

CAMBIANDO LOS PARADIGMAS: REVISIÓN DEL CONCEPTO DE CONFORT HIGROTÉRMICO DESDE LOS 60' HASTA LA ACTUALIDAD.

G. Arrieta ¹, A. Maristany ².

Centro de investigaciones Acústicas y luminotécnicas (CIAL) – Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño (FAUD) Universidad Nacional de Córdoba (UNC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – El Cordobazo s/n – Ciudad Universitaria – Córdoba Capital -
C.P:5000 - <http://cial.faudi.unc.edu.ar/>
– Tel: 0351 433-3037 e-mail: cial@cial.unc.edu.ar

Recibido 10/08/18, aceptado 25/09/18

RESUMEN: Muchos son los autores que se refirieron al confort higrotérmico en sus investigaciones a lo largo de la historia, y variadas las definiciones de este concepto. En general, todas ellas se refieren a ausencia de malestar térmico o sensación de bienestar térmico, poniendo especial énfasis en la percepción de las personas. En la actualidad coexisten dos modelos que predicen su cuantificación. El modelo de balance térmico (basado en estudios de laboratorio) y el modelo adaptativo (basado en estudios de campo). Habiendo cambiado las pretensiones de confort de las personas mientras que los criterios constructivos de la arquitectura residencial se mantienen constantes, aumentando significativamente el consumo energético de las ciudades. En este trabajo, se realiza una revisión de la evolución del paradigma de confort desde los años 60' hasta la actualidad y se analiza su impacto en la arquitectura y el consumo energético residencial de acuerdo al modelo de confort adoptado.

Palabras claves: Paradigma de confort, Arquitectura adaptada al clima, Eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

El hombre, como los demás seres vivos ha de adaptarse a los límites impuestos por las condiciones climáticas de la naturaleza, desarrollando a lo largo de su evolución habilidades y capacidades para soportarlas. A diferencia de las demás especies, tiene la capacidad agregada de adaptarse al medio modificando voluntaria o involuntariamente las condiciones de la vestimenta o la vivienda. Actualmente hay una tendencia a exigirle demasiado a los mecanismos artificiales de regulación climática, excediendo los niveles de confort suficientes para tener inactivos los mecanismos de termorregulación natural, que indicarían una sensación de confort a nivel biológico. Son muchos los autores que se interesaron por definir el confort higrotérmico y especificar los parámetros que en el intervienen. Ejemplo de éstos son:

- “La ausencia de irritación o malestar térmico”. (Givoni, 1998); citado por Gómez-Azpeitia et al, (2007, p.50).
- “Aquella condición de la mente que se expresa satisfacción con el ambiente térmico” ISO 7730:2005 ; ASHRAE (2001); Citado por (Gómez-Azpeitia et al., 2007, p.50).

¹Becaria interna doctoral CONICET

² Titular de Catedra e Investigador Categoría 1 – Director CIAL - FAUD - UNC.

- “Cuando el balance térmico arroja un valor cero, es decir cuando el cuerpo humano no gana ni cede calor, significa, según este enfoque, (Cuantitativo) que las personas experimentan objetivamente una sensación térmica de confort.” (Gómez-Azpeitia et al., 2007, p.46)
- (Jara, 2015) Describe que el concepto de confort térmico fue abordado por tres líneas. La línea racional que lo describe como equilibrio térmico del cuerpo. La línea fisiológica que establece que la percepción térmica de un individuo es debido a los impulsos nerviosos. Y la línea psicológica que lo define como aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico (considerado en los estándares internacionales como ISO 7730 y ASHRAE 55).(UNE-EN ISO 7730, 2006)

Lo cierto es que “Si los rangos de confort térmico fuesen universales o iguales para todo tipo de edificios, personas y climas; entonces este perdería trascendencia en la respuesta que el diseño arquitectónico podría dar a este factor ambiental.” (Jara, 2015).

Además, se debe considerar el aumento del consumo energético de las ciudades, cada vez más densamente pobladas. Donde “Los espacios construidos cuentan con cerca del 40% de la energía global consumida y contribuye con más del 30% de las emisiones totales de CO₂. En gran proporción, esa energía es usada para el confort térmico de esas construcciones”. (Yang et al, 2014, p.164). Sumado a un aumento global, gradual y constante de la temperatura terrestre.

“La sociedad actual exige lugares seguros, limpios y bien climatizados, para lo que es necesario integrar percepciones y exigencias de los habitantes y alcanzar un óptimo equilibrio entre estándares sociales, uso de la energía y desarrollo sostenible.”(Vargas y Pulgarín Gallego, 2005, p.1). En este marco se lleva a cabo esta investigación, detectando los cambios en el paradigma de confort que la sociedad viene experimentando en el tiempo, intentando alcanzar otros estándares en la actualidad. ¿Por qué bajo las mismas condiciones climáticas interiores, hace algunos años, el común de las personas se sentía confortable y ahora no? ¿Cómo y por qué cambiaron estos paradigmas? ¿Cuál es el impacto de estos nuevos paradigmas de confort en la adaptación energética de los edificios naturalmente acondicionados al medio? ¿Cuál es la problemática del confort actual y como es su relación con los edificios naturalmente acondicionados?

CAMBIOS EN LOS PARADIGMAS DE CONFORT

El confort en los años 60's:

La década del 60' fue caracterizada mundialmente por el crecimiento económico y los avances científico-tecnológicos. Se había comenzado a utilizar la computadora para fines civiles, el televisor y el extraordinario desarrollo de los medios de comunicación permitió difundir a nivel mundial los acontecimientos aislados como la llegada del hombre a la luna. A su vez, comenzaron a mejorar las condiciones de vida de la población mundial y sobre todo de la clase media. Se amplió la educación secundaria y universitaria a nuevos sectores y las mujeres se introdujeron en el mundo del trabajo. Los años 60' fueron tiempos de soñar, Los movimientos estudiantiles, la lucha por los derechos de Martin Luther King, todo se podía cuestionar. Argentina está convulsionada por las políticas militares, El Cordobazo en 1969 y los movimientos estudiantiles (Figura 1). La carrera espacial, que deriva en el futurismo, inspirado en la factibilidad de vivir en el espacio como algo absolutamente posible. Y por otro lado y totalmente opuesto, el movimiento hippie, de los jóvenes dando la espalda a la modernidad y la explosión del color y la psicodelia. La aparición de nuevos materiales, como el acrílico y los materiales sintéticos.

