

## **ESTUDIO DE CAMPO SOBRE LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO Y VISUAL EN EDIFICIOS DE ENSEÑANZA PÚBLICOS EN CLIMA TEMPLADO**

**Alicia Picción, Magdalena Camacho, Gabriel Cheirasco, María Noel López, Sara Milicua**

Instituto de la Construcción- Departamento de Clima y Confort en Arquitectura DECCA, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República, Br. Artigas 1031, Montevideo, Uruguay. Tel 59824014250 – e-mail: decca@farq.edu.uy

**RESUMEN:** Se presentan los estudios experimentales sobre las condiciones térmicas interiores deseables y los problemas que afectan al confort en edificios de la Universidad de la República. Se trata de dos edificios con diferentes resoluciones tipológicas y usuarios (edificios natural y/o artificialmente acondicionados), en dos zonas climáticas (Montevideo y Salto). Basados en el enfoque adaptativo se adquirieron y correlacionaron datos relacionados al ambiente térmico y lumínico, con la respuesta de las personas acerca de las condiciones interiores y sus preferencias y las acciones que realizan para lograr confort, en ambos aspectos. Los votos de sensación térmica no se corresponden con el voto medio previsto calculado. El movimiento del aire resultó el parámetro con mayor influencia sobre la percepción térmica de los usuarios, obteniendo mayores porcentajes de confort en locales naturalmente ventilados. El confort visual aparece vinculado a los dispositivos de control de la radiación solar y al tipo y disposición de las luminarias.

**Palabras clave:** confort térmico, confort visual, enfoque adaptativo, evaluación experimental, edificios enseñanza,

### **INTRODUCCIÓN**

Las cuestiones sobre confort en los edificios han adquirido más relevancia desde que el enfoque de eficiencia energética hace necesario una revisión de los estándares de confort. El confort térmico es un fenómeno complejo ya que intervienen parámetros interiores y exteriores del ambiente pero también la percepción que tiene el sujeto de ese ambiente. La satisfacción térmica de una persona con un ambiente interior depende entonces de un buen número de variables. Tanto la definición de los límites recomendables de temperatura interior como de los aspectos relativos a la satisfacción de los ocupantes de los edificios requieren de mayor investigación.

El Uruguay, a través del Ministerio de Industria y Energía y Minería (MIEM), está desarrollando desde 2005 un programa de Eficiencia Energética de alcance nacional orientado a mejorar el uso de la energía por parte de los usuarios finales de todos los sectores económicos. Distintas acciones son orientadas a generar conciencia sobre los beneficios del uso eficiente de la energía y fomentar la incorporación de técnicas y de equipamientos energéticamente eficientes. También se ha promovido la revisión de códigos nacionales y reglamentaciones municipales aplicados a la edificación, buscando tener un impacto significativo en el diseño de edificios y de sus sistemas de climatización, iluminación y agua caliente sanitaria para reducir el consumo total de energía primaria. El sector edificación en su conjunto consume el 31% del total de energía producida, correspondiendo 23% a la residencia y 8% a servicios y comercio (MIEM, 2008). En programas complejos –comercios, hoteles, oficinas, hospitales- el consumo se multiplicó más de 11 veces en los últimos 40 años. Las investigaciones (de Dear y Brager, 2002) muestran que el consumo de energía en edificios de oficinas y servicios puede reducirse sin aumentar costos, bajando la dependencia de la refrigeración activa. Esto permite reducir las inversiones y los costos de operación debido al equipamiento técnico de menor tecnología.

Los edificios deben cumplir con los requerimientos de los ocupantes en cuanto a confort y calidad del ambiente de trabajo. La importancia de estos factores viene dada por razones fisiológicas, psicológicas y de economía ya que influyen en la productividad de los ocupantes (Wagner et al., 2007). En Uruguay estas cuestiones todavía no son consideradas relevantes en la gestión del edificio debido, particularmente, a una aproximación errónea al tema, por no contar con evaluaciones sistemáticas in situ. En especial es necesario profundizar en las interrelaciones entre los parámetros del ambiente interior y los relacionados a la satisfacción del individuo. En los últimos años diversos autores han realizado estudios de campo a fin de obtener información fiable sobre confort en ambientes de trabajo reales y las correspondientes interacciones entre los parámetros (de Dear, 1998; Nicol y Humphreys, 2002; Barlow y Fiala, 2007).

