaría mostrando que los equipos mecánicos de acondicionamiento térmico se encendieron alrededor de las 8h, 11h y 13h para ingresar a la zona de *bienestar térmico*. El comportamiento de los índices el domingo, sin cargas internas, es similar en las

tres aulas, con pequeña variación en el A6 donde el PMV se aproxima a un ambiente *ligeramente fresco*, situación que indicaría que el equipo de AA quedó encendido.

En el CPR (Figura 7. Der.), el día lunes, el A6, alcanza un PMV mínimo de -0,50 que permite valorar el ambiente como *ligeramente fresco*, con un PPD del 10%; mientras que en A2 y A4 el PMV oscila entre 0,50 y 1,00 (*ligeramente cálido* y *cálido*) con un PPD del 30% en el A2, entre las 16h y 17h. Durante el día miércoles, con un ascenso de la temperatura exterior, se agudiza la situación térmica en el A2 con un ambiente *cálido* y un PPD hasta el 55% a las 12h. Es evidente que la orientación Norte y las cargas internas por la actividad propia de los alumnos en la escuela, condicionan el comportamiento térmico del ambiente interior, sumado a que los ventiladores no estuvieron funcionando. Por otro lado, el PMV de A4 y A6 indica *bienestar térmico*, con un PPD inferior al 10%.

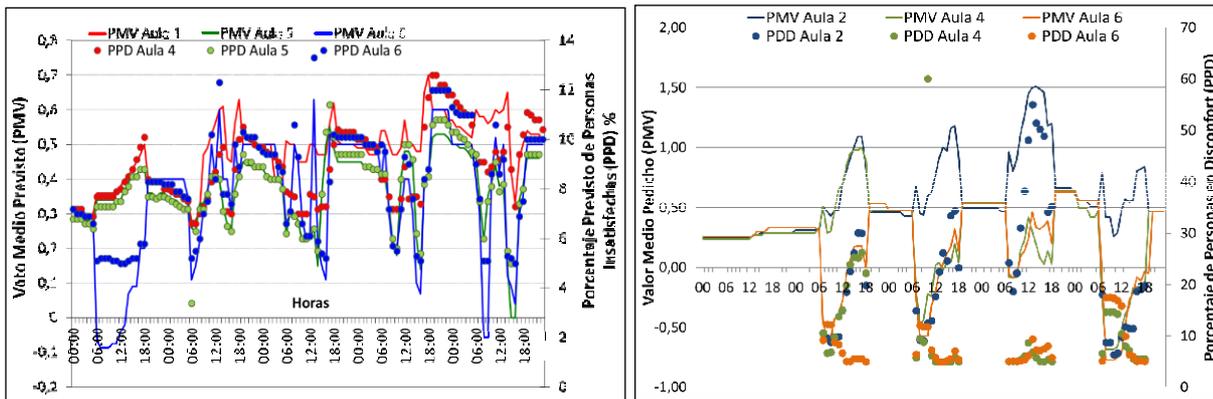


Figura 7: PMV y PPD en Período 2. Izquierda: Caso EF. Derecha: Caso CPR

Encuestas

Las encuestas permiten conocer las expresiones de los usuarios en un momento específico de las jornadas de clases; las mismas se realizaron a 459 alumnos en días específicos de los períodos 1 y 2 de monitoreo, quienes indicaron su opinión subjetiva sobre las condiciones térmicas del aula (Figura 8). En la escuela primaria, con niños de edades entre 9 a 11 años, se brindó la ayuda personalizada para la comprensión de las preguntas, a través de tutores. El voto de sensación térmica se ubicó en la escala de 7 niveles de ASHRAE, desarrollada de la siguiente manera: -3 (mucho frío), -2 (frío), -1 (algo de frío), 0 (neutral), +1 (algo de calor), +2 (calor), +3 (mucho calor).

En el presente análisis se relaciona el porcentaje de votos de sensación térmica con la temperatura del aire y humedad relativa, medida durante los monitoreos. Se entiende por neutralidad térmica al valor 0 (neutral) de la escala ASHRAE, donde el usuario no siente frío ni calor, e indicaría sensación de confort en un ambiente térmicamente aceptable. En las gráficas de las Figuras 9 y 10, las distintas aulas se denominan por escuela (CPR o EF), seguido del turno mañana (m) tarde (t).