En este contexto, Banham propone en su texto “A Home is not a House” (Banham Reyner, 2012) una burbuja atemperada, que puede “inflarse y desinflarse” en un lugar y otro según se desee. Una burbuja que sea abastecida por una gran cantidad de energía para poner en funcionamiento los electrodomésticos en su interior que satisfacen las necesidades de la vida cotidiana. Se implantaba la idea de que la energía y la tecnología podían resolver de forma absoluta la vida de las personas, como el nuevo horizonte a seguir.

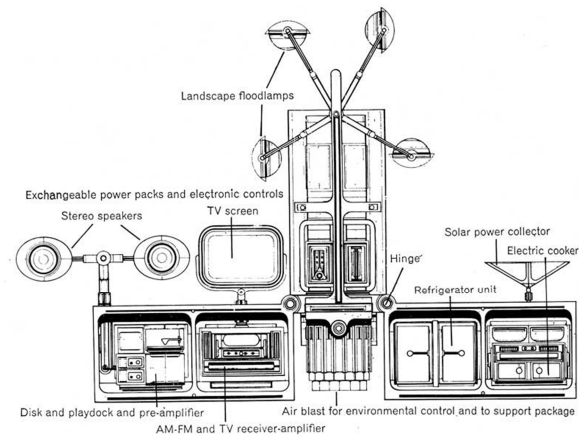
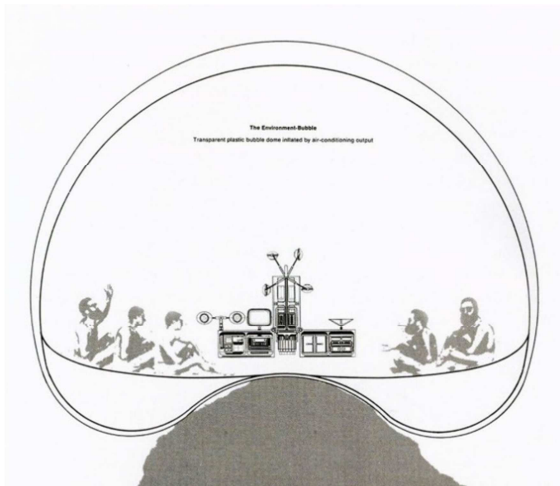


Figura 1: Burbuja de Banham "A Home is not a House". Fuente: (Banham Reyner, 2012)

El cambio de paradigma en los 73's con la crisis del petróleo:

La crisis del petróleo demostró en el mundo entero no sólo la importancia de este recurso natural, sino también la posibilidad de utilizarlo, al igual que otros recursos, como armas económicas o como instrumentos de presión internacional, o sea, otra herramienta más para aumentar el margen de maniobra de un país.

Para principios de los 70 casi todos los países latinoamericanos habían sido afectados por una profunda y prolongada recesión económica de los últimos años. Se vivió un descenso de los indicadores económicos y sociales, decaimiento significativo en producción y tasas de crecimiento. La crisis y los procesos de ajuste de los ochenta rompieron con el frágil balance que se tenía en el empleo, el cual había sido producto del crecimiento de las décadas anteriores. Para entonces, se evidenció que el petróleo era un recurso necesario para el funcionamiento de la mayoría de las cosas en la era de la tecnología y el desarrollo, y la no exportación de los países árabes al resto del mundo, obligaron a implementar políticas de ajuste que derribaron de inmediato el "sueño de la burbuja" y muchos otros pensamientos futuristas del momento. Se produjo una disminución en el consumo de energías y con ello un estancamiento del desarrollo tecnológico.

Se empieza a hablar de la conciencia sustentable. Años 90':

Durante este tiempo (movimiento moderno), el diseño arquitectónico tendió a desligarse de su contexto climático, centrándose en la creación de un clima interior regulado artificialmente para abordar las inclemencias climatológicas (Rodríguez, 2007). En este sentido, el modelo adaptativo, no hizo más que validar lo que la arquitectura vernácula o bioclimática viene planteando hace unos varios años atrás. Este modelo sugiere que los rangos de confort varían, y que uno de los principales factores que definen aquello; es el clima. En los años que le sucedieron, comenzó a abordarse el tema del desarrollo sostenible con especial interés. Se comenzó a definir el concepto de "sostenible", se abrió el debate sobre el efecto invernadero en el planeta y las consecuencias de no asumir la responsabilidad respecto del medio ambiente. Podemos enumerar los principales hechos en los siguientes:

- Informe Brutland (1987): Define por primera vez el desarrollo sostenible, como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones". En este informe se enfrenta y contrasta la postura del desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental. También se puso de manifiesto la necesidad de llevar a cabo una nueva conferencia a nivel mundial, dado que los objetivos propuestos en conferencias anteriores no estaban siendo cumplidos. Así, en 1992 se llevó a cabo la Conferencia Sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro.
- La Declaración de Río es la Conferencia de las Naciones Unidas (ONU) en 1992: Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible, que se celebró en Río de Janeiro (Brasil) y que se conoce como Segunda Cumbre de la Tierra. El Objetivo principal de la Declaración de Río es procurar alcanzar

acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos, se proteja el medio ambiente y el desarrollo mundial. Se proclamaron 27 principios fundamentales que todos los países deberían cumplir, con el objetivo de establecer una alianza mundial nueva y equitativa.

