



**CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO RESIDENCIAL PARA EL CLIMA
TEMPLADO CÁLIDO
CASO DE ESTUDIO: CÓRDOBA, ARGENTINA**

Gabriela Magalí Arrieta



UNC



DoctA
DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Confort térmico adaptativo residencial para el clima templado cálido

Caso de estudio: Córdoba, Argentina

Gabriela Magalí Arrieta

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
Doctorado en Arquitectura
Escuela de Posgrado



Confort térmico adaptativo residencial para el clima templado cálido

Caso de estudio: Córdoba, Argentina

Gabriela Magalí Arrieta

En requerimiento para obtener el título de Doctor en Arquitectura

Bajo la dirección del doctor:
Arturo Raúl Maristany

Codirectora: Mariana Gatani

CÓRDOBA
2023

Tribunal de Tesis

Dr. Arq. Guillermo Enrique Gonzalo
Universidad Nacional de Tucumán (FAU - UNT)

Dra. Arq. Leandra Abadía
Universidad Nacional de Córdoba (FAUD - UNC)

Dra. Mtr. Ing. Magalí Evelin Carro Pérez
Universidad Tecnológica Nacional (UTN - UNC)

Fecha de Defensa:
Lunes 29 de Agosto del 2023

Arrieta, Gabriela Magalí

Confort térmico adaptativo residencial para el clima templado cálido : caso de estudio : Córdoba, Argentina / Gabriela Magalí Arrieta ; dirigido por Arturo Maristany.- 1a ed revisada.- Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, 2023.

Libro digital, PDF - (DoctA / María Cecilia Marengo ; 13)

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-8486-44-4

1. Viviendas. 2. Aislamiento Térmico. 3. Climatología. I. Maristany, Arturo, dir. II. Título.
CDD 720.47



Agradecimientos

Agradezco sobre todo a mi director de tesis, Arturo, que me acompañó en este proceso de aprendizaje y compartió su conocimiento con gran generosidad y profesionalismo, a mi familia que me apoyó siempre para que pueda cumplir este objetivo, a la Facultad de Arquitectura Urbanismo y diseño de la UNC que me alojó durante estos años y al CONICET por darme la oportunidad.

Resumen de tesis

Palabras clave: Confort - Térmico - Adaptativo – Residencial – Clima templado.

El hombre debe adaptarse a los límites impuestos por las condiciones climáticas del entorno natural y artificial, desarrollando a lo largo de su evolución diferentes habilidades y capacidades para ello. 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. A lo largo de los años, muchos autores refirieron sus estudios al confort higrotérmico, su conceptualización, su cálculo y su influencia en la vida de las personas. En general, todas las definiciones se refieren a ausencia de malestar térmico o sensación de bienestar térmico, poniendo atención en la percepción de los usuarios.

Se identifica la evolución contextual desde los años 60 hasta la actualidad y la influencia de la tecnología en la forma de vida de las personas y sus pretensiones. Durante los últimos cinco años de investigaciones específicas sobre confort térmico se identifican diferentes conceptualizaciones, definiciones y fórmulas consideradas. Actualmente coexisten dos modelos que predicen su cuantificación con puntos de vista diferentes.

El modelo de balance térmico (basado en estudios de laboratorio), donde las variables personales como la vestimenta, el aislamiento y el metabolismo, están determinadas por la tarea y normalmente se suponen fijas. El otro modelo es el denominado adaptativo (basado en estudios de campo) cuyo objetivo es estudiar el confort térmico en el contexto real mientras los sujetos encuestados desarrollan normalmente su trabajo, las personas pueden controlar su ambiente intentando alcanzar la comodidad térmica. Por lo tanto, también el comportamiento y las posibilidades que brinda el edificio juegan un papel importante. Recientemente, fue desarrollado por Guillermo Küchen el modelo adaptativo-variable, en el que cada usuario con su comportamiento representa no solo un factor de eficiencia potencial para el edificio, sino también desde el punto de vista de la eficiencia y el rendimiento de personas en edificios públicos y residenciales.

El confort térmico, es una condición psicofísica; esto explica que ante iguales condiciones térmicas de vestimenta y de actividad, las personas valoran sentirse diferente. Son conocidos y ya estudiados los distintos parámetros que intervienen en la percepción del confort, las variables son muchas y muy amplias, como cantidad de vestimenta, el nivel de actividad, la postura del cuerpo, el género, la edad, la alimentación, el acostumbamiento, la expectativa y se podrían mencionar muchos más. De aquí se desprenden diversas fórmulas para obtener el rango de confort según diferentes autores.

En el marco internacional se consideran las ecuaciones de ASHRAE: 55 y la norma europea EN UNE definiendo cada una la temperatura en la que el mayor número de ocupantes considera como la temperatura interior aceptable es la que se conoce como temperatura operativa óptima. En el marco local no hay normativas obligatorias para utilizar en la construcción, pero sí hay algunas que se recomiendan como referencia, tanto en el área académica como profesional, las conocidas normas IRAM que definen al confort térmico como las condiciones dadas de temperatura y humedad relativa con las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos.

Se describen también, metodologías aplicadas para reconocer zonas de confort, que se han utilizado de forma sistemática y continuada en la práctica profesional, sin cuestionar su vigencia. Estas metodologías permiten a partir de los datos climáticos, definir zonas de confort

a partir de los rangos de temperatura y humedad, para establecer estrategias de acondicionamiento o recomendaciones de diseño. Entre ellas se pueden mencionar el diagrama de Olgyay, el método de Givoni o el triángulo de confort de Evans.

Con el objetivo de determinar el rango de confort en viviendas de Córdoba para invierno y verano según valoraciones subjetivas de los habitantes, se desarrolla el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST). Este método permite establecer un rango de confort teniendo en cuenta no solo las condiciones locales de temperatura, sino también las valoraciones de las personas que habitan los espacios monitoreados, tomando todos los niveles de sensación térmica y no solo el de confort. Se desarrolla el estudio durante los años 2019, 2020 y 2021, se concluye un rango de confort para invierno y verano según este método.

Se establecen relaciones entre los resultados obtenidos según el método MIST y las conclusiones que abordan los diagramas para el clima de Córdoba, los estándares internacionales y la normativa local. Se relacionan los aspectos que influyen en la adaptación, como la variación de las condiciones exteriores diarias y estacionales y la utilización de climatización mecánica adicional. Se plantea la posibilidad de reducir el consumo de energía a partir de la adaptación pasiva en climas con amplitudes térmicas significativas como Córdoba.

Concluyendo que la arquitectura mundial se preparó para responder a las muy variadas adversidades climáticas, pero los climas extremos son los que se llevaron la mayor parte de los resultados, por ser lugares de dificultosa supervivencia. Los climas intermedios son aquellos que por ser benignos tuvieron siempre menos consideraciones al momento del diseño y la construcción de espacios habitables. Pero los climas intermedios con amplitudes térmicas grandes son difíciles de resolver con envolventes fijas, estáticas o generalizadas, necesitan de la interacción de los usuarios para poder aprovechar las variaciones exteriores a favor de las condiciones interiores y lograr el confort térmico prolongado en el tiempo. La clave para lograr confort térmico interior en climas de grandes amplitudes térmicas, lejos de las estrategias estandarizadas que proponen los diferentes autores, es la posibilidad constante de adaptación. Por lo tanto, se debe promover el uso de las envolventes y de todas las posibilidades que permitiría la arquitectura para alcanzar el equilibrio necesario.

Thesis Abstract

Keywords: Comfort - Thermal - Adaptive - Residential - Temperate climate.

People must adapt to the limits imposed by the climatic conditions of the natural and artificial environment, developing throughout his evolution different abilities and capacities for it. Unlike the other species, it has the added ability to adapt to the environment by voluntarily or involuntarily modifying the conditions of clothing or housing. Currently there is a tendency to demand too much from artificial climate regulation mechanisms, exceeding levels of comfort sufficient to render natural thermoregulation mechanisms inactive, which would indicate a sensation of comfort at a biological level. Over the years, many authors have referred their studies to hygrothermal comfort, its conceptualization, its calculation and its influence on people's lives. In general, all the definitions refer to the absence of thermal discomfort or a sensation of thermal well-being, paying attention to the perception of the users.

The contextual evolution from the 60s to the present and the influence of technology on the way of life of people and their claims are identified. During the last five years of specific research on thermal comfort, different conceptualizations, definitions and formulas have been considered. Currently, two models coexist that predict its quantification with different points of view.

The heat balance model (based on laboratory studies), where personal variables such as clothing, insulation, and metabolism are determined by the task and are normally assumed to be fixed. The other model is the so-called adaptive (based on field studies) whose objective is to study thermal comfort in the real context while the subjects surveyed carry out their work normally, people can control their environment trying to achieve thermal comfort. Therefore, also the behavior and the possibilities that the building provides play an important role. Recently, the adaptive-variable model was developed by Guillermo Küchen, in which each user with their behavior represents not only a potential efficiency factor for the building, but also from the point of view of the efficiency and performance of people in public and residential buildings.

Thermal comfort is a psychophysical condition; this explains that under the same thermal conditions of clothing and activity, people value feeling different. The different parameters that intervene in the perception of comfort are known and have already been studied, the variables are many and very wide, such as the amount of clothing, the level of activity, the body posture, gender, age, diet, habituation, the expectation and many more could be mentioned. From here, various formulas are derived to obtain the range of comfort according to different authors.

In the international framework, the ASHRAE:55 equations are considered and the European standard EN UNE, each defining the temperature at which the greatest number of occupants considers the acceptable interior temperature is what is known as the optimal operating temperature. In the local framework there are no mandatory regulations to be used in construction, but there are some that are recommended as a reference, both in the academic and professional area, the well-known IRAM standards that define thermal comfort as the given conditions of temperature and relative humidity which most human beings are comfortable.

Methodologies applied to recognize comfort zones are also described, which have been used systematically and continuously in professional practice, without questioning their validity. These methodologies allow, based on climatic data, to define comfort zones based on the ranges of temperature and humidity, to establish conditioning strategies or design recommendations. Among them we can mention the Olgay diagram, the Givoni method or the Evans comfort triangle.

In order to determine the range of comfort in residential buildings in Córdoba for winter and summer according to the subjective assessments of the inhabitants, the method of Means by Intervals of Thermal Sensation (MIST) is developed. This method makes it possible to establish a comfort range taking into account not only local temperature conditions, but also the assessments of the people who inhabit the monitored spaces, taking all levels of thermal sensation and not only comfort. The study is carried out during the years 2019, 2020 and 2021, a comfort range for winter and summer is concluded according to this method.