Varios estudios internacionales (Wagner et al., 2007; Humphreys y Hancock, 2007; González, 2001; de Dear, 1998) muestran además que el voto subjetivo de los ocupantes de edificios enfriados mediante ventilación natural o pasiva no se corresponde con una temperatura interior límite, pero sí que existe dependencia de la temperatura exterior bajo condiciones transitorias, estableciendo una fuerte dependencia estadística de las neutralidades térmicas ( $T_n$ ) para los niveles medios de temperatura del aire exterior. Dicho de otro modo, la temperatura de confort está fuertemente relacionada con la temperatura exterior media registrada para personas en edificios con acondicionamiento natural, mientras que para personas en edificios que son acondicionados artificialmente esta relación es más compleja porque el clima interior está dissociado del exterior. Esta es la razón por la que hay que definir estándares propios y apropiados, en lugar de promover la utilización de energía para mantener las condiciones de confort de un espacio debido a límites tan estrictos o inapropiados. Para el enfoque adaptativo el principio básico dice que: “si ocurre un cambio tal que produce desconfort, las personas reaccionan tendiendo a restablecer su

confort". De este modo los ocupantes que tienen mayor posibilidad de adaptar el ambiente a sus necesidades o acceder a los mecanismos de control (abrir una ventana) serían más 'indulgentes' hacia las condiciones que brinda el edificio. Por lo tanto el rango de condiciones consideradas confortables se ve afectado, también, por las características del edificio y las oportunidades de adaptación que tienen los ocupantes, aunque ha sido difícil cuantificar la relación entre oportunidad de adaptación que tiene el ocupante con la disponibilidad y accesibilidad de controles en el edificio.

El DECCA está llevando a cabo un programa de investigación sobre el desempeño térmico, lumínico y energético de edificios desde el año 2005, con resultados disponibles sobre edificios residenciales. Los objetivos abordan el problema de acceso a la energía (MIEM, 2008) y el grado de satisfacción de los ocupantes en relación al confort y una respuesta posible a través de pautas de diseño bioclimáticas con criterios ajustados (Budaiwi I, 2007). Asimismo se apunta a la determinación de un límite al consumo total de energía en kWh / (m<sup>2</sup> a), criterio avalado por investigaciones y experiencias en países desarrollados (Pérez-Lombard et al., 2008).

Con el fin de promover la eficiencia energética en edificios públicos de servicios el DECCA está desarrollando desde 2009 el proyecto de investigación I+D, 'Aporte a la eficiencia energética a partir de un estudio de casos de las condiciones de confort térmico y visual en edificios públicos en clima templado' financiado por CSIC (Comisión Sectorial de Investigación Científica). Como avances parciales de ese proyecto, en este trabajo se presentan estudios de campo llevados a cabo para investigar el confort térmico y visual en el período caluroso en dos edificios de la Universidad de la República. El edificio de la Facultad de Arquitectura en Montevideo es naturalmente ventilado, mientras que el edificio de la Regional Norte en Salto cuenta con refrigeración mecánica.

El propósito de este estudio de campo fue por lo tanto:

1. comparar las mediciones y los votos de sensación térmica y confort térmico en distintos locales (aulas, bibliotecas, oficinas) de ambos edificios bajo las condiciones climáticas de verano de cada localidad.
2. comparar estos resultados con los diferentes enfoques internacionales, en particular el de Voto medio previsto PMV y los modelos de adaptación-
3. continuar la experiencia en estudios de campo sobre confort térmico y visual, comenzada en el sector residencial, a fin de ajustar las investigaciones a otros tipos de programas arquitectónicos de mayor complejidad.

Entre los objetivos propuestos y por tratarse de estudio de casos, se buscó si existen diferencias significativas entre los edificios seleccionados en cuanto a los votos de los ocupantes y los parámetros que más influyen sobre estos votos. Además de la conformidad, al mismo tiempo se buscó conocer la satisfacción de los ocupantes con el lugar de trabajo, a través de una encuesta amplia que aportara criterios de valoración de la percepción individual térmica, visual, acústica, de la calidad del aire y de aspectos de diseño y adaptabilidad del espacio de trabajo. Según los estudios post ocupación desarrollados por Pfafferott et al. (2007) es necesario profundizar las investigaciones sobre la correlación entre el control que efectivamente realizan los ocupantes y su satisfacción. Este análisis permitiría llegar a conclusiones generales con respecto a la eficiencia energética y las características del diseño. En otra etapa se evaluarán las dependencias entre estos parámetros y las estrategias de diseño, y su influencia sobre el consumo de energía (Lehmann et al., 2010).