- El programa 21 o llamado también agenda 21: se inició el 22 de diciembre de 1989 con la aprobación en la asamblea extraordinaria de las Naciones Unidas en Nueva York de una conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo, que luego de borradores del programa, culminó con la Conferencia de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas en Río de Janeiro 2012.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1994: Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. En 1997, los gobiernos acordaron incorporar una adición al tratado, conocida con el nombre de Protocolo de Kioto (1997 / 2005), un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.
- La Conferencia de desarrollo sostenible de Naciones Unidas: También conocida como Río 2012 o Río+20, se celebró coincidiendo con el 20º aniversario de la Cumbre de 1992. Los objetivos de la conferencia:
 1. Asegurar un renovado acuerdo político en desarrollo sostenible.
 2. Evaluar los progresos y brechas en la implementación de los acuerdos ya realizados.
 3. Abordar los retos nuevos y emergentes. Alcanzaron un acuerdo de mínimos sobre el borrador de conclusiones titulado "El futuro que queremos".
- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático París (2015): Donde se consiguió alcanzar el llamado "acuerdo de París". Un pacto global, para reducir las emisiones como parte del método para la reducción de gases de efecto invernadero. En el documento, los miembros acordaron reducir sus emisiones de carbono "lo antes posible" y hacer todo lo posible para mantener el calentamiento global "muy por debajo de 2°C".

Con todos estos acontecimientos caracterizando los inicios de los años 90' se comienza a pensar en una arquitectura amigable con el clima y el entorno, se considera reducir las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y con ello, el consumo de energía. Comienza a hablarse de la conciencia ambiental como una responsabilidad del hombre y de la "Arquitectura verde" como una tendencia.

En un momento de grandes avances tecnológicos para acceder a información climática de cada lugar, se considera a la tecnología como gran aliada, en una búsqueda individual intentando desarrollar la novedad conceptual de la misma. Búsqueda de la transparencia de las pieles en los edificios, y la puesta en relación de la arquitectura con los contextos.

La arquitectura adaptada al clima y el colapso del criterio tecnológico actual:

El objetivo del diseño con climatización pasiva es el alcance de mejor confort térmico; menor consumo de energía en calefacción y refrigeración; menor costo de energía y de mantenimiento y menor impacto ambiental. Como enfoque estratégico, climatización pasiva significa una forma de diseño de viviendas y otros espacios habitados que, para Müller (2002, p.1), ofrecen confort térmico con un consumo mínimo o cero de fuentes no renovables de energía, se adaptan a las condiciones climáticas locales y aprovechan el entorno para mejorar el confort térmico.

Se conocen los requisitos para que la arquitectura sea adaptada al clima, son claros los criterios y normas para lograr de forma pasiva el confort térmico de las personas en un ambiente determinado. Con múltiples referenciales, como en las IRAM, donde se especifica para cada zona bioambiental y sus características, el criterio constructivo a considerar para cada orientación. En el caso de que, siguiendo estos criterios normativos, igualmente no se alcance el estado de confort deseado, también se conocen las acciones internas o externas, voluntarias o involuntarias para acercar el ambiente térmico real al deseado. El problema radica en que actualmente prima una tendencia de exigir parámetros más extremos de los que se necesitan para estar biológicamente confortables. Hay una tendencia generalizada por regular los niveles de climatización mecánicos de los espacios interiores a

temperaturas muy frías en verano y muy calientes en invierno. Esto se hace imposible de sostener a través de los mecanismos pasivos de acondicionamiento conocidos, sin caer en un excesivo consumo energético. Reflejándose en el uso intensivo y cada vez mayor de sistemas de acondicionamiento artificiales. Esto deriva de forma inmediata en el consumo energético de las ciudades, a su vez, cada vez más densas, lo cual aumenta aún más el consumo. La crisis energética es una de las mayores preocupaciones actuales a nivel mundial, que compete cada vez a mayor cantidad de países, inclusive a los que se encuentran en vías de desarrollo.(Balter, Ganem, & Discoli, 2013).

Lo cierto es que, además, la arquitectura de los últimos años se ha vuelto absolutamente comercial, y primando en el diseño las necesidades de forma y estética, antes que las de confort. Están de moda las grandes fachadas vidriadas, el hormigón visto, superficies metálicas. Y en muchos casos, se calcula el acondicionamiento artificial como un ítem más del diseño interior. Esta situación, junto a la tendencia de crecimiento de construcción de viviendas residenciales, y de densidad en las ciudades, entre otros aspectos, motivó a distintos autores a evaluar edificios residenciales para analizar el comportamiento térmico- energético, las condiciones de confort y el comportamiento del usuario (Evans y De Schiller, 2001; Czajkowski et al., 2006; Alias, Jacobo, 2010; Filippín et al., 2010; Flores Larsen et al., 2010).(Balter et al., 2013). (Cruz González & Morales Bravo, 2009) en sus estudios realizados sobre las temperaturas neutrales o de confort, aseguran que “el análisis de correlación realizado entre la respuesta de sensaciones térmicas de los individuos encuestados (rsti) y la temperatura de globo medida, para cada estudio, permitió determinar las temperaturas neutrales o de confort para las personas en edificios con aire acondicionado ($T_n= 26.6^{\circ}\text{C}$) y en edificios naturalmente ventilados ($T_n= 28.6^{\circ}\text{C}$). En los edificios naturalmente ventilados, se acerca la sensación descrita por los individuos encuestados a la medida en el PMV (Voto Medio Previsto, índice establecido por Fanger, basado en una escala de siete niveles de sensación térmica, que predice el voto subjetivo de un grupo numeroso de personas respecto de su ambiente térmico).(Jara, 2015)

Es necesario reflexionar sobre el uso y abuso de los mecanismos de climatización artificial que estamos utilizando para lograr los estándares deseados y con ello el significativo incremento de la energía eléctrica consumida. La tecnología busca reducir el consumo de energía, pero las políticas de precios no colaboran para que los usuarios opten siempre por aquellos de menor consumo. Siendo significativamente más costosos, los artefactos de consumo A y B (Figura 2). No promocionando la utilización de energías alternativas como las solares a través de facilidades de acceso a las mismas.