Relationships are established between the results obtained according to the MIST method and the conclusions that address the diagrams for the climate of Córdoba, international standards and local regulations. Aspects that influence adaptation are listed, such as the variation in daily and seasonal outdoor conditions and the use of additional mechanical air conditioning. The possibility of reducing energy consumption from passive adaptation in climates with significant thermal amplitudes such as Córdoba is raised.

Concluding that the architecture around the world, was prepared to respond to the very varied climatic adversities, but the extreme climates are the ones that took most of the results, because they are places of difficult survival. Intermediate climates are those that, because they are benign, always had less consideration at the time of design and construction of habitable spaces. But intermediate climates with large thermal amplitudes are difficult to solve with fixed, static or generalized envelopes, they need user interaction in order to take advantage of outdoor variations in favor of indoor conditions and achieve prolonged thermal comfort over time. The key to achieving indoor thermal comfort in climates with large thermal amplitudes, far from the standardized strategies proposed by different authors, is the constant possibility of adaptation. Therefore, the use of envelopes and all the possibilities that architecture would allow to achieve the necessary balance should be promoted.

Índice general

Agradecimientos	3
Resumen de tesis	4
Thesis Abstract	6
Índice general	8
Índice de figuras	10
Índice de fórmulas	12
Índice de tablas	13
1. Capítulo 1.	16
Planteamiento de la investigación	
1.1 Definición del problema	20
1.2 Preguntas de investigación	20
1.3 Hipótesis	20
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
1.5 Alcance	21
1.6 Delimitación	22
Estructura de la investigación y resumen	23
Resumen por capítulos	25
2. Capítulo 2.	28
Modelos y rangos de confort térmico	
2.1. Evolución del paradigma de confort desde los años 60 hasta la actualidad	28
2.1.1 Los años 60 con la tecnología como el nuevo horizonte a seguir	28
2.1.2 Los años 70 luego de la crisis del petróleo	29
2.1.3 Los años 90 y el comienzo de una preocupación mundial por el cambio climático	29
2.1.4 La arquitectura adaptada al clima y el colapso del criterio tecnológico actual	31
2.2 Modelos de confort térmico	34
2.2.1 Enfoque predictivo: Fanger y el modelo de balance térmico	34
2.2.2 Enfoque Adaptativo: una nueva forma de evaluar el confort térmico	35
2.2.3 Modelos adaptativo-variables: Y el usuario como factor de eficiencia potencial	36
2.3 Aproximación a los rangos de confort térmico	36
2.4 Estándares de confort térmico	41
2.4.1 ASHRAE 55:2017	41
2.4.2 EN UNE 15251	41
2.4.3 Estándares vigentes en Argentina, IRAM	42
2.5 Rangos de confort y estrategias de diseño	44
2.5.1 Olgyay	44
2.5.2 Givoni	45
2.5.3 Evans	46
3. Capítulo 3.	50
El clima de Córdoba y las estrategias de diseño	
3.1 Datos climáticos de Córdoba según la estación meteorológica del observatorio desde 2007 hasta el 2017	50
3.1.1 Isla de calor Urbana	56
3.2 Caracterización del clima de Córdoba según el mapa de climas de la República Argentina	58
3.3 Clasificación climática según Köppen	62
3.3.1 Cfa: Templado sin estación seca, veranos calurosos	63
3.3.2 Cwa: Templado con invierno seco y veranos calurosos	64
3.4 Clima de Córdoba según IRAM 11.603 y su relación con Köppen	66
3.4.1 Estrategias de diseño para la construcción propuestas por la norma de referencia en la construcción	68

4. Capítulo 4.	71
Aplicación del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST)	
4.1 Descripción del método	71
4.1.1 Descripción y caracterización de variables de medición utilizadas	72
4.1.2 Desarrollo de la encuesta de confort	72
4.2 Definición del caso de estudio	74
4.2.1 Definición y justificación del tamaño de muestra necesaria	75
4.2.2 Descripción y justificación del periodo de medición	82
4.3 Resultados del MIST en la ciudad de Córdoba	82
4.4 Definición del rango de confort valorado por los usuarios en viviendas de Córdoba	84
4.4.1 Rango de confort en invierno	84
4.4.2 Rango de confort en verano	84
4.4.3 Relación entre rango de confort elegido por los usuarios y variaciones del clima exterior	85
4.4.4 Propuesta metodológica de análisis residencial bajo el concepto del confort adaptativo	86
5. Capítulo 5.	92
Rangos de confort y valoraciones subjetivas, aplicados al clima de Córdoba	
5.1 Aplicación de diagramas al clima de Córdoba	92
5.1.1 Diagrama de Olgyay	92
5.1.2 Diagrama de Givoni	93
5.1.3 Triángulos de confort de Evans	94
5.1.4 Estrategias de diseño propuestas por los diagramas de confort desarrollados	95
5.2 Aplicación de estándares al clima de Córdoba y justificación crítica	96
5.3 Importancia de las valoraciones de los usuarios	100
5.4 Rango de confort elegido en las viviendas de Córdoba	101
5.4.1 Rango de confort en invierno	101
5.4.2 Rango de confort en verano	102
5.5 Rango de confort propuesto para la ciudad de Córdoba	103
5.5.1 Rango de confort elegido por los usuarios en relación a los utilizados actualmente	104
5.5.2 Comparación entre el rango resultante del método MIST y los niveles lineales propuestos por la norma	105
5.5.3 Comparación entre el rango resultante del método MIST y los niveles propuestos por los conceptos adaptativos vigentes	105
5.5.4 Posibilidad de reducir el consumo de energía para climatización a partir de la adaptación pasiva	106
5.5.5 Estrategias propuestas para la adaptación pasiva de los ambientes habitados en climas de grandes amplitudes térmicas	108
6. Capítulo 6.	111
Recomendaciones constructivas para viviendas en climas intermedios	
6.1 Características especiales de Córdoba y recomendaciones de diseño más funcionales	111
6.1.1 Consumo de energía destinada a climatización residencial en climas no extremos	111
6.1.2 Posibilidad de climatización a partir de la adaptación pasiva y el resultante ahorro de energía	113
6.1.3 Aspectos adaptativos a considerar y su justificación para climas urbanos templados con grandes amplitudes térmicas constantes	114
6.2 Aspectos a considerar para climas intermedios con mucha amplitud térmica	116
6.2.1 La capacidad de adaptación de las personas	116
6.2.2 La operabilidad de las envolventes	118
7. Conclusiones y verificaciones	121
8. Bibliografía	124
Anexo 1	129
Anexo 2	137

Índice de figuras

1	Voto Medio Previsto (PMV) y Porcentaje previsto de insatisfechos (PPD).	18
2	Burbuja de Banham “A Home is not a House”	29
3	Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética utilizada en artefactos eléctricos	33
4	Carta bioclimática cuantitativa de Olgyay	44
5	Carta bioclimática cualitativa de Olgyay	45
6	Diagrama de Givoni	46
7	Triángulos de confort de Evans	47
8	Estrategias bioclimáticas de los triángulos de confort de Evans	48
9	Mapa de localización de centrales meteorológicas de la provincia de Córdoba	50
10	Datos de la central meteorológica Córdoba	51
11	Parámetros climáticos promedio de la ciudad de Córdoba desde 1961 a 1990	51
12	Gráfico de dispersión de Temperaturas y HR media mensual desde el 2007 al 2017 inclusive.	52
13	Temperatura por hora en el año 2021 en la ciudad de Córdoba	52
14	Niveles de comodidad de la humedad en Córdoba, datos históricos	52
15	Vientos predominantes del viento en Córdoba, datos históricos	54
16	Dirección de vientos de la ciudad de Córdoba, datos históricos	54
17	Promedio mensual de lluvias en la ciudad de Córdoba, datos históricos	54
18	Horas de luz natural y crepúsculo en Córdoba, datos históricos	55
19	Datos históricos del clima en Córdoba	55
20	Perfil de la ciudad de Córdoba de sur a norte	56
21	Perfil de la ciudad de Córdoba de oeste a este	57
22	Isla de calor urbana	57
23	Mapa de climas de la República Argentina y mapa de clima de la provincia de Córdoba	58
24	Estrategias bioclimáticas para viviendas en clima frío. Invernadero y muro acumulador, como propuestas bioclimáticas para viviendas sociales en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina	61
25	Estrategias bioclimáticas para viviendas en clima árido. Estrategia de protección solar y refrigeración nocturna asistida por masa térmica	61
26	Estrategias de diseño bioclimático recomendadas para la ciudad de Montería. Clima cálido húmedo.	62
27	Cuadro de clasificación climática según Köppen	63
28	Mapa de clima Cfa y Cwa	65
29	Clasificación bioambiental según las normas IRAM 11.603	67
30	Superposición de zonas climáticas según IRAM y Köppen	68
31	Esquema de funcionamiento del Método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica	72
32	Hobo Data Logger (HDL)	73
33	Datos del total de viviendas en Córdoba	75
34	Histograma de distribución de las respuestas en invierno para cada nivel de sensación térmica y campana de Gauss resultante.	82
35	Histograma de distribución de las respuestas en verano para cada nivel de sensación térmica y campana de Gauss resultante	83
36	MIST Invierno 2019/2020	84
37	MIST verano 2019/2020	85
38	Condiciones exteriores monitoreadas en relación a las Tn valoradas según MIST	85
39	Viviendas monitoreadas en el 2019 y temperaturas exteriores 2019.	87

	Periodos de medición: invierno y verano	
40	Viviendas que mejor respuesta tuvieron en el periodo de invierno	88
41	Viviendas que mejor respuesta tuvieron en el periodo de verano	89
42	Estrategias de acondicionamiento utilizadas en el verano en las viviendas estudiadas	89
43	Diagrama de Olgay teniendo en cuenta datos medios mensuales de temperatura y humedad de Córdoba desde 2007 hasta 2017	93
44	Ábaco psicrométrico con datos medios mensuales desde el 2007 al 2017 inclusive	94
45	Triángulos de confort de Evans. Temperaturas y amplitudes diarias de Córdoba 2007/2017 de enero/abril/julio/octubre	95
46	Gráfico de temperaturas anuales de Córdoba Capital 2007/2017 y los periodos de medición seleccionados para el caso de estudio.	97
47	Variaciones de la Trm7 y temperatura media exterior para Córdoba en invierno y verano respectivamente	98
48	Variaciones del promedio de la Tco en relación a los dos modelos de confort adaptativo considerados, en invierno y verano respectivamente	98
49	Niveles de confort según IRAM 11 659, comparación con Tco según los dos modelos de confort adaptativo para Córdoba	100
50	Rango de confort en invierno	101
51	Rango de confort en verano	102
52	Temperaturas exteriores, promedio de temperaturas interiores, MIST y rango de confort para invierno y verano	104
53	Temperaturas exteriores, temperaturas interiores, MIST, rango de confort, IRAM y adaptativos para invierno y verano	105
54	Valoración en viviendas acondicionadas y no acondicionadas durante el periodo de invierno	106
55	Valoración de viviendas acondicionadas y no acondicionadas durante el periodo de verano	107
56	Estrategias utilizadas en viviendas durante el periodo de verano	109
57	Distribución de la demanda de energía por región y segmento (2018)	112
58	Consumo final de energía por sector	112
59	Consumo de energía dentro del sector residencial según actividad	113
60	Posibilidades de adaptación de la envolvente y de envolvente como espacio intermedio	117
61	Posibilidades de aplicación de vegetación caduca	119
62	Posibilidades de aplicación en la envolvente como espacio intermedio.	120
63	Posibilidades de aplicación en la envolvente como espacio intermedio.	120