## ESTUDIO DE CAMPO SOBRE CONFORT TÉRMICO Y VISUAL EN CONDICIONES DE VERANO

### *Características climáticas*

Según la clasificación de Köpper a Uruguay le corresponde la clasificación climática cfa; c por ser templado húmedo; f, debido a que tiene precipitaciones durante todo el año, a, porque la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. Esta investigación toma como referencia dos ciudades de Uruguay, Montevideo y Salto. Según la norma de Zonificación Climática UNIT 1026:99, Montevideo se localiza en la latitud -34°50' y pertenece a la zona templada fría. Salto se localiza en la latitud -31°38' y pertenece a la zona cálida. De acuerdo a las Normales climatológicas de Uruguay (DNM, 1996) para Montevideo la temperatura media en el período caluroso es 22.3°C, la mínima media es 17.4°C y la máxima media es 27.5°C y para Salto la temperatura media en el período caluroso es 25°C, la mínima media es 18.7°C y la máxima media es 31.5°C.

### *Descripción de los edificios y de la metodología.*

El edificio central de la Facultad de Arquitectura, UDELAR, ubicado en Montevideo, fue construido hacia 1945 y ampliado hacia 1980. Cuenta con un área aproximada de 11500 m<sup>2</sup> distribuidos en 3 sectores (hall y salón de actos, biblioteca y oficinas, aulas) que rodean un espacio exterior central (fig. 1).



Figura 1: Vistas de la fachada Este y del aula 2 y planta del edificio con la ubicación de los locales estudiados.

Los locales estudiados en este edificio son las aulas 2 y 10 y la biblioteca. Como características relevantes tienen ventanales de piso a techo con vidrio simple común, orientados al este, al sureste y al sur respectivamente. Los tres locales están ventilados naturalmente durante todo el año, cuentan con masa térmica en techo y paredes (sin aislamiento) y dispositivos de protección solar móvil interior de pvc color negro, poco adecuados a los requerimientos funcionales.

El edificio de la Regional Norte, UDELAR, ubicado en Salto fue construido en 2000 y cuenta con un área cubierta aproximada de 24000 m<sup>2</sup>, distribuidos en 3 sectores: atrio, aulas y oficinas al norte y salón de actos, cantina y biblioteca al sur, (fig. 2). Se trata de un edificio cuyas fachadas principales están definidas por grandes superficies vidriadas, con doble vidriado hermético al sur y vidrio simple con protección solar exterior al Norte. Los entrepisos de hormigón armado aportan masa térmica. Las aberturas operables están distribuidas en la fachada Norte, mientras que en la sur están ubicadas en subsuelo y nivel 1. El atrio no cuenta con aberturas altas que permitan la ventilación por termosifón. El funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones de climatización depende de la existencia de recursos económicos.

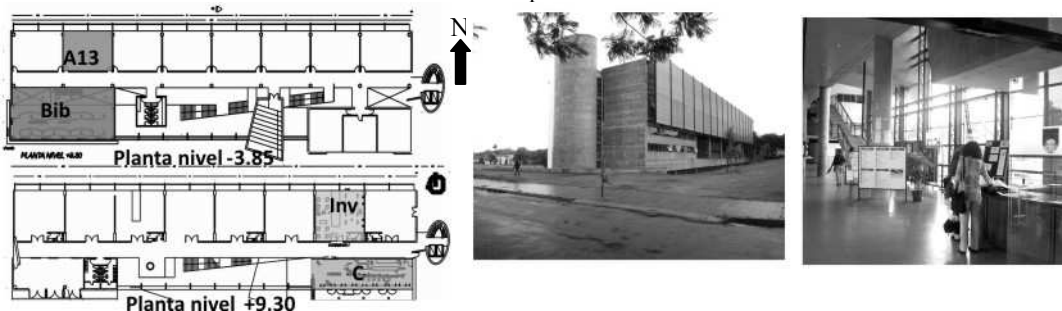


Figura 2: Plantas del edificio con la ubicación de locales estudiados y vistas de la fachada Norte y del atrio al sur.