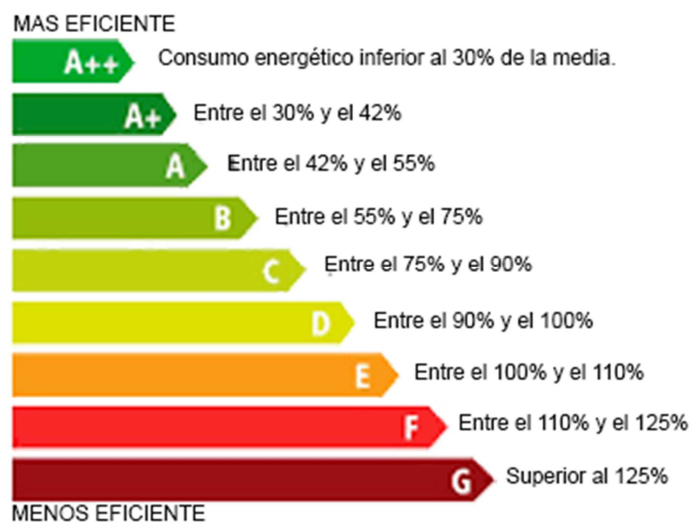


Figura 2: Etiqueta de eficiencia energética utilizada en artefactos eléctricos

CONCEPTO DE CONFORT HIGROTÉRMICO - DOS ENFOQUES

El confort térmico es un objetivo importante del entorno construido, ya que determina gran parte del grado de satisfacción de sus ocupantes, su salud y su productividad. (Kim, Schiavon, & Brager, 2018).

El confort térmico no sólo depende de factores ambientales; también de las condiciones físicas, fisiológicas y psicológicas del ser humano. Es por ello que su cuantificación resulta compleja, subjetiva y variable (Nematchoua et al, 2014). En la actualidad, dos son los conceptos planteados para la predicción de éste: Balance térmico y Adaptación (Jara, 2015).

Según aseguran (Gómez-Azpeitia et al., 2007), la determinación de una temperatura ideal de diseño resulta en todos los casos el eje fundamental en la toma de decisiones. ¿Cómo puede determinarse esa temperatura en que las personas se sientan en confort, a fin de diseñar, construir y operar los edificios de la manera más sustentable posible? la respuesta a esta pregunta, que podría parecer sencilla, confronta dos enfoques teóricos que responden a su vez a los paradigmas fundamentales del quehacer científico moderno: el cuantitativo y el cualitativo.

El enfoque cuantitativo y los modelos de predicción:

Este enfoque, también llamado de estado estacionario, considera desde el punto de vista biológico, físico y químico a todos los seres humanos iguales, equiparando las sensaciones de estos y sus indicadores, independientemente de las condiciones del ambiente térmico donde se encuentren. (Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & Van Den Dobbelsteen, 2013) asegura que el cuerpo humano se esfuerza para lograr el equilibrio térmico.

El PMV, considera el confort como un fenómeno físico y fisiológico. Expresa la sensación térmica humana como una transferencia de calor entre el cuerpo humano y el medio circundante. Fanger en 1973 inicia los modelos que se han denominado de predicción, pues supuestamente son capaces de predecir lo que las personas sentirían ante tal o cual ambiente térmico. Es el modelo más ampliamente aceptado, desarrollado a través de amplias investigaciones en laboratorio por Fanger y se transformó en las bases para los estándares ISO 7730 (UNE-EN ISO 7730, 2006) y ASHRAE 55 (ASHRAE STANDARD 55, 2004). (Kim et al., 2018). Como expresan (Re, Filippin, & Blasco Lucas, 2017), en su estudio en edificios áulicos “se confirma la importancia de contar con datos locales para definir los rangos de confort según la zona bioambiental 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”. Y es aquí donde entran en juego los modelos de adaptación. Sin embargo, al tratarse de un modelo estacionario, no tiene en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del día, es resultado de investigaciones en cámaras térmicas y solo es aplicable a humanos expuestos a un largo periodo en condiciones constantes y con una tasa metabólica constante (Fanger 1973; Muñoz Godoy, 2012).

El enfoque cualitativo y los modelos de adaptación:

Luego de haber sido implementado el modelo de Fanger, se le descubrieron algunas debilidades. Humphreys y Nicol evaluaron las teorías de confort basándose en estudios de campo (Taleghani et al., 2013) notando una diferencia entre éstos estudios de campo y las predicciones de confort basadas en el modelo de balance térmico, señalaron que el cálculo PMV difiere del voto promedio real y el PMV casi siempre subestima los votos medios reales.

Los modelos de balance térmico, también llamados como estáticos o constantes, fueron la base de los trabajos pioneros de Gagge y Fanger (Brager y Dear, 1998) y han sido la base adoptada en la mayoría de los estándares de confort térmico actuales (Muñoz Godoy, 2012). Los principios de este modelo, establecen que no puede considerarse solo el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno para entender el confort térmico. Sino que además, hay acciones voluntarias o involuntarias que el ser humano es capaz de realizar para alcanzarlo. Modificar la generación interna de calor, modificar la tasa de pérdida de calor del cuerpo humano, modificar el ambiente térmico o desplazarse a otro sitio para alcanzar el confort térmico. Por todo lo antes mencionado, se observa que este modelo es más realista que los modelos de predicción, ya que considera un rango más amplio y particular de variables para definir el nivel de confort de un individuo determinado en un ambiente dado.

Debido a la aceptación generalizada de este modelo, los enfoques basados anteriormente en los modelos cuantitativos, debieron ajustar sus procedimientos (Re et al., 2017) en su estudio sobre edificios educativos del área metropolitana de San Juan, demostraron que hay una variación entre los

datos empíricos y los obtenidos. Y que estas diferencias se deben a que los datos de actividad MET que toma la IRAM, no coincide con lo acontecido en aulas. Estos estudios sirvieron de base para la implantación del modelo adaptativo en el estándar ASHRAE 55 y en el EN UNE 15251. La expresión lineal (1) fue finalmente adoptada (Muñoz Godoy, 2012. pp,17).

$$T_{comf} = 0,31 \times T_{a,out} + 17,8 \quad (1)$$

Esta posibilidad de adaptabilidad térmica permite el diseño de edificios con rangos de temperatura menos rigurosos, y por lo tanto, una dependencia reducida del acondicionamiento mecánico, (siempre que los ocupantes tengan ventanas que puedan abrirse) (Van Der Linden, Boerstra, Raue, Kurvers, & De Dear, 2006).