Índice de fórmulas

1	Temperatura de confort	36
2	Temperatura Neutra o Termopreferendum	40
3	Temperatura Neutra o Termopreferendum	40
4	Tco ASHRAE:55	41
5	Tco EN UNE	41
6	Trm7	42
7	Muestreo	75

Índice de tablas

1	Metodología general en relación con los Objetivos específicos y las etapas	23
2	Parámetros del ambiente térmico	37
3	Rangos de confort propuestos por diferentes autores para una persona en reposo con vestimenta liviana	38
4	Aislamiento térmico para combinaciones habituales de prendas	39
5	Tasas metabólicas	40
6	Valores de temperatura y humedad relativa de confort según locales	43
7	Valores recomendados de temperatura invernal según el destino del local	43
8	Temperaturas y HR media mensual desde el 2007 al 2017 inclusive, según el servicio meteorológico nacional.	52
9	Actuaciones para un sistema bioclimático	60
10	Datos climáticos según IRAM	67
11	Relevamiento de viviendas estudiadas	77
12	Características constructivas generales de viviendas	79
13	Resumen de Tco para invierno y verano según norma, estándares adaptativos y MIST	83
14	Tipologías monitoreadas con mejor respuesta en invierno	87
15	Tipologías monitoreadas con mejor respuesta en verano	89
16	Resumen de autores estudiados, zona de confort establecidas por cada uno, definición del clima y estrategias propuestas para alcanzar el confort en la ciudad de Córdoba	96
17	Valores arrojados por el método MIST a cada nivel de sensación térmica	102
18	Valores arrojados por el método MIST a cada nivel de sensación térmica	103
19	Cuestionario preparado para el estudio en base al estándar ISO 10 551 y resumen de respuestas obtenidas	107
20	Resumen de estrategias según autores descritos	115



Capítulo 1. Planteamiento de la investigación

Se conocieron muchas definiciones de confort a lo largo de los años, en esta investigación se considera al confort térmico como “Aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico” ISO 7730: 2005; ASHRAE (2001); Definición utilizada por Gómez-Azpeitia, Bojórquez Morales, y Pavel Ruiz Torres (2007) en sus estudios del confort térmico a partir de la valoración subjetiva de los habitantes. En las últimas décadas el ser humano ha ido cambiando su forma de habitar y ciertamente también de sentir confort, necesitando temperaturas más extremas que las biológicamente necesarias. Desde los años 60 hasta la actualidad las preferencias de confort han ido evolucionando para las personas, demostrando un cambio constante en los paradigmas de confort (Arrieta y Maristany, 2018).

De acuerdo a lo desarrollado por Brache & Bischof (2005) y también por Klepeis *et al.* (2001), quienes postulan que las personas pasan hasta el 90% de su tiempo en interiores empieza a tomar prioridad el estudio del confort interior. Una idea desarrollada por Jimin Kim, Hong, Kong, & Jeong, (2020) y por Wei *et al.* (2019); citado por Citadini De Oliveira, Forgiarini Rupp, & Ghisi, (2021) establece que el confort térmico de los usuarios y la percepción de la calidad del aire en los edificios, influyen positiva o negativamente en la satisfacción, el rendimiento y la salud de los ocupantes. La investigación en relación a los sistemas de confort personal está creciendo debido a su potencial para aumentar la satisfacción de una persona con las condiciones ambientales interiores y la eficiencia energética (Rissetto, Schweiker, & Wagner, 2021).

Por otro lado, surge la definición de necesidad térmica, propuesta por He *et al.*, (2021) como el ambiente térmico final que una persona logra mediante el empleo de suficientes mecanismos de control. En los espacios interiores se puede conseguir confort a través del uso de diferentes mecanismos de acondicionamiento o su combinación; El acondicionamiento mecánico, la ventilación natural o de modo mixto, utilizando sistemas de acondicionamiento tanto naturales como mecánicos para satisfacer la demanda de energía térmica. Estos edificios, tal como plantean Ledo Gomis, Fiorentini, & Daly, (2021) son capaces de garantizar el mantenimiento de las condiciones de confort térmico aprovechando al mismo tiempo el potencial de refrigeración proporcionado por el clima.

En los edificios con ventilación natural, la permeabilidad relativamente alta de la fachada a través de las ventanas operables, permite que las condiciones interiores estén estrechamente relacionadas con el entorno climático exterior y sus variaciones. I-Atrash *et al.*, (2020) destacan que el edificio de funcionamiento libre experimenta una variación en la temperatura operativa durante las cuatro estaciones, mientras que las temperaturas medias en los edificios de modo mixto se mantuvieron casi iguales durante todas las estaciones. El uso de la temperatura exterior en los modelos de confort adaptativo refuerza la idea de que al aire libre el clima es el impulsor causal de las respuestas adaptativas térmicas humanas. Esta idea es estudiada por Parkinson, de Dear, & Brager, (2020).

Es importante analizar cuán central es la adaptabilidad en lo que refiere a mejorar las condiciones de comodidad doméstica, debido a que las personas en general pasan cada vez más tiempo dentro de los espacios construidos y de sus hogares (Abrahão Alves, Teixeira Gonçalves, & Silva Duarte, 2021). Lo cierto es que la posibilidad de adaptabilidad de los espacios interiores influyen en las percepciones de los ocupantes, de acuerdo al estudio de Kim, Tartarini, Parkinson, Cooper, & de Dear, (2019), en el que se compararon los comportamientos y percepciones de distintos edificios; Los ocupantes del edificio de modo mixto eran más tolerantes o adaptables a las condiciones térmicas interiores cuando el edificio estaba en el modo de funcionamiento NV (naturalmente ventilado) en comparación con el

modo de funcionamiento de CA (acondicionamiento climático). Parkinson *et al.*, (2020) concluyen en que cuanto mayor sea la oportunidad de adaptación que se ofrece, mayor será el efecto de confort adaptativo. Por supuesto, esto debería estar limitado dentro de un rango razonable de condiciones, pero la evidencia presentada por Wu *et al.* (2019), sugiere que la adaptación no se limita solo a los ocupantes de edificios con ventilación natural.

La aplicación de los modelos adaptativos debe ser criteriosa según las necesidades del edificio, ya que la aplicación inapropiada, particularmente y sobre todo en una situación regulatoria, puede tener consecuencias no deseadas (Williamson & Daniel, 2020). En Argentina existe la necesidad de considerar las estrategias pasivas de refrigeración en las regulaciones del diseño de edificios. Las diferentes regiones, estaciones y tipos de edificios tienen diferentes rangos de temperatura aceptables. Por otro lado, la falta de consideración para el tamaño de las ventanas, el tamaño de las aberturas y la protección solar (particularmente en climas continentales) podría conducir a aumentos significativos en el consumo de energía (O' Donovan, Murphy, & O' Sullivan, 2021).

Actualmente, se dispone de reglamentaciones generales destinadas a la adaptación de las edificaciones al clima, aunque aún es necesario profundizar el desarrollo de un marco normativo destinado a lograr el confort interior de forma pasiva de acuerdo a estándares internacionales, pero adaptados a la realidad climática y social local. Según R. de Dear, Xiong, Kim, & Cao, (2020) parece haber una amplia coherencia entre los diversos documentos normativos y estándares sobre comodidad adaptativa, lo que no es sorprendente dada la coherencia general de los métodos utilizados para generar sus bases empíricas y también sus estrategias analíticas, particularmente en la ASHRAE, EN e ISO.

Además de los mecanismos que puedan utilizarse en el entorno construido, y en caso de no ser suficientes para alcanzar confort, las personas cuentan con mecanismos internos y externos, voluntarios e involuntarios para lograrlo. Se vive una tendencia a exigir parámetros más extremos que los biológicamente necesarios para estar en confort, necesitando regular los niveles de climatización mecánicos a niveles muy fríos en verano y muy calientes en invierno. Condiciones imposibles de sostener sin caer en el consumo excesivo de energía, sobre todo eléctrica.

Aseguran Vakalis *et al.* (2021) que es necesario cuantificar los impactos de la modernización en múltiples dimensiones, en términos de emisiones y ambiente interior, pero también las percepciones de los ocupantes. Con un uso intensivo y en aumento continuo de mecanismos de acondicionamiento mecánicos, en ciudades que se densifican y poblaciones que crecen, sumado al aumento gradual y constante del calentamiento global, y en la era de la tecnología que no para de colapsar el sistema eléctrico. Los consumos pueden verse realmente favorecidos si se consideran no solo las posibilidades de acondicionamiento natural de los mismos, sino también la valoración de confort de sus usuarios. Jiang, Wang, Liu, Di, & Liu, (2021), Jiao, Yu, Yu, Wang, & Wei, (2020), Thapa & Indraganti, (2020) demuestran en sus estudios las diferencias entre normativas locales y percepción de sus habitantes.