Datos generales	Regional Norte - Salto					Facultad Arquitectura - Montevideo		
	Cantina	Biblioteca	Salón 13	Dpto. Investigación	Administ.	Salón 2	Biblioteca	Salón 10
Orientación solar	S	S	N	N	N	E	S	S
%hueco=A.vid./A.fach.	100	100	100	30	50	100	90	100
Volumen (m <sup>3</sup> )	348	1290	340	291	243	620	2112	600
m <sup>3</sup> /p	34	161	34	30	22	65	80	19
Equipo comp.pc (m <sup>3</sup> /cant.)	34	184	-	24	24	258	40	206
Posibilidad regular equipo A.A.	no	si	si	si	si	-	Individual	-
Sistema A.A.	Faincoil (cielorraso)			Faincoil (cielorraso)	Faincoil (vertical)	-	Split (1 sala)	-

Tabla 1: Resumen de las características de los locales estudiados en cada edificio.

Durante el estudio, que se llevó a cabo en noviembre de 2009 y febrero de 2010, se abordaron tres aspectos: usuario, edificio y clima.

Se realizaron encuestas a los usuarios, estudiantes y funcionarios, sobre los aspectos relativos al confort térmico y visual, tales como temperatura, humedad, movimiento del aire, calidad del aire y de la luz, posibilidades de adaptación personal y del clima interior (cambios de conducta y control de diversos dispositivos). Las preguntas relativas a sensación de confort, preferencia y aceptación eran respondidas según una escala predeterminada. Un total de 37 personas en Montevideo y 14 en Salto que utilizan regularmente el edificio y que hubieran permanecido en el local desde 30 minutos antes de la encuesta, participaron en el estudio. El 65% de los encuestados en Montevideo tiene entre 21 y 29 años, que corresponde a estudiantes considerados como usuarios eventuales del local. Para edades menores y mayores el porcentaje es similar, en el orden de 12% por franja. En Salto, el 43% tiene edades entre 30 y 49 años y corresponde a funcionarios considerados usuarios permanentes del local; los encuestados menores de 29 años suman el 33%. La tasa metabólica relevada es consistente con actividad sedentaria (met 1.2, sentado) y la vestimenta promedio relevada corresponde a 0.6 clo. Para la determinación del valor de resistencia de la ropa (clo) se toma el reporte ASHRAE RP-462 y para la tasa metabólica se asignan los valores de la norma ISO 7730 y ASHRAE 55:2004.

Se estudiaron las características tipológicas de los edificios (características de la envolvente, vinculación y distribución de espacios y patrones de usos de los espacios), sistematizadas en fichas de relevamiento. Se monitorearon las principales variables del ambiente interior (temperatura, humedad y velocidad del aire, temperaturas de las superficies interiores y nivel de iluminación de los locales a nivel de plano de trabajo), en el período caluroso. Las variables climáticas de temperatura, humedad relativa y dirección y velocidad del viento y niveles de iluminación, estado del cielo se relevaron y sistematizaron a través de mediciones de campo para contrastarlas con los datos interiores colectados simultáneamente. Otros datos climáticos se tomaron de internet (Weather Underground).

En de Dears et al. (1997) la toma de datos de monitoreo se clasifica en: Clase III; II y I. Para esta investigación se siguen los criterios *Clase II*: se registran los parámetros ambientales interiores (temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire, humedad relativa, tasa metabólica y resistencia de la ropa) necesario para el cálculo de SET, PMV y PPD, al mismo momento que se efectúan los cuestionarios. Las mediciones próximas al encuestado se registran en dos niveles altimétricos (0.1 y 1.1m sobre nivel de piso).

Se contrastaron las mediciones con las respuestas de las personas acerca de las condiciones en las que trabajan y de las acciones que realizan para lograr confort, en ambos aspectos, térmico y visual. Para definir y calcular la temperatura de confort se trabajó con la relación entre temperatura interior y el voto de confort tomando en cuenta que las personas se adaptan continuamente al ambiente que lo rodea, aplicando el Análisis Estadístico de Componente principal (ACA), según Humphreys y Nicol, citado en (McCartney and Nicol, 2002).