Aplicación al clima de la Ciudad de Córdoba:

En términos generales, el clima de la ciudad de Córdoba es templado moderado con las cuatro estaciones bien definidas. Pampeano, de inviernos no muy fríos y poco lluviosos. Los veranos son húmedos, con días calurosos y noches frescas. En primavera soplan vientos principalmente del norte y el noreste. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas e incluso granizo. Según la norma IRAM 11603 (IRAM 11603, 1996a), se considera a ésta ciudad dentro de la zona bioambiental III a (Clima Templado Cálido), en la Tabla 1 se muestran los datos climáticos generales.

INVIERNO															
LAT	LONG	ASIM	TMED	TMAX	TMIN	TMA	TDMN	PREC	HR	HELRE	VM	GD16	GD18	GD20	GD22
-31.4	-64.18	425	13.46	19.9	7.1	-5.2	-2.9	45	66	5.8	4.2	463	738	1088	1526
VERANO															
LAT	LONG	ASIM	TMED	TMAX	TMIN	TMA	TDMN	PREC	HR	HELRE	VM	GD16	GD18	GD20	GD22
-31.4	-64.18	425	23.65	29.8	17.6	41.0	38.2	493	68	7.8	5.0				

Tabla 1: Datos clima Ciudad de Córdoba – IRAM 11603.(IRAM 11603, 1996b)

Por otra parte, dada la mediterraneidad, las variaciones o amplitudes térmicas son mayores que en la costa atlántica, siendo además menor la precipitación anual, de alrededor de 800 mm/año. Su temperatura media anual ponderada en todo el siglo XX fue de 18 °C. Las nevadas son poco frecuentes. Dada la extensión del conurbano, existe una diferencia de 5 °C o más entre el área céntrica y la periferia. El área céntrica, densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor. (Alchapar, Correa, & Cantón, 2011)(Maristany, Abadía, Angiolini, Pacharoni, & Pardina, 2008)

Dadas las características climáticas de la Ciudad de Córdoba, donde el período estival es mucho más largo que el invernal. Sumado a que la ciudad está afectada por la isla de calor urbana, producto de la densidad poblacional, se puede considerar el período estival, comprendido entre los meses de noviembre a marzo. Se adopta este periodo considerando que tanto la ASHRAE 55 (ASHRAE STANDARD 55, 2004) cómo la EN UNE 15251 (UNE-EN 15251, 2008) refieren a que la aplicación del modelo de confort adaptativo es aplicable en aquellos espacios, que entre otras características, tiendan a sobrecalentarse. (Muñoz Godoy, 2012).

Para este periodo los datos de temperaturas fueron tomados de la estadística de parámetros climáticos promedio de Córdoba. Datos del período de referencia de la Fuerza Aérea Argentina, Comando Regiones Aéreas, Servicio Meteorológico Nacional, Estación Meteorológica Córdoba, (figura 3).

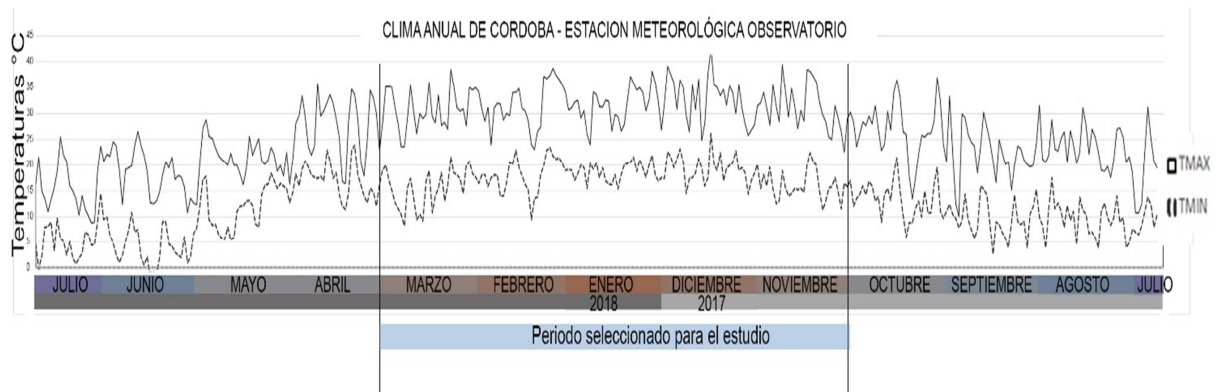


Figura 3: Gráfico de temperaturas anuales de Córdoba Capital – estación meteorológica Observatorio (julio 2017 a Julio 2018).

La temperatura a la cual puede esperarse que el mayor número de ocupantes considere la temperatura interior aceptable es lo que se conoce como temperatura operativa óptima (T_{co}) (UNE EN 15251, 2007). Es probablemente el factor más usado a la hora de trabajar sobre el confort en ambientes interiores. Es la temperatura a la que hay que tener el aire y las paredes de un recinto para que un individuo intercambie con él el mismo calor sensible que en el local de origen, utilizada como referencia para obtener las mínimas y máximas temperaturas que delimitaran un 90% de aceptabilidad por parte de los usuarios.

ASHRAE 55-2010 (1990) propone un método alternativo para determinar la temperatura operativa óptima en edificio naturalmente ventilados (2).

$$T_{co} = 0,31 \times T_{ref} + 17,8 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

Donde: T_{ref} = temperatura prevalente del aire exterior de 7 a 30 días después del día en cuestión. Tomando la temperatura media mensual exterior.

Mientras la EN 15251:2007 (2007), establece la siguiente fórmula para edificios naturalmente ventilados (3).

$$T_{co} = 0,33 \times T_{rm7} + 18,8 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

Donde: T_{rm7} = la media ponderada exponencialmente de la temperatura diaria al aire libre de los siete días anteriores en base a la ecuación. Tomando la temperatura media diaria exterior.