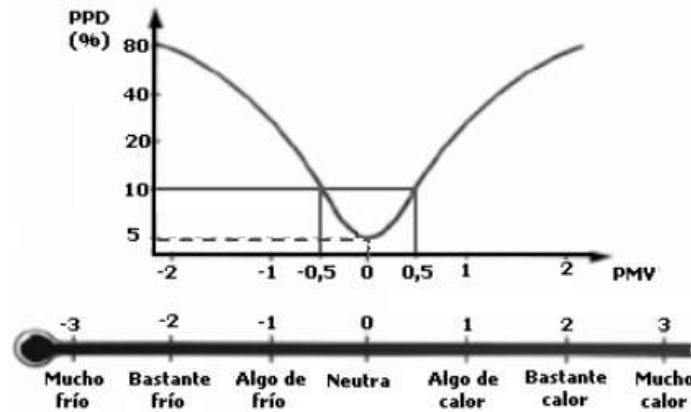
Los ambientes interiores deben ser habitables, cómodos, seguros, productivos, y además deben cumplir con los requisitos de bajo costo de energía y diseño sustentable (Bellia, d'Ambrosio Alfano, Fragliasso, Palella, & Riccio, 2021). Para el enfoque adaptativo se requiere tanto la adaptación térmica de los edificios como de las personas, lo que puede contribuir a ahorrar una cantidad significativa de energía (Hom B Rijal, 2021). Parece ser probable que la fuerte correlación típica de las temperaturas interior y exterior en los diseños de edificios altamente permeables signifique que la temperatura exterior sea un indicador razonable de las fluctuaciones de la temperatura interior. Como resultado, los modelos adaptativos convencionales basados en la temperatura exterior pueden tener altos niveles de habilidad

predictiva para temperaturas interiores confortables, pero solo en edificios sensibles al clima que rastrean los ciclos naturales al aire libre (Parkinson, de Dear, y Brager, 2020).

En una investigación llevada a cabo por Rijal, Humphreys, & Nicol, (2019) notaron que las personas se encuentran bien adaptadas a las condiciones térmicas de sus viviendas, por lo que la temperatura de confort tiene grandes diferencias estacionales en el modo de funcionamiento libre. En los edificios naturalmente ventilados se acerca la sensación descrita por los individuos encuestados a la medida en el PMV (Voto Medio Previsto representado en la *Figura 1*, 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). También se encontraron pruebas claras de que las personas se adaptan con más fuerza a las temperaturas interiores independientemente de la estrategia de acondicionamiento de las edificaciones (es decir, edificios NV, MM y AC), (Parkinson *et al.*, 2020).

Figura 1

Voto Medio Previsto (PMV) y Porcentaje previsto de insatisfechos (PPD). $-0.5 < PMV < +0.5$ y $PPD < 10\%$



Nota: Curva de relación entre porcentaje previsto de insatisfechos en función del voto medio previsto de Pérez De Ciriza, 2018, por Fanger, 1973

Mientras los usuarios continúen recurriendo a los sistemas de acondicionamiento mecánico, los edificios no habrán resuelto completamente las necesidades de confort deseadas. En este sentido, los comportamientos de encendido del aire acondicionado reflejan de alguna manera la incomodidad térmica de los sujetos (Yan, Liu, Wang, Han, & Zhang, 2021). Es evidente entonces, que sigue siendo necesario reflexionar sobre el uso y abuso de los mecanismos de climatización artificial que se están utilizando para lograr los estándares deseados y con ello el significativo incremento de la energía eléctrica consumida, sobre todo en verano (Dartevelle, Van Moeseke, Mlechnik, & Altomonte, 2021). El sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) es parte importante de un edificio, el cual constituye hasta el 40% del uso de energía del edificio. Su propósito principal de mantener el confort térmico adecuado es crucial para el mejor uso de energía.

Recientemente, los modelos de confort térmico basados en estudios de campo han logrado un mejor rendimiento que los métodos tradicionales basados en la teoría o predicción, tal es el caso del modelo de voto medio previsto (Gao *et al.*, 2021). Y sin dudas, como menciona Williamson & Daniel (2020), el uso de un modelo de confort adaptativo apropiado para evaluar el desempeño del edificio, tiene el potencial de ayudar a diseñar edificios que respondan a las necesidades de los ocupantes. Durante las dos últimas décadas, el mundo ha experimentado un fuerte aumento en el consumo de energía por parte de los países en desarrollo y se espera

que la tendencia continúe también en un futuro próximo (Yang, Yan, & Lam, 2014), citado por (Kumar, Mathur, Singh, & Rana, 2021).

En el año 2007 se propuso el método de medias por intervalos de sensación térmica (MIST). Este método, sirve para encontrar una temperatura de confort (T_c) y un rango de confort teniendo en cuenta las valoraciones subjetivas de los usuarios en condiciones ambientales específicas. El método fue desarrollado por Gómez-Azpeitia, en base a la propuesta de Nicol (1993), (Bojórquez, Gómez-Azpeitia, García-Cueto, Luna, & Romero, 2010). A partir de este método se puede determinar el valor de temperatura y humedad donde las personas responden a cada nivel de sensación térmica (mucho frío, frío, algo de frío, confort, algo de calor, calor, mucho calor), pudiendo calcular el valor de temperatura y humedad donde los sujetos dicen estar en confort y también donde expresan sentir calor o frío.

La característica fundamental del MIST es que se dividen las valoraciones en 7 grupos de sensación térmica (desde muy frío, frío, algo frío, ni frío ni calor, algo de calor, calor, mucho calor), y de cada grupo se toma el promedio y su desviación estándar. Entonces la regresión se calcula con estos valores promedios y no con todos los datos de la muestra. De los promedios se calcula la T_c y los rangos se establecen añadiendo o sustrayendo una o dos veces la desviación estándar de la muestra.

1.1 Definición del problema

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 de la vivienda.

En cuanto a la comodidad con el ambiente térmico, actualmente hay una tendencia a exigir 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 él intervienen. Desde las más antiguas definiciones hasta las más recientes, se refieren a “La ausencia de irritación o malestar térmico” (Gómez-Azpeitia, Bojórquez Morales, y Pavel Ruiz Torres, 2007, p. 50) 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, p. 114).

“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). Si se considera el aumento del consumo energético de las ciudades cada vez más densamente pobladas, se verifica que en gran proporción, esa energía es usada para el confort térmico de esas construcciones, 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 CO_2 .” (Yang, Yan, y Lam, 2014, p. 164), sumado a un aumento global, gradual y constante de la temperatura terrestre y despreciando muchas veces la posibilidad que ofrece la arquitectura de adaptar el medio construido a las condiciones deseadas a través de las envolventes. En la actualidad hay una tendencia, quizás orientada por la normativa de referencia utilizada, a

aislar la envolvente y mejorar las condiciones interiores con acondicionamiento mecánico, que en el mejor de los casos, funciona consumiendo energía renovable.

Es en este marco que se desarrolla 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 cómo es su relación con la posibilidad de adaptación pasiva de su envolvente?

Se establece la ciudad de Córdoba, Argentina, como recorte geográfico para esta instancia de investigación, donde el clima es particularmente complejo porque a pesar de ser templado, está afectado por notables amplitudes térmicas diarias. Por lo que se destaca que es un clima llamado en este documento “intermedio” o “no extremo”. Para este tipo de climas, a diferencia de los extremos, las estrategias de diseño son menos rigurosas. Esto se traduce en una gran posibilidad para definir pautas relativas y flexibles, orientadas a lograr viviendas eficientes que colaboren para el acondicionamiento térmico a través de la adaptabilidad de sus envolventes y que eviten la dependencia de los mecanismos de acondicionamiento artificial (Arrieta y Maristany, 2019).

1.2 Preguntas de investigación

Interrogantes de investigación

¿Cuál es el potencial del acondicionamiento pasivo para lograr confort térmico interior residencial en situaciones de grandes amplitudes térmicas?

¿Es realmente posible lograr acondicionamiento térmico interior residencial a través del acondicionamiento pasivo en situaciones de grandes amplitudes térmicas?

¿Debería el nivel óptimo de confort interior ser adaptado a las variaciones diarias y estacionales exteriores?

1.3 Hipótesis

En climas de grandes amplitudes térmicas es necesario reconsiderar los niveles óptimos de confort higrotérmico que se pretenden alcanzar, considerando tanto la influencia de los usuarios en la valoración de confort interior como su capacidad de adaptación, particularmente en la arquitectura residencial, direccionando los criterios y estrategias de acondicionamiento pasivo en función de las variaciones térmicas exteriores y las sensaciones subjetivas de sus habitantes.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Reconsiderar las estrategias de acondicionamiento ambiental de viviendas en climas intermedios con grandes amplitudes térmicas, a partir de una redefinición de los estándares de confort basados en criterios de adaptabilidad térmica.

1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Identificar la evolución del paradigma de confort higrotérmico en los últimos 60 años.
2. Estudiar, comparar y estructurar los modelos de confort desarrollados y considerados en la actualidad.
3. Caracterizar el clima de la ciudad de Córdoba en relación con la normativa vigente en la construcción.
4. Determinar el rango de confort vigente en viviendas de Córdoba para invierno y verano según valoraciones subjetivas de los habitantes.
5. Formular criterios conceptuales relacionados con la adaptación pasiva frente a los nuevos paradigmas de confort.
6. Establecer una metodología de análisis para los espacios residenciales bajo el concepto de confort adaptativo.

1.5 Alcance

- El estudio del clima de la ciudad de Córdoba capital desde los diagramas de confort estudiados establece criterios diferentes para el diseño de las construcciones que las recomendadas por la normativa de referencia. Este estudio permitirá una mejor definición de las condiciones climáticas particulares de Córdoba Capital, basado en mediciones locales 2007/2017. Por otra parte, brindará la posibilidad de redefinir estrategias de diseño y recursos utilizados desde la arquitectura para el acondicionamiento pasivo de los espacios interiores.
- Las temperaturas de confort óptimas que se usan de referencia en la construcción son definidas por la normativa de referencia, sin embargo, el estudio realizado en esta tesis demuestra que el rango considerado por los usuarios como confortable es un tanto diferente. Se podrá entonces mejorar el rango de confort teórico para utilizar en los cálculos de acondicionamiento.
- En regiones de grandes amplitudes térmicas, la temperatura exterior y sus variaciones tienen un rol importante para la condición de confort interior. Dar lugar a las variaciones térmicas exteriores en la obtención del confort térmico interior permite un uso racional y más eficiente de la energía consumida y permite un sistema más sustentable.

1.6 Delimitación

- En Argentina y específicamente en la ciudad de Córdoba, no hay bibliografía acerca del confort térmico interior considerando parámetros subjetivos y a partir del enfoque adaptativo, por lo que se considera un gran aporte este tipo de investigaciones.

- Aunque se toman datos climáticos desde el 2007 y se considera el clima de Córdoba definido por diversos autores, el resultado de esta tesis se basará en los estudios durante los años 2018 / 2019 / 2020 / 2021.
- Si bien se consideran a lo largo de esta investigación como marco de referencia otros puntos geográficos que comparten características climáticas denominadas “no extremas”, “intermedias” o “climas templados”, esta tesis se centra y limita a la particularidad del área metropolitana de la ciudad de Córdoba Capital.
- En un total de 143 viviendas estudiadas durante esta investigación, se obtuvo una muestra de 1453 datos, lo que permite un alto grado de confiabilidad y la posibilidad de extenderlo en años posteriores.