Instrumental utilizado: temperatura y humedad relativa del aire interior colectada con registradores autónomos Onset-Hobo H8 ubicados en el centro del local y Hobo H8pro para temperatura y humedad relativa del aire exterior; captación de la radiación infrarroja de las fachadas interiores con cámara termográfica FLUKE TIR 3/ FT 20/7.5, sensibilidad  $\leq 0.05$  °C y temperaturas de las superficies próximas a los encuestados con Termómetro infrarrojo (IR) Extech 42512 doble láser; velocidad del aire interior con Termo Anemómetro PCM EXTECH 407119A de alambre caliente, resolución de 0.1 y apreciación de  $\pm 5\%$ ; nivel de iluminación con Luxómetro digital EXTECH HD450.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla 2 muestra las temperaturas exteriores promedio que corresponden a valores típicos de verano para cada localidad. La temperatura promedio exterior en Salto es 2 K mayor, mientras que en ambas ciudades los registros de humedad relativa exterior están en el entorno del 50- 75%. Para las condiciones interiores sistematizadas, se observa que las temperaturas del aire son más altas en Salto, edificio climatizado. Las velocidades del aire en ambos edificios no superan los 0.2 a 0.3 m/s, pero en muchos casos el aire permanece quieto.

En función de la encuesta y de las respuestas obtenidas, se estableció que las personas que se encuentran en confort térmico son aquellas que por un lado dicen que no sienten ni frío ni calor y que les gustaría permanecer en la misma situación.

	Regional Norte - SALTO																			
	Cantina				Biblioteca				Salón 13				Dpto. Investigación				Administ.			
	E	P	%CT	%D.C	E	P	%CT	%D.C	E	P	%CT	%D.C	E	P	%CT	%D.C	E	P	%CT	%D.C
Encuestas	1	1	100	0	3	1	75	25	2	0	0	100	0	3	100	0	0	3	33	67
Tam (°C)	24.0	23.7			24.3	27.7			27.7					26.8-27.4					26.1-26.5	
Tmr (°C)	25.4	25.2			25.4-27.5	26.3			28.3-28.4					25.8-27.1					26.5-27.5	
V. aire (m/s)	0.1	0.1			0-0.3	0.2			0.0					0.0					0.0	
HR(%)	55.8	55.8			55.3	63.7			-					56.3					55.1	
llum. (lux)	1120	840			-	-			260-310					224-420					66-320	
Text. (°C)	27.2																			
HRext. (%)	78.4																			

	Facultad Arquitectura - MONTEVIDEO																			
	Salón 2					Biblioteca					Salón 10									
	E	P	%CT	%D.C	%D.F	E	P	%CT	%D.C	%D.F	E	P	%CT	%D.C	%D.F					
Encuestas	8	0	88	0	13	4	3	100	0	0	22	0	76	24	0					
Tam (°C)	21.2-23.8					22.5-22.9					24.2-24.8					22.7-25.1				
Tmr (°C)	23.1-25.2					22.3					22.1-22.7					22.4-22.5				
V. aire (m/s)	0-0.2					0.0-0.1					0.0-0.1					0.0				
HR(%)	43.4															61.8				
llum. (lux)	220-1944					1108					521					72-223				
Text. (°C)	25.1					25.5					22.1									
HRext. (%)	55.2					48					76.7									

E = usuario eventual	P= usuario permanente	%CT= porcentaje en confort térmico	%DC = porcentaje en disconfort por calor	%DF = porcentaje de disconfort por frío
----------------------	-----------------------	------------------------------------	--	---

Tabla 2: Resumen de los datos registrados y sistematizados para cada edificio.

### Facultad de Arquitectura

La biblioteca (orientación sur) presenta 100% de personas en confort térmico, siendo la temperatura media para encuestados eventuales (22.7 °C), inferior a la temperatura media de los encuestados permanentes (24.5 °C) y a su vez ambas inferiores a la temperatura exterior 25.5 °C. La velocidad del aire no presenta variaciones para ambos tipos de encuestados, aire en calma. En ambas aulas las temperaturas interiores medias son similares a las de biblioteca, en aula 2 la temperatura promedio interior es 22.5°C y en aula 10 de 24 °C. Sin embargo se presentan situaciones de disconfort térmico, en el aula 2 (orientación E) por frío (63%) mientras que en el aula 10 (orientación sur) por calor (24%). La velocidad del aire es levemente superior en el aula 2. El aula 10 fue estudiada a principios del período caluroso con una temperatura exterior aún baja (22.1 °C), siendo el

único local cuya temperatura interior supera a la exterior. Dado las expectativas y el tiempo de aclimatación necesario para adaptarse a temperaturas más altas, un 45% de los usuarios prefiere aún un ambiente más fresco.