El cálculo de la temperatura externa media exponencial promedio de funcionamiento (T_{rm7}), se calculó según el procedimiento indicado en la UNE EN 15251 para relacionar temperatura exterior con temperatura interior (4). La norma indica que el modelo adaptativo es aplicable con unos valores de T_{rm7} entre 10 y 30 °C, por lo que se seleccionó una época donde este valor se mantuviera de manera diaria y continua entre esos niveles.

$$T_{rm7} = \frac{T_{i-1} + 0,8 T_{i-2} + 0,6 T_{i-3} + 0,5 T_{i-4} + 0,4 T_{i-5} + 0,3 T_{i-6} + 0,2 T_{i-7}}{3,8} \quad (4)$$

Donde: T_i = temperatura promedio exterior del día en cuestión

T_{i-n} = temperatura promedio exterior del día n anterior

En la gráfica de la figura 4 se muestran las variaciones de la T_{m7} y su tendencia comparada con las temperaturas exteriores. A partir de estos valores de temperatura media exponencial promedio se calculó la temperatura operativa para Córdoba de acuerdo a los dos estándares (ISO 15251 y ASHRAE).

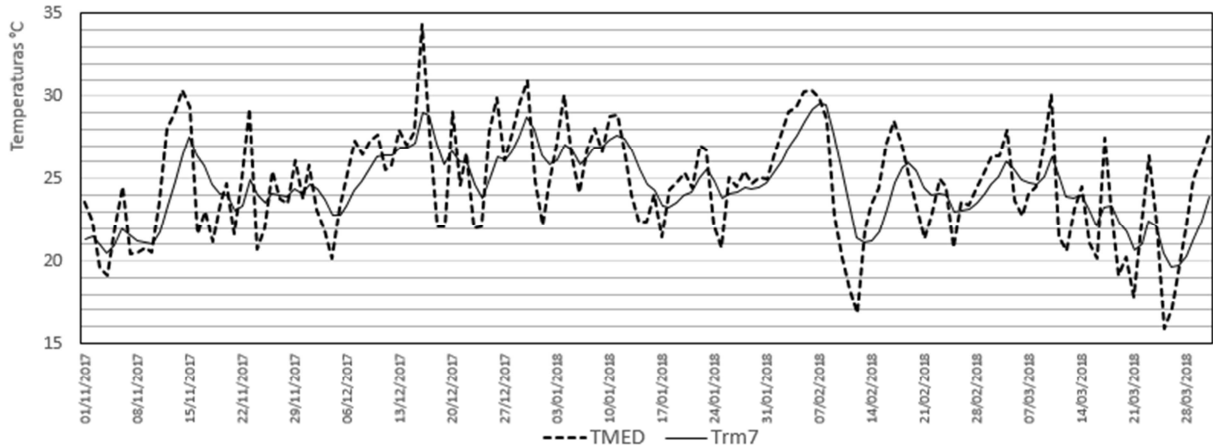


Figura 4: variaciones de la T_{m7} y temperatura media exterior para Córdoba. Elaboración propia.

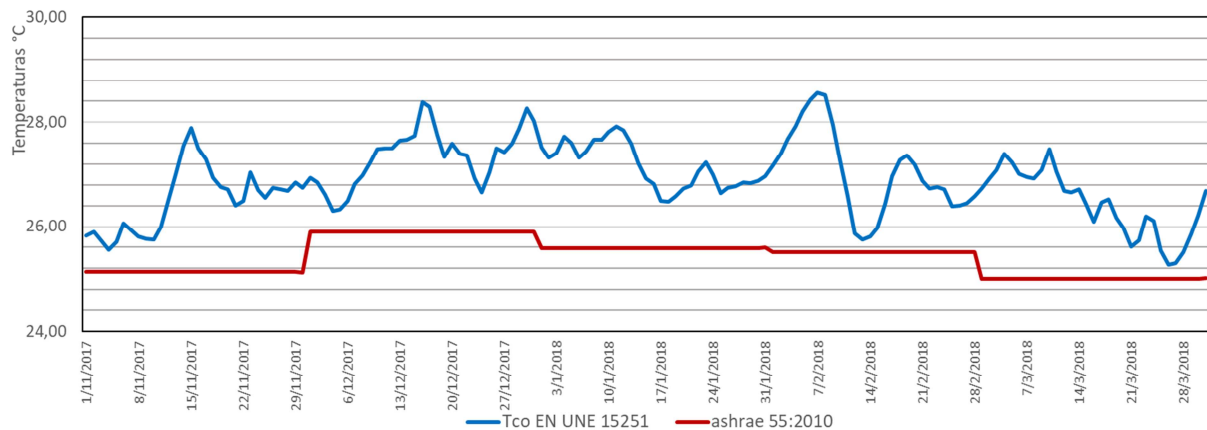


Figura 5: variaciones de la T_{co} según los dos modelos de confort adaptativo considerados. Elaboración propia.

En la ilustración anterior (Figura 5), se observa que, aunque ambos estándares se presentan como adaptativos respecto a la temperatura exterior, el hecho de que uno tome una media mensual y el otro diaria, hace que la relación con las variaciones térmicas diarias sea muy diferente. Es evidente que el criterio definido por la EN UNE 15251 sigue una tendencia de variación que permite definir márgenes de confort más precisos y con un ajuste dinámico a las condiciones de temperatura exterior. Estos rangos de confort, permiten ser cubiertos con recursos y estrategias de diseño de la envolvente arquitectónica, con aprovechamiento de la ventilación u otros recursos similares. De igual manera sería imposible alcanzar, por estos mecanismos, los estándares de confort dados por los criterios actualmente aceptados.

La IRAM 11659-1, (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 niveles de confort para verano en viviendas y locales habitables se establecen en 23°C (nivel A: recomendado), 26°C (nivel B: medio) y 27°C (nivel C: mínimo), con rangos de HR del 50 al 55%.

En la figura 6 se comparan los niveles de confort para el período de verano definidos por la IRAM 11659-1 en relación a las T_{co} propuestas por ambos modelos adaptativos. La línea de tendencia de las temperaturas de confort definidas según la EN UNE 15251 se corresponde, en este caso, de manera muy ajustada con el nivel C, mínimo, de confort, mientras que el nivel B, medio, se aproxima, como valor medio, a lo indicado por ASHRAE. Es importante destacar la gran diferencia de temperatura que existe entre el nivel de confort A, recomendado por IRAM, y la T_{co} establecida según la EN UNE 15251, alcanzando un valor medio de 4°C de diferencia para el periodo analizado.