Estructura de la investigación y resumen

Tabla 1

Metodología general en relación con los Objetivos específicos y las etapas

	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CAPÍTULO	ETAPA	METODOLOGÍA
1	Identificar la evolución del paradigma de confort higrotérmico, en los últimos 60 años	Capítulo 1 Planteamiento de la investigación	1. Etapa de planteamiento y formulación del problema de investigación	* Barrido bibliográfico de los últimos 5 años. Reconocer el actual paradigma de confort. * Especificar la pregunta de investigación, hipótesis y objetivos. Alcance y delimitación.
2	Estudiar, comparar y estructurar los modelos de confort desarrollados y considerados en la actualidad	Capítulo 2 Modelos y rangos de confort térmico	2. Etapa de fundamentación teórica	* Estudiar la evolución del paradigma de confort térmico desde los años 60 hasta hoy. * Investigar el desarrollo de los modelos de confort: - Predictivo - Adaptativo - Adaptativo-variables * Investigar los estándares y las normativas vigentes en la construcción.
3	Caracterizar el clima de la ciudad de Córdoba en relación con la normativa vigente en la construcción	Capítulo 3 El clima de Córdoba y las estrategias de diseño	3. Etapa experimental y de recolección de datos climáticos	* Analizar el clima de Córdoba según la estación meteorológica local. * Analizar el clima de Córdoba según el mapa de clima Nacional. * Analizar el clima de Córdoba según el método de clasificación de Köppen. * Caracterizar el clima de Córdoba según la normativa vigente en la construcción
4	Determinar los rangos de confort invernal y estival en viviendas en Córdoba según valoraciones subjetivas de los habitantes	Capítulo 4 Aplicación del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST)	4. Etapa de estudio de campo y relevamiento de indicadores objetivos y subjetivos.	* Describir del método. * Definir el caso de estudio, tamaño de la muestra y periodo de medición. * Desarrollar de una encuesta de confort en base a la norma ISO 10 551. * Monitorear de temperatura y humedad relativa en las viviendas estudiadas a través de <i>data logger</i> * Encuestar a los usuarios de las viviendas estudiadas de manera simultánea a la medición.

				*Definir el rango de confort valorado por usuarios de viviendas en Córdoba.
5	Formular criterios conceptuales relacionados con la adaptación pasiva frente a los nuevos paradigmas de confort	Capítulo 5 Rangos de confort y valoraciones subjetivas, aplicadas al clima de Córdoba	5. Etapa de elaboración de conclusiones, reporte y divulgación de resultados	<ul style="list-style-type: none"> * Aplicar los diagramas de confort al clima local. * Aplicar los estándares locales e internacionales al clima local. *Analizar los datos: Qué temperatura eligen los usuarios para vivir en Córdoba. * Definir el rango de confort de invierno / verano para Córdoba. Método MIST. * Relacionar el rango de confort elegido con los utilizados actualmente. * Proponer estrategias para la adaptación en climas templados.
6	Establecer una metodología de análisis para los espacios residenciales, bajo el concepto de confort adaptativo.	Capítulo 6 Recomendaciones constructivas para viviendas en climas intermedios	6. Etapa propositiva	<ul style="list-style-type: none"> * Enumerar las características de Córdoba y recomendar estrategias de diseño que se adapten a ellas * Recomendar consideraciones adaptativas y justificar el beneficio energético *Definir las estrategias a considerar para climas intermedios de grandes amplitudes térmicas.

Nota: Elaboración propia

Resumen por capítulos

Capítulo 1

Este capítulo tiene por objetivo identificar la evolución del paradigma de confort higrotérmico en los últimos 5 años de investigaciones específicas. Se recopila la información necesaria para la comprensión total del problema de investigación. Se estructura el documento con una correlación entre los objetivos, las etapas, capítulos y metodología. A su vez, se plantean la hipótesis, los objetivos, la justificación, el alcance y la delimitación de la investigación.

Capítulo 2

Se desarrolla con el objetivo de estudiar, comparar y estructurar los modelos de confort desarrollados y considerados en la actualidad. En este capítulo se conceptualiza y describe el confort térmico, desarrollando los distintos enfoques que se investigaron en la historia, sus potenciales y falencias. Se describen las diferentes normativas y estándares de confort vigentes utilizados en la construcción en la ciudad de Córdoba, como también las variables que se toman en cuenta para su medición. También se analizan diagramas de evaluación de confort de autores referentes elaborados según los datos climáticos de la ciudad.

Capítulo 3

En este capítulo, con el fin de caracterizar el clima de la ciudad de Córdoba en relación con la normativa vigente en la construcción, se recopila información del clima de la ciudad según la estación meteorológica Nacional y el mapa de climas. Se identifica los grupos climáticos locales según la clasificación de Köppen, se compara la descripción del clima local establecido por la Normativa local. Se establecen las estrategias de diseño definidas para la zona.

Capítulo 4

Se orienta al objetivo de determinar el rango de confort en viviendas de Córdoba para invierno y verano según valoraciones subjetivas de los habitantes. Se desarrolla el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST). Este método permite establecer un rango de confort teniendo en cuenta no solo las condiciones locales de temperatura, sino también las valoraciones de las personas que habitan los espacios monitoreados, tomando todos los niveles de sensación térmica y no solo el de confort. Se describe la elaboración de la encuesta para la investigación, el tamaño de la muestra y el desarrollo del estudio durante los años 2019, 2020 y 2021, se concluye un rango de confort para invierno y verano según este método.

Capítulo 5

En este capítulo se formulan criterios conceptuales relacionados con la adaptación pasiva frente a los nuevos paradigmas de confort. Se aplican los diagramas al clima local y se definen estrategias sugeridas por cada uno. Se aplican los estándares internacionales y locales y se compara el rango de confort resultante del método MIST, que tiene en cuenta la valoración de los usuarios con los utilizados hasta la actualidad en la normativa y estándares adaptativos. Se relacionan los aspectos que influyen en la adaptación, como la variación de las condiciones exteriores diarias y estacionales y la utilización de climatización mecánica adicional. Se plantea la posibilidad de reducir el consumo de energía a partir de la adaptación pasiva en climas con amplitudes térmicas significativas.

Capítulo 6

Este capítulo tiene por objetivo establecer recomendaciones constructivas para viviendas en climas intermedios bajo el concepto de confort adaptativo. Características especiales de la ciudad de Córdoba, consumo de energía residencial y posibilidades de climatización a partir de la adaptación pasiva. Se describen los aspectos adaptativos a considerar en este tipo de climas.

Conclusiones y verificaciones

Se establecen las conclusiones de la investigación, según los aspectos generales mencionados a continuación:

- En la ciudad de Córdoba, en un clima con grandes amplitudes térmicas, las personas toleran variaciones térmicas constantes sin salir de la sensación de confort.

- A mayor variación de temperaturas interiores, mayor rango de confort valorado, es decir mayor adaptación. Se diferencia entre adaptación y acostumbramiento.

- La climatización mecánica no es indispensable para sentir confort en climas de grandes amplitudes térmicas si se considera el diseño de viviendas adaptadas al clima.

- En condiciones de temperaturas cálidas el rango de tolerancia es mayor que en el de temperaturas frías.

- Las temperaturas de confort consideradas hasta la actualidad son para ambientes climatizados mecánicamente, y se utilizan en condiciones donde podría lograrse el confort a partir de métodos adaptativos. Se reconoce la capacidad de adaptación de los usuarios, y de las envolventes como potencial para un ahorro significativo de energía en climatización residencial.



Capítulo 2.

Modelos y rangos de confort térmico

2.1. Evolución del paradigma de confort desde los años 60 hasta la actualidad

Diversos factores son los que intervienen en la percepción del ambiente térmico y de la manera que habitamos. Desde los años 60 hasta la actualidad han evolucionado los aspectos culturales, sociales, económicos y tecnológicos a nivel global. Todos estos cambios han favorecido a que las personas esperen y tengan diferentes pretensiones de los espacios construidos.

2.1.1 Los años 60 con la tecnología como el nuevo horizonte a seguir

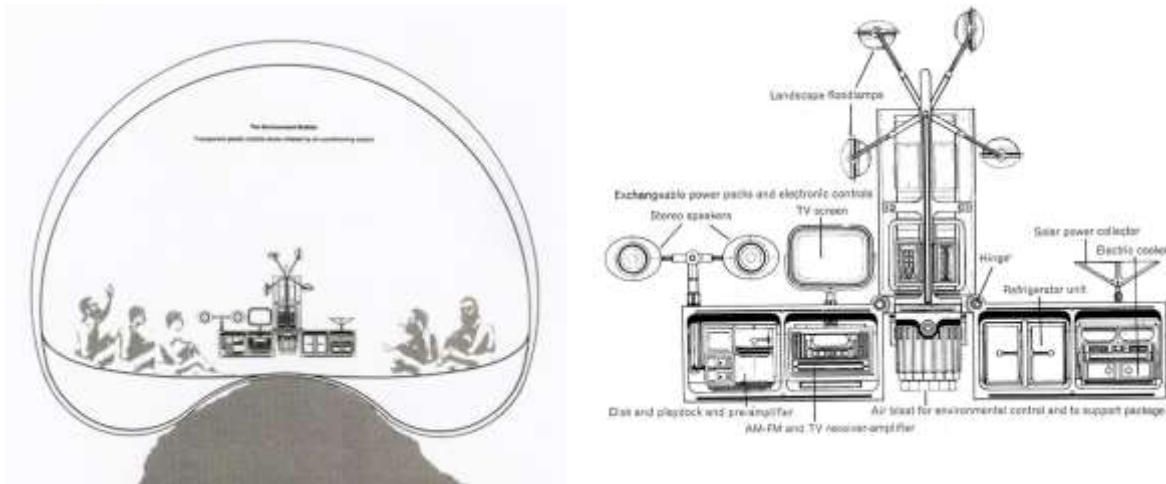
La década del 60 fue caracterizada mundialmente por el crecimiento económico y los avances científico-tecnológicos. Se había comenzado a utilizar la computadora para fines civiles, el televisor y el extraordinario desarrollo de los medios de comunicación permitió difundir a nivel mundial acontecimientos aislados tales 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 las revoluciones de los jóvenes. 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 junto a la explosión del color y la psicodelia. Mismo momento en el que aparecen nuevos materiales como el acrílico y la aparición de los 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 (Figura 2). 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 2

Burbuja de Banham "A Home is not a House"



Nota: En el concepto "Un hogar no es una casa" de Banham R., 1965 los sistemas mecánicos y de servicios aportan en la vivienda elementos de confort y condiciones de habitabilidad en mayor grado que la propia arquitectura, por Banham Reyner, 2012

2.1.2 Los años 70 luego de la crisis del petróleo

La crisis del petróleo de 1973 demostró en el mundo entero no solo la importancia de este recurso natural, sino también la posibilidad de utilizarlo del mismo modo 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 80 casi todos los países latinoamericanos habían sido afectados por una profunda y prolongada recesión económica. Se registró un descenso de los indicadores económicos y sociales, un decaimiento significativo en la producción y las 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.