#### Regional Norte

La cantina (orientación Sur) y el Departamento de investigación (orientación Norte) presentan 100% de personas en confort térmico, a pesar de que los valores de temperatura registrados difieren en 3°C aproximadamente entre ambos locales. Para los encuestados eventuales y permanentes de la cantina la temperatura del aire oscila entre los 23.7 °C y 24 °C. Análogamente la temperatura media radiante no presenta grandes variaciones para ambos encuestados siendo levemente superior para los eventuales (25.4 °C), al igual que la iluminación (1.33 veces superior) porque se encuentran próximos a la fachada totalmente vidriada. La velocidad del aire (0.1 m/s) al igual que la humedad relativa interior es igual para ambos tipos de encuestados. En el departamento de investigación se trata de ocupantes permanentes y la temperatura del aire varía 0.6 °C, con aire quieto. La temperatura exterior de 27.2 °C o 3.2 °C superior a la del aire en la cantina y 0.2 °C en relación al departamento de investigación. La humedad relativa interior es inferior a la exterior (78.4%) en 22.6%. Si tenemos en cuenta ambos locales que presentan 100% de personas en confort térmico el rango de temperaturas del aire está comprendido entre los 23.7 °C-27.4 °C, mientras la temperatura media radiante está entre los 25.2 °C-27.1 °C y la velocidad del aire entre los 0 y 0.1 m/s.

El aula 13 (orientación N) es el único local de la Regional que presenta 100% de personas en desconfort térmico por calor. La temperatura del aire es 27.7 °C en ambos encuestados superior en 0.5 °C a la exterior. La temperatura media radiante es 28.3 °C-28.4 °C superior a la temperatura del aire en 0.7 °C, mientras que la velocidad del aire es 0 m/s. Cabe aclarar que los equipos fancoil estaban en funcionamiento y que la temperatura del aire en el atrio era de 29 °C, superior a la del local y a la exterior. Si bien, por su orientación, la fachada del local recibe radiación solar a la hora de la encuesta, la misma no llega de forma directa al interior debido a la protección solar exterior existente. La Administración (orientación N) es el otro local con mayor porcentaje de desconfort térmico también por calor (67%). En este caso la temperatura del aire es inferior a la del aula 13 en 1.2 °C, estando comprendida entre 26.1 °C-26.5 °C, pero inferior a la del Dpto. de Investigación, en confort para sus ocupantes. La temperatura media radiante es también inferior al aula 13 de igual orientación en 0.9 °C (26.5 °C-27.5 °C). En este caso, tampoco hay incidencia de radiación solar. Por otra parte, la biblioteca (orientación S) es la que presenta el menor porcentaje de desconfort térmico por calor (25%) pero presentando una temperatura del aire que varía en un rango entre 24.3 °C-27.3 °C. La media radiante oscila entre los 25.4 °C-27.5 °C inferior a la del aire en 1.8 °C y la velocidad del aire también es superior a los demás locales varía de 0 a 0.3 m/s. A diferencia de los otros locales de estudio, en la biblioteca incide directamente la radiación solar pero no sobre los usuarios encuestados.

En Salto las temperaturas interiores presentan mayor cantidad de valores por encima de la exterior, contrariamente a lo que sucede en Montevideo.

#### Porcentajes globales de Confort Térmico y Visual – Comparación de voto por encuestas con PMV

De acuerdo a las condiciones dadas, el promedio de los índices PVM calculados mediante el programa Comfort de ASHRAE es de 0.11, siendo el menor valor -1.2 y el mayor + 1.28. El porcentaje de personas en desconfort (PPD) es de 10%. Estos valores calculados difieren con los porcentajes obtenidos de las encuestas realizadas en campo. El mayor porcentaje de personas que contestan que no sienten ni frío ni calor y que además les gustaría permanecer en estas condiciones es de 58% y se obtiene en un edificio naturalmente ventilado en Montevideo, la Facultad de Arquitectura (fig. 3).