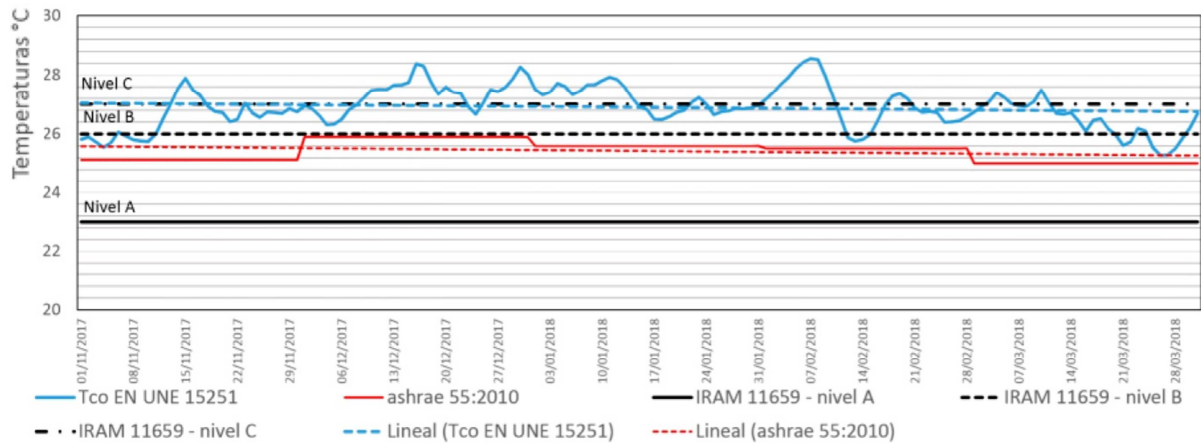


Figura 6: Niveles de Confort según IRAM 11659, comparación con T_{co} según los dos modelos de confort adaptativo para Córdoba. Elaboración propia.

Como menciona (Taleghani et al., 2013), los edificios pueden ser de dos tipos, de envolvente sellada o de envolventes con ventanas operables. En los edificios con ventanas operables, donde el clima interior puede adaptarse al exterior, se conseguirá un acercamiento a la zona de confort planteada por la normativa, pero acompañando las variaciones del clima exterior. Lo que no puede lograrse en los casos de edificios con fachadas selladas, donde las temperaturas están definidas independientemente del clima exterior, y por este motivo, son constantes. Tal como (Chávez del Valle, 2002, pp.8) menciona en su hipótesis: “el ambiente térmico dentro de un espacio arquitectónico debe tener variaciones temporales y espaciales parecidas, aunque en diferente escala, a las que se dan en el ambiente exterior. Esto para no generar estrés térmico por una exposición a condiciones demasiado estáticas, evitar contrastes térmicos excesivos entre el interior y el exterior y no perder la capacidad de adaptación o la tolerancia a los cambios en el ambiente”.

CONCLUSIONES

El incremento de la demanda energética de nuestras sociedades producto del aumento de la población mundial hace necesario aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles (Azqueta, 2014). Gran parte de dicha demanda proviene del sector residencial, por lo que el etiquetado de eficiencia energética de edificios ha cobrado gran importancia a nivel mundial, siendo necesario combinar el uso racional de la energía con construcciones sustentables. (Coronato, Navone, & Abalone, 2017). Frente a ésta creciente demanda de confort térmico en ambientes interiores residenciales, y los problemas que esta tendencia trae consigo, como lo es el consumo excesivo de energía, dando su real importancia al creciente y constante calentamiento global, y considerando que el ser humano tiene de forma innata la capacidad biológica de adaptarse a climas variados y sus fluctuaciones temporales. Se debe encontrar la forma de diseñar edificios residenciales adaptados al clima, que permitan mantener confortable al exigente usuario de la actualidad, sin involucrar la capacidad de adaptación.

En el gráfico 6, se demuestran 4°C de diferencia entre el nivel de confort “A: recomendado” por la norma IRAM, y la línea de tendencia según el enfoque adaptativo propuesto por la norma EN UNE 15251, esta diferencia es de suma importancia. De su análisis, decanta que es imposible en el período analizado (en el que las temperaturas medias exteriores van entre los 16°C y los casi 35°C) cubrir con sistemas adaptativos un nivel de confort actualmente recomendado por IRAM de 23°C, por lo que con ese paradigma instalado se cae la arquitectura natural como postulado. Por otro lado, si es posible

lograr niveles de confort adaptativo en edificios de envolventes también adaptativas, cuya línea de tendencia coincide con el nivel C: mínimo de confort según IRAM.