2.1.3 Los años 90 y el comienzo de una preocupación mundial por el cambio climático

Durante este tiempo, 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 desde hace varios años. Este modelo sugiere que los rangos de confort varían y que uno de los principales factores que los definen 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 "sostenibilidad", 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:

- Informe Brundtland (1987)

Define por primera vez la idea de un desarrollo sostenible “el desarrollo duradero es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Encierra en sí dos conceptos fundamentales:

* El concepto de "necesidades", en particular las necesidades esenciales de los pobres, a las que se debería otorgar prioridad preponderante;

* La idea de limitaciones impuestas por la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras.” (Brundtland, 1987).

En este informe se enfrenta y contrasta la postura del desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental. También se pone 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 en 1992

La Conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible que se celebró en Río de Janeiro y que se conoce como Segunda Cumbre de la Tierra, tiene como objetivo principal en su Declaración, procurar alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos, se proteja el medio ambiente y el desarrollo mundial. Allí 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 de una conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo, en la asamblea extraordinaria de las Naciones Unidas en Nueva York, que, luego de borradores del programa, culminó con la Conferencia de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas en Río de Janeiro 2012.

- Convención sobre el Cambio Climático en el año 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 vigésimo aniversario de la Cumbre de 1992 y sus objetivos fueron:

1. Asegurar un renovado acuerdo político para el 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 que caracterizaron 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, y se intenta desarrollar la novedad conceptual de la misma. Por otra parte, se busca la transparencia de las pieles en los edificios y la puesta en relación de la arquitectura con los contextos.

2.1.4 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 implica una forma de diseño de viviendas y otros espacios habitados que, para Müller (2002), ofrecen confort térmico con un consumo mínimo o cero de fuentes no renovables de energía que se adaptan a las condiciones climáticas locales y aprovechan el entorno para mejorar el confort térmico.

La llamada zona de confort es aquella situación en la que la mayoría de los usuarios se sienten satisfechos con el ambiente térmico, definiendo un rango de condiciones como la temperatura y la humedad para delimitarla. La explicación operativa del confort térmico se reduce en consecuencia a un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima como radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire, en tanto elementos principales (Critchfield, 1974 por Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007). Cuando el balance térmico arroja un valor cero, es decir cuando el cuerpo humano no gana ni cede calor, significa que las personas experimentan objetivamente una sensación térmica de confort. Arballo *et al.* (2016) destacan como válida la hipótesis de que los usuarios necesitan ser activos en función a su ambiente térmico y ser proveídos de suficientes oportunidades para tener cierto control personal del mismo. Esta posibilidad los habilita a desarrollar más tolerancia e inclusive aumentar la aceptabilidad sobre un mayor rango de amplitud térmica.

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 normas del "Instituto Argentino de Normalización y Certificación (originalmente Instituto de Racionalización Argentino de Materiales)" (IRAM), instituto encargado de la normalización y certificación en Argentina donde se especifica para cada zona bioambiental del país sus características y 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 disposición a exigir parámetros más extremos de los que se necesitan para estar biológicamente confortables. Hay una tendencia generalizada a regular los niveles de climatización mecánica 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.

Todo lo anteriormente mencionado se refleja en el uso intensivo y cada vez mayor de sistemas de acondicionamiento artificial, que de forma inmediata, derivan en el consumo energético de las ciudades. Estas ciudades son cada vez más densas, motivo por el 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, incluso aquellos que se encuentran en vías de desarrollo (Balter, Ganem, & Discoli, 2013).

Lo cierto es que, además, la arquitectura de los últimos años se ha volcado en un sentido más estético y comercial, primando en el diseño las necesidades formales, antes que las de confort. Están “de moda” las grandes fachadas vidriadas, el hormigón visto y las superficies metálicas. De hecho, en la mayoría de los 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) y (Balter *et al.*, 2013) seleccionados entre muchos otros.

Cruz González y Morales Bravo (2009) en sus estudios realizados sobre las temperaturas neutrales o de confort aseguran que si se tienen en cuenta las sensaciones de los usuarios y la temperatura de globo media, en una correlación que analizan entre los edificios con aire acondicionado y los naturalmente ventilados, se determinan diferentes temperaturas neutrales o de confort con dos grados de diferencia entre ambas. Siendo en edificios con aire acondicionado una $T_n = 26.6$ °C y en edificios naturalmente ventilados $T_n = 28.6$ °C.

Es necesario reflexionar sobre el uso y abuso de los mecanismos de climatización artificial que se están 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, A+ y A++ (*Figura 3*). Tampoco se promociona el uso de energías renovables como las solares, por medio de facilidades de acceso a estas.

Figura 3

Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética utilizada en artefactos eléctricos



Nota: Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios, de IRAM 11 900, 2017

El incremento de la demanda energética, producto del crecimiento de la población mundial y de los estándares de confort, hace necesario aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles (Azqueta, 2014). Gran parte de la demanda proviene del sector residencial, por lo que el etiquetado de eficiencia energética de edificios ha cobrado gran importancia a nivel mundial, lo que hace necesario considerar el uso racional de la energía en construcciones sustentables (Coronato *et al.*, 2017). Debido al aumento de la contaminación y el cambio climático, los estándares en sí mismos caerán en descrédito e incluso en desuso si se ignora este problema.

Los estándares térmicos que, por muy deseables que sean, requieren una cantidad excesiva de energía para su cumplimiento, tenderán a sufrir más (Nicol y Humphreys, 2002). Al dar real importancia al creciente y constante calentamiento global, son trascendentes las acciones destinadas a reducir la demanda excesiva de energía ocasionada por la cada vez mayor demanda de confort térmico en ambientes interiores residenciales. Se debe encontrar la forma de diseñar edificios residenciales adaptados al clima que permitan mantener confortable al exigente usuario de la actualidad, sin involucrar en la capacidad de adaptación (Arrieta y Maristany, 2018), considerando la capacidad biológica innata del ser humano de adaptarse a climas variados y sus fluctuaciones temporales.

2.2 Modelos de confort térmico

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). En el pasado, de acuerdo con Taleghani *et al.* (2013) ha habido dos enfoques generales para determinar la comodidad térmica.

Estudios en cámaras climáticas

El estudio del confort en cámaras climáticas tiene por objetivo determinar los modelos de confort térmico en estado estacionario. La investigación se lleva a cabo en una cámara de prueba ambiental que puede variar diferentes parámetros climáticos. Las variables personales (vestimenta, aislamiento y metabolismo) están determinadas por la tarea y normalmente se suponen fijas. La razón más importante de usar los estados estacionarios o constantes es la capacidad de producir las condiciones ambientales deseadas, mientras se controlan variables no deseadas que podrían influir en los resultados.

Estudios de campo

El objetivo es estudiar el confort térmico en el mundo real. La investigación se realiza mientras los sujetos encuestados desarrollan normalmente su trabajo. No se controla el entorno ni cómo este puede variar durante el estudio. En muchas encuestas se registran el valor de la ropa y la tasa metabólica.

Un estudio de campo será influenciado por otros factores indirectos tales como los factores psicológicos. El primer objetivo es descubrir qué combinación de variables ambientales describe mejor las respuestas subjetivas de los sujetos encuestados. En la encuesta de campo las personas pueden controlar su ambiente intentando alcanzar la comodidad térmica. Por lo tanto, también el comportamiento y las posibilidades que brinda el edificio juegan un papel importante.

En una primera instancia, las investigaciones realizadas se desarrollaron fundamentalmente a través de estos dos métodos; los estudios de estado estacionario o también llamado “modelo del voto medio previsto” (PMV) y los estudios de campo o también llamados “modelos adaptativos”. Así Gómez-Azpeitia, Morales, & Torres (2007) mencionan dos enfoques para analizar el confort térmico: el predictivo y el adaptativo.

2.2.1 Enfoque predictivo: Fanger y el modelo de balance térmico

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 según Joyce Kim *et al.*, (2018), en las bases para los estándares UNE-EN ISO 7730 (2006) y ASHRAE Standard 55 (2004).

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 *et al.*, (2013) asegura que el cuerpo humano se esfuerza para lograr el equilibrio térmico. El PMV considera el confort como un fenómeno físico y fisiológico y expresa la sensación térmica humana como una transferencia de calor entre el cuerpo humano y el medio circundante.

Re, Filippin y Blasco (2017) destacan en su estudio en edificios áulicos, 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 como una regla. Y es aquí donde entran en juego los modelos de adaptación, ya que los de predicción, al tratarse de un modelo estacionario, no tienen en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del día, sino que son el resultado de investigaciones en cámaras térmicas y solo son aplicables a humanos expuestos a un largo período en condiciones constantes y con una tasa metabólica constante (Fanger 1973; Muñoz Godoy, 2012).

2.2.2 Enfoque Adaptativo: una nueva forma de evaluar el confort térmico

Luego de haber sido implementado el modelo de Fanger anteriormente descrito, se descubrieron algunas debilidades. Humphreys y Nicol evaluaron las teorías de confort basándose en estudios de campo (Taleghani *et al.*, 2013) y notaron una diferencia entre estos 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 generalmente subestima los votos medios reales.

El modelo predictivo fue ampliamente aceptado para edificios que cuentan con climatización total, fue trascendido por el modelo adaptativo para edificios con ventanas operables, como también en edificios de diferentes climas que permitan la climatización natural. El modelo adaptativo encuentra su fundamento en tres aspectos interrelacionados: psicológicos (expectativa y habituación de confort en relación clima interior y exterior), de comportamiento o conductual (estrategias de restitución de la situación de confort como apertura de ventanas, uso de parasoles, ventiladores y puertas) y fisiológicos (aclimatación, ropa, ingesta alimenticia) (Arballo, Kuchen, Scientific, & Naranjo, 2016).

Los principios del modelo adaptativo establecen que no puede considerarse sólo el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno para entender el confort térmico, sino que además, existen 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 hacia otro sitio para alcanzar el confort térmico son acciones que pueden hacer variar la sensación de confort. 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 del modelo adaptativo, los enfoques basados anteriormente en los modelos predictivos, debieron ajustar sus procedimientos implementando el modelo adaptativo en el estándar ASHRAE 55 y en el EN UNE 15 251. Re *et al.*, (2017) en su estudio sobre edificios educativos del área metropolitana de San Juan demostró que hay una variación entre los datos empíricos y los calculados por metodologías predictivas (PMV y PDD), y que estas diferencias se deben a que los datos de actividad (MET) que toma la IRAM, no coinciden con lo acontecido realmente en aulas.