Figura 8. Encuestas. Izq.: Invierno. A2- CPRm y A5- EFt. Der.: Primavera. A4-CPRt y A4-EFm.

La encuesta para la estación de invierno se llevó a cabo durante el 8 de agosto para el turno tarde en EF y el 13 de agosto en las dos escuelas en la mañana. En ambos casos los alumnos permanecieron en las aulas muy abrigados con indumentaria gruesa (Figura 8. Izq.). En la Figura 9 se observa que en A4

de la Escuela Fonseca, turno tarde, con una T° interior de $18,4^\circ\text{C}$ y HR de 34%, el 55% responde no sentir frío ni calor, lo cual indica que un 45% estaría desarrollando sus actividades en condiciones de discomfort, de un total de 20 alumnos. En A5 ($T^\circ=19,1^\circ\text{C}$ y HR= 35%) el porcentaje de los usuarios que perciben algo de frío y frío descende al 35%, mientras que un 10% expresan sentir algo de calor. Las encuestas en EF en el turno mañana se realizan en el horario entre las 11h y las 12h, donde se obtuvo el voto de neutralidad térmica (ni frío, ni calor) en un 54% de los usuarios del A6 ($T^\circ=18,1$), en un 64% del A5 ($T^\circ=16,8$) y en un 70% del A4 ($T^\circ=16,2$); del mismo modo se registra un porcentaje de alumnos que indican estar en discomfort por sentir algo de calor, siendo del orden del 17% (A6), 24% (A5) y 9% (A4).

Las aulas del Colegio Provincial de Rivadavia fueron encuestadas entre las 8:30h y 9:15h, con un total de 20 alumnos por aula; en ellas se reconocen los menores porcentajes de confort con datos del 14% en el A4, 30% en el A2 y 40% en el A6. Es notable que, si bien las T° interiores de CPR son iguales o mayores que las registradas en EF, el 25% indica tener *mucho frío* en el A2, mientras que el 43% lo hacen en el A4 (Figura 9). Esta diferencia en la percepción del ambiente térmico se puede atribuir, por un lado, al horario en el cual se realiza la encuesta, dado que a primeras horas de la mañana se detecta una mayor diferencia de temperatura interior-externa, entre $12,1^\circ\text{C}$ y $15,7^\circ\text{C}$ para las tres aulas CPR, mientras en EF es de $8,7^\circ\text{C}$ a $11,4^\circ\text{C}$ cerca del mediodía. Por otro lado, los alumnos del secundario presentan menor nivel de actividad que los de la escuela primaria, permaneciendo parados o sentados la mayoría del tiempo, mientras que los niños entre 9 y 11 años expresan haber corrido durante los recreos, o estar parados y caminar en la hora de clase. Otro factor que también se debe considerar, es que las aulas que expresan sentir *mucho frío* (A2 y A4) poseen ventanas al norte con parasoles que disminuyen el ingreso de luz natural y el acceso por galería al sur con un alto porcentaje de aventamiento.

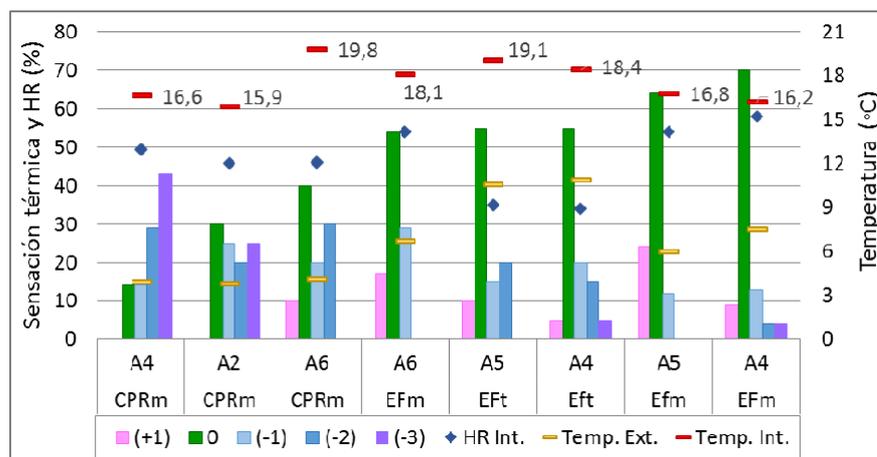


Figura 9: Voto de sensación térmica, en relación a la T° y HR interior y la T° exterior. Invierno