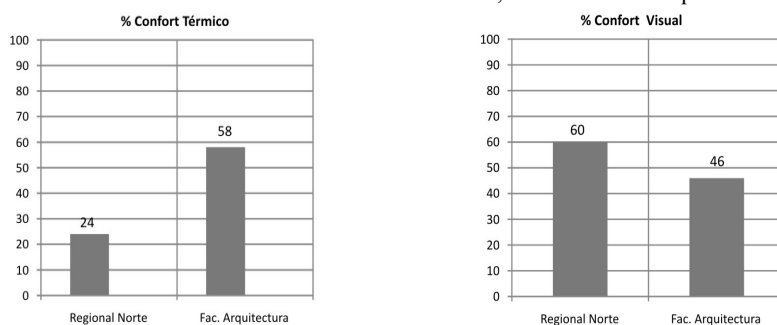


Figura 3: Porcentajes de confort térmico (izq.) y visual (der.) obtenidos por encuesta.

Para evaluar el confort visual en los edificios se preguntó sobre la satisfacción con las condiciones del espacio en relación a nivel de iluminación, contrastes, deslumbramientos y posibilidades de control del ambiente luminoso. En contraste con las respuestas obtenidas sobre el ambiente térmico, este aspecto registró porcentajes superiores al 50%, exceptuando la Facultad de Arquitectura que no dispone de dispositivos adecuados de control de la radiación solar y además el tipo y disposición de las luminarias resulta poco adecuado al uso de los locales (fig. 3).

## CONCLUSIONES

En los locales que presentan confort térmico en Regional Norte, Salto, con clima templado cálido, la velocidad del aire no se diferencia, variando la temperatura del aire en un rango entre los 23.7 °C-27.4 °C, para el período caluroso mientras la media radiante entre los 25.2 °C-27.1 °C. Los restantes dos locales estudiados en este edificio presentan desconfort térmico por calor, con temperaturas del aire entre los 24.3 °C-27.7 °C, es decir 0.6 K superior al rango de la temperatura del aire de los

locales en confort térmico. La media radiante está comprendida entre los 25.4 °C-28.4 °C, 1.3 K superior a la media radiante de los locales en confort térmico.

En la Facultad de Arquitectura de Montevideo, con clima templado frío, la temperatura del aire en los locales con 100% de personas en confort térmico varía entre 22.5 °C-24.8 °C, La media radiante varía de 22.1 °C-22.7 °C, Para los locales con disconfort térmico en Montevideo, la temperatura del aire está comprendida entre los 21.2 °C-25.1 °C, presentando casos tanto de disconfort por frío en los valores menores y de disconfort por calor en los mayores.

Podemos concluir que ambos edificios de enseñanza tienen locales en condiciones de disconfort térmico, cuya temperatura interior es mayor que la exterior (superior en 0.5 K). El rango de temperatura de confort térmico es más amplio en Salto (23.7 °C-27.4 °C) que en Montevideo (22.5 °C-24.8 °C), acompañando a los valores de temperatura exterior que son también superiores en Salto. Si bien se trata de un edificio con refrigeración mecánica, sus ocupantes no viven permanentemente en edificios acondicionados y el propio edificio ha pasado largos períodos sin posibilidades de usarla, cuestión que también parece influir en sus expectativas.

Los índices usualmente utilizados (PVM y PPD) para evaluar el grado de satisfacción térmica no explican los porcentajes reales de confort obtenidos en los edificios públicos estudiados. Por lo tanto la sensación de neutralidad térmica (ni frío ni calor) del voto previsto no coincide necesariamente con la sensación de confort o de preferencia térmica de los usuarios reales.

Los mayores porcentajes de confort térmico, evaluados en términos de sensación y preferencia, corresponden al edificio de Facultad de Arquitectura o a locales naturalmente ventilados. En parte esto se explicaría por las bajas expectativas térmicas que tienen los alumnos y los funcionarios así como la aclimatación que realizan constantemente.

La edad de la construcción y las tecnologías incorporadas no suponen una mejor percepción de los usuarios. En principio el edificio de Regional Norte con tecnologías de acondicionamiento térmico artificial no presenta los valores mayores de satisfacción con el espacio construido. Para el período estudiado, no se encontró correlación entre los porcentajes de confort obtenidos y las características de la envolvente del local, como porcentaje de área vidriada, orientación, terminaciones superficiales.