Estos estudios sirvieron de base para la implantación del modelo adaptativo en el estándar ASHRAE 55 y en el EN UNE 15 251. La expresión lineal finalmente adoptada fue la siguiente:

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

Dónde:

Tcomf= Temperatura de confort

Tout= Temperatura exterior (Muñoz Godoy, 2012. p. 17)

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).

2.2.3 Modelos adaptativo-variables: Y el usuario como factor de eficiencia potencial.

Los modelos predictivo y adaptativo anteriormente mencionados fueron superados recientemente por modelos adaptativo-variables, en los que cada usuario con su comportamiento representan no solo un factor de eficiencia potencial para el edificio, sino también desde el punto de vista de la eficiencia y el rendimiento de personas en edificios públicos y en el residencial. La variabilidad de esta clase de modelo se define como la capacidad de admitir la adaptación de los usuarios hacia el ambiente térmico y asegurar la reconfiguración matemática según sea necesario, en función a las mediciones en tiempo real de las condiciones físicas, externas e internas del edificio (Arballo *et al.*, 2016).

El modelo desarrollado por Kuchen (2008) establece un máximo de 7 % de disconformes posibles a una temperatura de $23,3 \pm 1,1$ °C. Dentro de este rango queda definida la temperatura de neutralidad (Kuchen, 2008). En concordancia con estos estudios, se evidencia que “los usuarios manifiestan que aún en espacios con condiciones térmicas constantes son capaces de experimentar procesos de adaptación, como, por ejemplo: modificar los niveles de ropa, la posición de un termostato, controlar la apertura de puertas y ventanas, ajustar un parasol, etc., pudiendo aceptar condiciones térmicas que les son impuestas” (Kuchen *et al.*, 2010, citado por Arballo *et al.*, 2016).

El modelo de Fanger basado en el PMV-PPD es hasta la actualidad uno de los modelos matemáticos más influyentes en el estudio del confort térmico en interiores. La principal ventaja del modelo predictivo se evidencia en su amplio rango de aplicación. Los modelos adaptativos desarrollados a partir de la década de 1990 presentan una respuesta más apropiada hacia la evaluación del confort, ya que consideran a los usuarios activos con respecto a su ambiente térmico. Se destaca como válida la hipótesis de que los usuarios necesitan ser activos en función a su ambiente térmico y necesitan ser proveídos de suficientes oportunidades para tener cierto control personal; los habilita a desarrollar más tolerancia e inclusive aumentar la aceptabilidad sobre un mayor rango de amplitud térmica (Arballo *et al.*, 2016).

2.3 Aproximación a los rangos de confort térmico

Como plantea Mesa, Arboit y de Rosa (2009), es importante resaltar que la situación de equilibrio o confort térmico, es una condición psicofísica; esto explica que ante iguales condiciones térmicas de vestimenta y de actividad, las personas valoren sentirse diferente. Son conocidos y ya estudiados los distintos parámetros que intervienen en la percepción del confort, las variables son muchas y muy amplias, como cantidad de vestimenta, el nivel de actividad, la postura del cuerpo, el género, la edad, la alimentación, el acostumbamiento, la expectativa y se podrían mencionar muchos más.

El cuerpo humano alcanza el estado de confort o equilibrio térmico, cuando logra equilibrar su temperatura con la del entorno sin recurrir a los mecanismos fisiológicos de termorregulación. Los principales elementos que intervienen en dicho intercambio térmico entre el ser humano y el ambiente son los siguientes: temperatura del aire, temperatura media radiante, insolación, humedad relativa, movimiento del aire, la protección de la ropa

(aislamiento) y estado de la persona (temperatura interna, actividad, sudoración, humedad de la piel).

Pero en la percepción de los individuos hay un alto contenido de subjetividad que influye indefectiblemente sobre la valoración del confort, aunque el valor del índice indique confort térmico, en todos los casos hay un porcentaje de los individuos que están insatisfechos térmicamente, a pesar de que todos ellos tengan la misma vestimenta y estén desarrollando la misma actividad que aquellos que valoran estar en confort.

El rango de confort mencionado se define por un conjunto de parámetros considerados por los autores referentes en el tema que se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2

Parámetros del ambiente térmico

Parámetros meteorológicos	Parámetros fisiológicos	Parámetros del espacio arquitectónico	Parámetros circunstanciales
Temperatura del aire	Sexo	Materiales	Tipo de actividad
Humedad relativa	Complexión física	Climatización	Ingesta
Velocidad del viento	Metabolismo	Texturas y colores	Vestimenta
Radiación solar		Climatización	Aclimatación
Radiación infrarroja		Aberturas y su operabilidad	Tiempo de permanencia en el espacio

Nota: Adaptado de Bojórquez, 2010, por Luis Armando Canul Euan, 2018

Distintos autores a través de los años y en diferentes lugares se esforzaron por calcular este rango de confort considerando diferentes parámetros. En la tabla 3 se detallan la gran mayoría según: Mesa, Arboit, Rosa (2009).

Tabla 3

Rangos de confort propuestos por diferentes autores para una persona en reposo con vestimenta liviana

Autor	Humedad		Temperatura	Observacion
D.B.I.C.I Vermont		Verano	19 °C	Ligero mov. de aire (0,25 m/seg)
		Invierno	17 °C	
Bedford			13 °C - 23 °C	
Estándar Alemán	50%		21 °C	
Markham	40 - 70%		15,5 °C - 24,5 °C	
C.E.Brooks	30 - 70%		14,5 °C - 21 °C	Inglaterra
			20,5 °C - 26,6 °C	EE.UU
			23 °C - 29,4 °C	Trópicos
Watson y Labs	>5g/Kg < 80 %		20 °C - 25,6 °C	
Yaglou y Drinker	30 - 70 %		18,8 °C - 23,8 °C	
Koenisberger	30 - 70 %		22 °C - 27 °C	
E. González	27 - 75 %	Inferior	22 °C	
	20 - 40 %	Superior	29 °C	
B. Givoni	5 - 17 mm/kg		21 °C - 26 °C	
B. Givoni 92	> 4 < 15 g/kg	Verano	20 °C - 27 °C	Países fríos
		Invierno	18 °C - 25 °C	
	> 4 < 17 g/kg	Verano	25 °C - 29 °C	Países cálidos y húmedos
		Invierno	25 °C - 26 °C	
Givoni y Milne	> 20 % < 80 %	Verano	22,7 °C - 27 °C	
		Invierno	20 °C - 24 °C	
Szokolay	> 4 < 12 g/kg	Verano	TMA +/- 2k - 28,5 ° set 18,5 °C	
		Invierno	18 °C - 25 °C	
V. Olgyay	20 - 75 %		21 °C - 27 °C	Trópicos
			23,9 °C - 29,5 °C	
ASHRAE 55-92	> 4,5 g/kg < 60 %	Verano	23 °C - 26 °C	
		Invierno	20 °C - 23,5 °C	
Norma ISO 7730	-0,5 < PMV < +0,5 (1)			
	30 - 70 %			
	Asimetría de la temperatura radiante por ventanas frías menor de 10 °C			
	Diferencia vertical de la temperatura del aire cuello - tobillo menor de 3°C			
	Asimetría de la temperatura radiante por techos calientes menor de 5 °C			
	Temperatura del suelo entre 19 °C y 29 °C			

Nota: Adaptado de Mesa, Arboit y Rosa, 2009

De los factores que se consideran para calcular el confort térmico mencionados en la tabla 2, la mayoría están estudiados y sistematizados para que su consideración sea dentro de los mismos parámetros.

La vestimenta tiene un efecto aislante de las condiciones ambientales y permite además evitar las pérdidas de calor del cuerpo. Dado que esta reduce la pérdida de calor del cuerpo es clasificada según su valor de aislamiento. La unidad normalmente usada para medir el aislamiento de ropa es la unidad de Clo (1 Clo = 0.155 m² °C/W). La escala del Clo se designa desde una persona desnuda que tiene un valor de Clo de 0 (cero) a alguien que lleva un traje típico que tiene un valor de Clo de 1,0. Dicho valor se calcula simplemente sumando los valores parciales de las prendas individuales que lleva la persona (tabla 4).

De esta forma, el aislamiento puede ser calculado a partir de las prendas que tengan los usuarios o de forma indirecta, a partir de la suma de los valores de aislamiento parciales de cada prenda.

Tabla 4

Aislamiento térmico para combinaciones habituales de prendas

Ropa de trabajo	Icl		Ropa de uso diario	Icl	
	clo	m ² - K/W		clo	m ² - K/W
Calzoncillos, mono, calcetines, zapatos	0,7	0,11	Bragas, camiseta, pantalon corto, calcetines finos, sandalias	0,3	0,05
Calzoncillos, camisa, mono, calcetines, zapatos	0,8	0,125	Calzoncillos, camisa de manga corta, pantalones ligeros, calcetines finos, zapatos	0,5	0,08
Calzoncillos, camisa, pantalones, bata, calcetines, zapatos	0,9	0,14	Bragas, combinacion, medias, vestidos, zapatos	0,7	0,105
Ropa interior de mangas y pemeas cortascamisa, pantalones, chaqueta, calcetines, zapatos	1	0,155	Ropa interior, camisa, pantalones, calcetines, zapatos	0,7	0,11
Ropa interior de mangas y pemeas largas, chaqueta térmica, calcetines, zapatos	1,2	0,185	Bragas, camisa, pantalones, chaqueta, calcetines, zapatos	1	0,155
Ropa interior de mangas y pemeas cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos, gorro, guantes	1,4	0,22	Bragas, medias, blusa, falda larga, chaqueta, zapatos	1,1	0,17
Ropa interior de mangas y pemeas cortas, camisa, pantalones, chaqueta, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2	0,31	Ropa interior de manga y pemeas largas, camisa, pantalones, jersey de cuello en V, chaqueta, calcetines, zapatos	1,3	0,2
Ropa interior de mangas y pemeas largas, chaqueta y pantalonestérmicos, parka con acolchado grueso, chaquetón y sobrepantalones con acolchado grueso, calcetines, zapatos	2,6	0,395	Ropa interior de manga y pemeas cortas, camisa, pantalones, chaleco, chaqueta, chaquetón, calcetines, zapatos	1,5	0,23

Nota: UNE-EN ISO 7730, 2006

De la misma forma que la vestimenta o aislamiento modifica la sensación respecto del ambiente térmico, la actividad física también lo hace, al incrementar el gasto energético de un sujeto por el mayor oxígeno utilizado. La energía metabólica producida por nuestro organismo es utilizada solo en un bajo porcentaje para producir trabajo y el resto se pierde como calor disipado al medio ambiente. Cuanto mayor sea la intensidad del ejercicio, mayor será la cantidad de calor producida. El funcionamiento del cuerpo es óptimo dentro de un estrecho margen de temperatura, la variación diaria normal en el interior corporal es de tan sólo 1 °C, requiriendo que la temperatura corporal se mantenga entre los 36,5 y 37,5 °C.