En primavera, la encuesta se realizó el 7/11/2013 en el turno mañana y el 13/11/2013 en la tarde, en ambas escuelas (Figura 8. Der.). La EF cuenta con equipos de acondicionamiento mecánico en todas las aulas, además de ventiladores de techo. En la Figura 10, se observa que el A6 a las 8:30h, a temperatura interior de $23,9^\circ\text{C}$, presenta el mayor porcentaje de usuarios que indican sentir al ambiente confortable, con el 71% de votos de neutralidad térmica; le siguen el A5 a las 9h ($T^\circ=25,8^\circ\text{C}$) con 58%, y el A6 del turno tarde, a las 13:45h ($T^\circ=24^\circ\text{C}$) con un 56%. El A4 y A5 del turno mañana y el A5 en la tarde, no tuvieron encendidos los equipos de AA, mientras que el resto de las aulas analizadas si lo usaron. En las aulas del EF, solamente los alumnos del A4 expresaron sentir mucho calor: 16% a las 10h, con $T^\circ 26,7^\circ\text{C}$ y HR 28% y 17,5% a las 14:45h con $T^\circ 23,6^\circ\text{C}$ y HR 37%.

El CPR cuenta con dos ventiladores de pared por ambiente para refrescamiento, pero en el A2 estaban fuera de funcionamiento. El A6 a las 11:30h muestra el mayor porcentaje de usuarios en confort, con el 48% de votos de neutralidad térmica de un total de 29 alumnos, aunque registra una T° más elevada que el A2 y el A4, donde el 27,5% y el 29% respectivamente indican no sentir frío ni calor (Figura 10). La razón de esto podría ser la menor incidencia solar directa que posee el A6 (con ventanas al sur

y acceso por galería al norte) con respecto a las otras aulas que poseen la orientación inversa. Los ambientes con el mayor porcentaje de personas en disconfort corresponden al CPR, turno tarde, cuya suma alcanza valores de 89% en el A4 ($T^{\circ}= 28^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}= 25\%$) y 93% en el A6 ($T^{\circ}= 29,7^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}=22\%$).

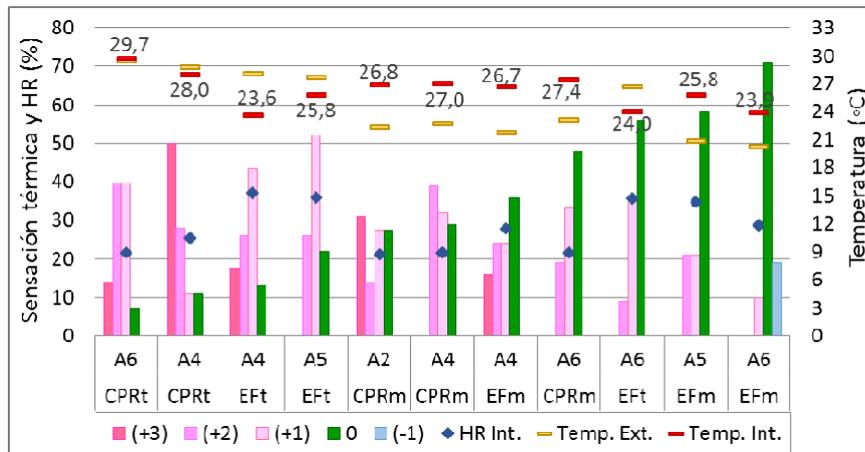


Figura 10: Voto de sensación térmica, en relación a la T° y HR interior, y T° exterior. Primavera.