Quizás, sea necesario reflexionar acerca de dos aspectos. El primero, que en la zona bioclimática analizada, durante los meses de verano el nivel “C: mínimo” de confort que se pretende alcanzar dentro de edificios climatizados artificialmente sería en realidad el nivel “A: recomendado” si la arquitectura es de tipo adaptativo. Es decir, que el nivel óptimo de confort que se desea alcanzar sea diferente dependiendo del tipo de edificio. Pretendiendo alcanzar como niveles óptimos los 27°C en el caso de los edificios adaptativos y los 23°C en el caso de edificios climatizados artificialmente. Y como segundo punto, se debería revisar la línea de confort adaptativo de los edificios de envolventes operables, para que ésta se adapte a las fluctuaciones del clima exterior, dejando de ser un nivel de referencia lineal. Cabe aclarar que cuando se habla de sistemas de aire acondicionado, 4°C implican un gran consumo de recursos en una gran cantidad de población. “Ante la situación energético-económica y ambiental planteada, es primordial entonces que las viviendas que el Estado construya y/o financie sean energéticamente eficientes y propicien ambientes de confort higrotérmico, evitando así el derroche de recursos durante la vida útil de la edificación.”(Coronato et al., 2017. pp,109). Es fundamental que los criterios constructivos utilizados por todos los actores de la sociedad y en todas sus escalas (estado, instituciones, empresas e individuos) respondan a cada zona bioclimática, a cada orientación particular y a cada clima específico en sus fluctuaciones anuales, mensuales y diarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Alchapar, N., Correa, E., & Cantón, M. (2011). COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE REVESTIMIENTOS VERTICALES, EN LA MITIGACIÓN DELA ISLA DE CALOR URBANA. ÍNDICE DE REFLECTANCIA SOLAR. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15(0329-5184), 55–64.
- ASHRAE STANDARD 55. (2004). THERMAL ENVIROMENTAL CONDITIONS FOR HUMAN OCCUPANCY.
- Balter, J., Ganem, C., & Discoli, C. (2013). AUDITORÍA TÉRMICO-ENERGÉTICA Y PERCEPCIÓN DE CONFORT EN EDIFICIOS EN ALTURA MÁSICOS Y LIVIANOS EN LA CIUDAD DE MENDOZA. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 79–88.
- Banham Reyner. (2012). UN HOGAR NO ES UNA CASA, 1–8.
- Chávez del Valle, F. J. (2002). ZONA VARIABLE DE CONFORT TÉRMICO (Tesis doctoral). *Capitulo 2*, 36. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/6104>
- Coronato, T., Navone, H. D., & Abalone, R. (2017). EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA DEL PLAN PROCREAR. PRIMERAS PROPUESTAS DE MEJORAS. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 58(10), 3375–3379.
- Cruz González, M. E., & Morales Bravo, C. G. (2009). SOBRE EL CONFORT TÉRMICO: TEMPERATURAS NEUTRALES EN EL TRÓPICO HÚMEDO. *Palapa*, IV(1870–7483), 33–38.
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G., & Pavel Ruiz Torres, R. (2007). EL CONFORT TÉRMICO: DOS ENFOQUES TEÓRICOS ENFRENTADOS/THERMAL COMFORT: TWO CONFRONTED THEORETICAL FOCUSES. *Palapa*, 2(1870–7483), 45–57. Retrieved from <http://revistasacademicas.uco.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- IRAM 11603. (1996a). IRAM 11603: ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS. Clasificación bioambiental de la República Argentina. *Norma Argentina*.
- IRAM 11603. (1996b). IRAM 11603. ACONDICIONAMIENTO TERMICO DE EDIFICIOS. Clasificación Bio Ambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11659-1. (2004). AISLAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS Verificación de sus condiciones higrotérmicas Ahorro de energía en refrigeración. *Norma Argentina*, 1–36.
- Jara, P. (2015). THERMAL COMFORT AND ITS IMPORTANCE FOR THE ARCHITECTURAL DESIGN AND ENVIROMENTAL QUALITY OF INDOORS SPACES. *UTOPIATEORIARAXIS*, 7, 106–121.
- Kim, J., Schiavon, S., & Brager, G. (2018). PERSONAL COMFORT MODELS – A NEW PARADIGM IN THERMAL COMFORT FOR OCCUPANT-CENTRIC ENVIRONMENTAL CONTROL. *Building and Environment*, (January). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>

- Maristany, A., Abadía, L., Angiolini, S., Pacharoni, A., & Pardina, M. (2008). ESTUDIO DEL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA – resultados preliminares. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 69–75.
- Müller, E. (2002). MANUAL DE DISEÑO PARA VIVIENDAS CON CLIMATIZACIÓN PASIVA. Kassel, Alemania.
- Muñoz Godoy, A. (2012). EL CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO. APLICACIÓN EN LA EDIFICACION EN ESPAÑA. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Re, M. G., Filippin, C., & Blasco Lucas, I. (2017). NIVELES DE CONFORT TÉRMICO EN AULAS DE DOS EDIFICIOS ESCOLARES DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 97–108.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., & Van Den Dobbelen, A. (2013). A REVIEW INTO THERMAL COMFORT IN BUILDINGS. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050>
- UNE-EN 15251. (2008). PARÁMETROS DEL AMBIENTE INTERIOR A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS INCLUYENDO LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONDICIONES TÉRMICAS, ILUMINACIÓN Y RUIDO. *Asociación Española de Normalización y Certificación*.
- UNE-EN ISO 7730. (2006). ERGONOMÍA DEL AMBIENTE TÉRMICO. DETERMINACIÓN ANALÍTICA E INTERPRETACIÓN DEL BIENESTAR TÉRMICO MEDIANTE EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES PMV Y PPD Y LOS CRITERIOS DE BIENESTAR TÉRMICO LOCAL (ISO 7730:2005). *AENOR*, 58.
- Van Der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R., & De Dear, R. J. (2006). ADAPTIVE TEMPERATURE LIMITS: A NEW GUIDELINE IN THE NETHERLANDS: A NEW APPROACH FOR THE ASSESSMENT OF BUILDING PERFORMANCE WITH RESPECT TO THERMAL INDOOR CLIMATE. *Energy and Buildings*, 38(1), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.008>
- Vargas, M. F., & Pulgarín Gallego, I. (2005). CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR: BIENESTAR, CONFORT Y SALUD. *Rev Esp Salud Pública*, 2, 243–251.
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). THERMAL COMFORT AND BUILDING ENERGY CONSUMPTION IMPLICATIONS - A review. *El Sevier*, 115, 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>

ABSTRACT:

Many authors refer to hygrothermal comfort in their research throughout history, and varied the definitions of this concept. In general, all of them refer to the absence of thermal discomfort or sensation of thermal comfort, placing special emphasis on the perception of people. Currently, two models coexist that predict their quantification. The thermal balance model (based on laboratory studies) and the adaptive model (based on field studies). Having significantly changed people's comfort pretensions while the constructive criteria of residential architecture remain more or less constant, significantly increasing the energy consumption of cities. In this work, a review of the evolution of the comfort paradigm from the 60's to the present will be elaborated and the impact it will have on architecture and residential energy consumption will be described according to the model of comfort finally adopted.

Keywords: Comfort paradigm, climate adapted architecture, energy efficiency.