De las características térmicas del ambiente, la velocidad del aire y su patrón de movimiento resultaron ser los parámetros con mayor influencia sobre la percepción térmica de los usuarios, ya que en todos estos casos la respuesta sobre preferencia térmica estuvo ligada a un ambiente con mayor velocidad del aire (Schiavon y Melikov, 2008; Xing et al., 2009). Este aspecto es más notorio en el edificio acondicionado artificialmente.

En este momento se está profundizando en la correlación entre temperatura de confort, temperatura interior media y temperatura exterior.

En relación con los dispositivos de sombreado de accionamiento manual que están disponibles, la persona tiende a ajustarlos una vez y luego rara vez vuelve a cambiarlos (Masoso y Grobler, 2010); las molestias por deslumbramiento de las ventanas y los niveles de iluminancia preferidos son muy variables de una persona a otra (Galasiu y Veitch, 2006).

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) que financió esta investigación como proyecto I+D del año 2008. A las instituciones que permiten la realización del estudio de campo en sus instalaciones y sus funcionarios que brindan su tiempo y colaboración.

## **REFERENCIAS**

Artículo de revista

- Barlow S. y Fiala D. (2007). Occupant comfort in UK offices—How adaptive comfort theories might influence future low energy office refurbishment strategies. *Energy and Buildings* 39, 837–846.
- Budaiwi I, (2007). An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings, *Building and Environment* 42, 2124–2131.
- deDear R. y Brager G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings-revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34, 6, 549–561.
- deDear R. (1998). A Global Database of Thermal Comfort Field Experiments. *ASHRAE Transactions SF-98-11-1, RP-884*.
- Galasiu A. y Veitch J. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. *Energy and Buildings* 38, 728–742.
- Gonzalez E. y Bravo G. (2001). Toward appropriate comfort temperatures to the hot and humid climatic conditions. *PLEA 2001 Proceedings*, 823-827.
- Humphreys M. y Hancock M. (2007). Do people like to feel 'neutral'? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. *Energy and Buildings* 39, 867–874.
- Lehmann B. et al. (2010). Simulation and measurement of energy performance and comfort in a sustainable office building. *Energy and Buildings* 42, 1958–1967.
- Masoso O. y Grobler L. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy use. *Energy and Buildings* 42, 173–177.

- McCartney y Nicol F. (2002). Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings* 34, 623-635.
- Nicol F. y Humphreys M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings* 34, 6, 563-572.
- Pfafferott J., et al. (2007). Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria. *Energy and Buildings* 39, 750-757.
- Pérez-Lombard L., Ortiz J. y Pout C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings* 40, 394-398.
- Schiavon S. y Melikov A. (2008). Energy saving and improved comfort by increased air movement. *Energy and Buildings* 40, 1954-1960.
- Wagner A., Gossauer E., Moosmann C., Gropp T. y Leonhart R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings* 39, 758-769.
- Xing S., Xu Z. y Jun G. (2009). Evaluation method of natural ventilation system based on thermal comfort in China. *Energy and Buildings* 41, 67-70.
- Libro
- de Dear R., Brager G. y Cooper D. (1997). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*. Final report, ASHRAE RP- 884, Macquarie University, Australia
- Fanger P. (1970). *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen
- International Standards Organization. (2005). *Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort (ISO 7730)*. Switzerland
- ASHRAE Standard 55 (2005). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (1999). *Zonificación Climática*. UNIT 1026. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2005). *Proyecto de Eficiencia Energética*. Montevideo, Uruguay.

## ABSTRACT

We present experimental studies on the desirable indoor thermal conditions and problems affecting the comfort in buildings of the University of the Republic. These are two buildings with different typologies and users (natural ventilated buildings and / or artificially conditioned) in two climatic zones (Montevideo and Salto). From adaptive approach, its were acquired data to temperature and light environment, and correlated with the response from people about interior conditions and preferences and the actions they take to achieve comfort in both. The votes of thermal sensation do not correspond with the average vote calculated. Air movement was the most influential parameter on the thermal perception of the users, obtaining higher percentages of local comfort in naturally ventilated. Visual comfort appears to be linked to the control devices of solar radiation and the type and arrangement of the lighting.

**Keywords:** thermal comfort, visual comfort, adaptive approach, experimental evaluation, school buildings