Relación de resultados

Los estudios desarrollados en el presente trabajo permiten reconocer que durante el invierno los ambientes interiores de las 6 aulas monitoreadas en 2 edificios escolares, se ubican por debajo de la temperatura mínima de climatización (17°C) recomendada en la IRAM 11659-1 (2004) y muy por debajo del umbral del confort para épocas frías que especifica la ISO 7730 (2005) para espacios áulicos, definido entre 19°C y 25°C . Sin embargo, para los casos de estudio, los mayores porcentajes de neutralidad térmica, se registran en aulas con temperaturas entre 16°C y 19°C , en donde algunos alumnos expresan sentirse en disconfort por experimentar algo de calor. Los motivos que pueden influenciar sobre estos resultados es la adaptación que los usuarios realizan a las condiciones en las que se encuentra dichos espacios y al elevado nivel de vestimenta con el que asisten a clases (muy abrigados con varias prendas y camperas gruesas). La mayor cantidad de usuarios en disconfort se detecta en las tres aulas de CPR, se considera que afecta a la percepción de estos espacios, el alto porcentaje de aberturas en dos de los cerramientos verticales, el horario en el que fue realizada la encuesta (al inicio de la jornada de clase) con una mayor diferencia de temperaturas entre interior y exterior y la diferencia de las actividades metabólicas en usuarios adolescentes, similares a los adultos. Los índices PMV y PPD calculados en CPR son coincidentes con las expresiones de los usuarios.

El análisis para época cálida se desarrolló en primavera, durante la primera quincena de noviembre, previo a la finalización del ciclo lectivo, debido a que las escuelas permanecen cerradas la mayoría del tiempo en la estación de verano. La zona de confort considerada se ubica entre 22°C y 27°C , y es coincidente para ambientes interiores de la IRAM 11659-1, y para espacios áulicos, categoría C ($\text{PPD} \leq 15\%$, $-0,7 \leq \text{PMV} \leq +0,7$) en la ISO 7730. Las temperaturas en las aulas de EF, equipadas con ventiladores de techo y aire acondicionado, se ubican dentro de este rango la mayor parte del tiempo monitoreado, y en consecuencia se registran los porcentajes mayores de usuarios en sensación de bienestar térmico (56%, 58% y 71%). En el A4 turno tarde, el 87% de los alumnos indica estar en disconfort por calor, aunque la temperatura interior registrada en el momento de la encuesta es de $23,6^{\circ}\text{C}$. Es posible que las actividades realizadas por los usuarios minutos previos, puedan haber condicionado las respuestas. Las aulas CPR se sitúan fuera del rango de temperaturas confortables gran parte del tiempo monitoreado, lo cual se percibe en las encuestas con altos valores de usuarios en disconfort y en los cálculos de los índices PMV y PDD.

CONCLUSIONES

El estudio realizado, a partir del análisis de datos teóricos y empíricos, permite concluir que para edificios escolares, los niveles de confort térmico en aulas se ven afectados tanto por la densidad de ocupación, el nivel de vestimenta, el salto térmico interior-exterior, producto de la alternancia entre el espacio áulico (durante la hora de clase) y el patio (en los recreos), y las actividades de los usuarios (que difieren entre escuelas primarias y secundarias). A su vez, se considera que la estimación de los índices PMV y PDD es muy útil y que su exactitud depende en gran medida de los valores atribuidos a cada variable en coincidencia con la realidad. Las diferencias existentes entre los resultados empíricos y los calculados se deben, en ambos casos, a que los datos de actividad MET tomados de la Norma IRAM, no conciden exactamente con lo acontecido en las aulas, en cuanto a actividad metabólica de los alumnos.

En base a lo dicho, se confirma la importancia de contar con datos locales para definir los rangos de confort según la zona bioclimática y la tipología edilicia, tomando a las normas extranjeras, elaboradas en consideración a otras costumbres y condiciones ambientales, como una referencia y no un condicionante. En el caso de aulas, para la situación de invierno, la norma argentina (IRAM) se aproxima más que la ISO, a los umbrales térmicos definidos a partir de las encuestas. En verano ambas son coincidentes, pero la IRAM especifica una zona de confort diferenciada para situaciones de T° exterior superior a 35°C (usuales en el AMSJ), a fin de mantener las diferencias térmicas con el interior entre 10°C y 12°C .

Según las encuestas, la zona confortable para invierno en la escuela primaria se encuentra entre los 16°C y 20°C , con una diferencia de temperatura interior-exterior inferior a 11°C . En la escuela secundaria se debería elevar en $+1^{\circ}\text{C}$ dicho rango, para que los estudiantes puedan experimentar una mayor sensación de bienestar. En primavera los valores se ubican entre 24°C y 26°C para diferencias de T° interior – exterior, de $\pm 5^{\circ}\text{C}$. La definición de los niveles de confort es fundamental para implementar futuras acciones de eficiencia térmico-energética en edificios escolares.

NOTAS

La información presentada en este artículo, forma parte del trabajo de Tesis doctoral de la Arq. María Guillermina Ré, bajo la dirección de Dra. Arq. Celina Filippín y la co-dirección de la Dra. Arq. Irene Blasco Lucas, del Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, de la Universidad de Mendoza.

REFERENCIAS

- ASHRAE (2004) ANSI/ASHRAE Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-1992. USA
- Blasco Lucas, Irene (2013). Arquitectura sustentable en hábitat rural de zona árido-sísmica: Aportes teórico-metodológicos. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Esteves, A.; Gelardi, D.; Oliva, A. (1997) "The shape in the bioclimatic architecture: the FAEP factor". Proceedings of II Conference on Teachers in Architecture, Chapter 3.12.
- Filippín, Celina (2005) "Uso eficiente de la energía en edificios". Ediciones Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Gonzalo, Guillermo E. (2003) Manual de Arquitectura Bioclimática. Editorial Nobuko. Programa para el cálculo de situación de confort: PMV y PPD. CEEMA, IAA, FAU, UNT. Noviembre 2002
- IRAM (2004) 11659-1. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1. Primera Edición.
- ISO 7730 (2005) Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Third edition. Switzerland.
- Kuchen, E.; Fisch, M.N.; Gonzalo, G.E; Nozica, G.N. (2009) "Predicción del Índice de Disconformidad Térmica en Espacios de Oficina, Considerando el Diagnóstico de Usuarios" Revista AVERMA, Vol.13, p. 01.15 - 01.22

- Kuchen, E (2008) Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude. PhD Thesis. Technische Universität Braunschweig. Institut für Gebäude- und Solartechnik, ISBN 978-3-89959-783-7, S. 203, Der Andere Verlag, Tönning, Alemania.
- Pepler, R.D., Warner, R.E. (1968). Temperature and learning: an experimental study. ASHRAE Transactions, 74, p. 211-219.
- Pontoriero, Domingo; Hoesé, Liliana (2013-2014). Programa de relevamiento de datos meteorológicos de la ciudad de San Juan. Instituto de Energía Eléctrica, UNSJ.
- Re, M.G., Blasco Lucas, I., Filippín, C. (2016-b) Evaluación higrotérmica y energética de un edificio escolar perteneciente al Programa Nacional 700 Escuelas, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. Revista Hábitat Sustentable. Vol. 6, N° 2. Págs. 40-51. Universidad de Bio-Bio.
- Re, M.G., Blasco Lucas, I., Filippín, C. (2016-a) Comportamiento higrotérmico y energético en período estival de un edificio escolar típico en la ciudad de San Juan, Argentina. En Actas del “I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable”. Universidad Nacional de La Plata. Pp. 221 - 232
- Re, M.G. (2016) Análisis del comportamiento térmico de dos escuelas de tipología edilicia diferenciada, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. En Actas del VIII CRETA “Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura”. Eje 1- N°15. FAUD. UNSJ.
- Santamouris M. and Asimakopoulos D, Editores (1996) Passive Cooling of Buildings. James & James.
- SERRA FLORENSA Rafael, COCH ROURA Helena (1995) Arquitectura y energía natural. Editorial Universidad Politecnica de Catalunya. Barcelona.
- Wargocki, P; Wyon, D.P. (2006). Research report on effects of HVAC on student performance. ASHRAE Journal 48: p. 22-28.
- Yañez Parareda, G. (1982) *Energía Solar, edificación y clima*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid

ABSTRACT: The objective of the research is to make a contribution to determine comfort levels in schools. To do this, thermal behavior of six classrooms of two study cases with different constructive characteristics, are analyzed. Empirical data processing is performed, corresponding to hygrothermic measurements of winter and spring in real conditions of occupation, and thermal sensation surveys carried out to 459 users, based on the ASHRAE scale. In addition, the PMV and PPD indexes are calculated for five days of the monitored periods. It is concluded that the variables age, clothing, activity and thermal jump with respect to the exterior have influence in the perception of thermal well-being by students. It is necessary to continue to deepen studies on the theme to define thresholds appropriate to the particularities of this type of building in the regional context.

Keywords: schools, classrooms, thermal comfort, monitoring, indexes, surveys.