El consumo de oxígeno de un individuo en reposo se denomina MET (equivalente metabólico basal) y corresponde a 58.15 W/ m² de superficie del cuerpo. El metabolismo de las personas se encuentra en su nivel más bajo mientras están dormidas (0.8 Met) y en su más alto durante la realización de actividades deportivas, en las que se alcanzan frecuentemente 10 Met (Tabla 5).

El movimiento del aire produce, ante altas temperaturas, una sensación refrescante debido a que al contacto con la piel favorece la pérdida de calor por convección y evaporación. Al aumentar la velocidad del aire, el estado de confort térmico se mantiene a pesar de que la temperatura o humedad aumenten. Asimismo, esta herramienta de equilibrio térmico tiene sus límites, pues, velocidades de aire superiores a los 1.5 m/s llegan a ser molestas para una persona realizando una tarea determinada. En los locales habitados, la velocidad de aire normal para el bienestar es de 0.1 - 0.3 m/s.

Tabla 5

Tasas metabólicas (MET)

Actividad	Tasa metabólica	
	W/m ²	met
Reposo, tendido	46	0,8
Reposo, sentado	58	1
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)	70	1,2
Actividad ligera, de pie (compras, laboratorio, industria ligera)	93	1,6
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2
caminar en llano		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Nota: UNE-EN ISO 7730, 2006

Por último, la temperatura ambiente es considerada la variable de mayor incidencia en el cálculo de la temperatura de confort y la única considerada por todos los autores en sus cálculos para la temperatura de confort. “Para determinar el rango aceptable de temperatura operativa, conforme a la norma europea, deberá emplearse un valor de aislamiento de la vestimenta que corresponda al clima local y a los hábitos en el vestir” (UNE-EN ISO 7730, 2006, p. 18).

La norma internacional ISO 7730 “aborda la evaluación de los ambientes térmicos moderados, ha sido desarrollada en paralelo con la revisión de la norma 55 de ASHRAE1 y forma parte de una de una serie de documentos que especifican métodos para la medida y evaluación de los ambientes térmicos moderados y extremos a los que los seres humanos están expuestos (otros documentos de la serie, dedicados a las condiciones térmicas extremas, son ISO 7243, ISO 7933 e ISO/TR 11 079)” (UNE-EN ISO 7730, 2006, p. 7).

Esta norma asegura que “en ambientes cálidos o fríos, la adaptación tiene a menudo su influencia. Además de la ropa, otras formas de adaptación, tales como la postura del cuerpo y la reducción de la actividad, que son difíciles de cuantificar, pueden dar lugar a la aceptación de temperaturas interiores más elevadas” (UNE-EN ISO 7730, 2006, p. 18).

Cuando el ambiente interior ofrece a los usuarios la posibilidad de controlar apertura y cierre de ventana, permitiendo el acondicionamiento natural del espacio interior en regiones cálidas o durante las épocas cálidas puede lograrse un mayor rango de aceptación.

Mesa et al. (2009) menciona el denominado Termopreferendum, término acuñado por Humphrey y Auliciems. La expresión analítica del Termopreferendum nos da como resultado la temperatura de confort de una localidad y en una época del año determinada, considerando las variaciones en el clima exterior. Diversos autores han desarrollado distintas ecuaciones de este índice (Humphrey, 1975) (Auliciems, 1981) (Auliciems, 1981) (Nicol, 1996), (ecuaciones 2 y 3).

$$T_n = 2.56 + 0.83 \times T_m \quad T_n = 17.6 + 0.31 \times T_m \quad (2)$$

$$T_n = 9.22 + 0.48 \times T_a + 0.14 \times T_m \quad T_n = 17.0 + 0.38 \times T_m \quad (3)$$

Dónde:

T_n: Temperatura Neutra o Termopreferendum

T_m: Temperatura Media

T_a: Temperatura Ambiente

Se podría hacer el análisis inverso, las personas que habitan un lugar geográfico específico están acostumbradas a ese tipo de clima, suelen vestir de cierta forma y se espera que sientan confort en esas condiciones. Es decir, estandarizar condicionantes para lograr generalizar la situación en una ciudad o región determinada.

Como se ha planteado, la aclimatación al medio es un factor de mucha incidencia a la hora de evaluar el confort térmico, de allí la importancia de la adecuada selección de cuál algoritmo o modelo se utiliza para el cálculo del confort térmico en cada situación.

2.4 Estándares de confort térmico

En el marco internacional se consideran ASHRAE: 55 y la norma europea EN UNE y en el marco local las conocidas normas IRAM, aunque no hay entes regulatorios que garanticen su correcta utilización.

2.4.1 ASHRAE 55:2017

La temperatura que el mayor número de ocupantes considere como la temperatura interior aceptable es la que se conoce como temperatura operativa óptima (T_{co}) (UNE EN 15 251, 2007). Es probablemente el factor más usado a la hora de trabajar sobre el confort en ambientes interiores, y es esta misma temperatura la que hay que tener en el aire y las paredes de un recinto para que un individuo intercambie el mismo calor sensible que en el local de origen; siendo esta la utilizada como referencia para obtener las mínimas y máximas temperaturas que delimitan un 90 % de aceptabilidad por parte de los usuarios.

ASHRAE 55:2010 (1990) propone un método alternativo para determinar la temperatura operativa óptima en edificios naturalmente ventilados (4), a diferencia de la fórmula adoptada anteriormente que consideraba la T_{out} como un único valor, en esta se promedia la temperatura exterior media de los últimos 7 a 30 días, para obtener una temperatura exterior más representativa.

$$T_{co} = 0,31 \times T_{ref} + 17,8 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

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

2.4.2 EN UNE 15251

Con un criterio similar a ASHRAE la EN 15251:2007 (2007), establece la siguiente ecuación también para edificios naturalmente ventilados (5).

$$T_{co} = 0,33 \times T_{rm7} + 18,8 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$

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 calcula según el procedimiento indicado en la UNE EN 15 251 para relacionar temperatura exterior con temperatura interior (6). 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.

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

Donde T_i = temperatura promedio exterior del día en cuestión

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

Aunque ambos estándares anteriormente mencionados 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. El criterio definido por la EN UNE 15 251 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. Mientras que el definido por ASHRAE, toma una temperatura media mensual y los periodos no se adaptan tan ajustadamente a las variaciones exteriores. De igual manera, sería imposible alcanzar por estos mecanismos los estándares de confort dados por los criterios actualmente aceptados.

2.4.3 Estándares vigentes en Argentina, IRAM

En Argentina no hay normativas obligatorias para utilizar en la construcción, pero sí hay algunas que se recomiendan como referencia, tanto en el área académica como profesional.

La IRAM 11659-1 (2004. p. 9), define al confort térmico como las condiciones dadas de temperatura y humedad relativa con las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos. Estas condiciones en verano oscilan entre los 22 °C y los 27 °C de temperatura y entre el 40 % y el 60 % de humedad relativa para actividades de poco desgaste físico.

La norma IRAM 11605 (1996) establece tres niveles diferentes, los cuales corresponden en grado decreciente a condiciones de confort higrotérmico:

- a) Nivel A: Recomendado; b) Nivel B: Medio; c) Nivel C: Mínimo

Asimismo, dentro de esta norma se establecen diferentes condiciones óptimas medias y mínimas dependiendo del tipo de local (tabla 6) y el destino de la actividad (tabla 7).

Tabla 6*Valores de temperatura y humedad relativa de confort según locales*

Tipo de local	Nivel de confort					
	A		B		C	
	°C	%	°C	%	°C	%
Viviendas y locales habitables	24	50	26	50	27	55
Lugares de trabajo (oficinas y despachos)	24	50	26	50	27	55
Lugares de diversión (salones de bailes o de fiestas)	24	50	25	40 a 50	26	40 a 50
Locales de uso público (locales comerciales, bancos, bares, donde las personas permanezcan de min a 40 min)	26	50	27	50	27	50
Lugares de espectáculos (cines y teatros)	25	50	26	50	27	50
Restaurantes	25	50	26	50	27	50
Temperaturas interiores nocturnas	23	50	24	50	26	50

NOTA: Se recomienda que la diferencia entre las temperaturas exterior e interior sea de 10 °C a 12 °C como máximo. Para una temperatura base exterior de 42 °C, la temperatura interior puede ser de 30 °C, como mínimo. Para temperaturas intermedias se puede considerar la tabla 2.

Nota: IRAM 11 659-1

Tabla 7*Valores recomendados de temperatura invernal según el destino del local*

Destino de los locales	Nivel de confort		
	Máximo	Normal	Mínimo
	°C	°C	°C
Salas de estar	21 (69,8 °F)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)
Comedores domésticos	21 (69,8 °F)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)
Comedores colectivos	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	18 (64,4 °F)
Retretes, aseos y duchas	21 (69,8 °F)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)
Dormitorios	21 (69,8 °F)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)
Aulas	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	17 (62,6 °F)
Teatros y cines	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	17 (62,6 °F)
Hospitales y salas destinadas a enfermos	23 (73,4 °F)	22 (71,6 °F)	20 (68 °F)
Talleres y fábricas	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	17 (62,6 °F)
Escaleras y portales	17 (62,6 °F)	15 (59 °F)	17 (62,6 °F)
Garajes	7 (44,6 °F)	5 (41 °F)	5 (41 °F)
Vestibulos y circulaciones (pasillos y entradas de edificios)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	15 (59 °F)
Oficinas	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	18 (64,4 °F)
Locales comerciales	21 (69,8 °F)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)
Gimnasios	15 (59 °F)	15 (59 °F)	15 (59 °F)
Locales de uso público (templos)	20 (68 °F)	18 (64,4 °F)	18 (64,4 °F)
Locales de uso público cuando las personas conservan los abrigo	18 (64,4 °F)	15 (59 °F)	15 (59 °F)

Nota: IRAM 11 659-1

2.5 Rangos de confort y estrategias de diseño

A lo largo de muchos años se han utilizado diferentes metodologías para reconocer zonas de confort, de forma sistemática y continuada, sin cuestionar su vigencia. Estas metodologías permiten, a partir de los datos climáticos, evaluar el grado de aproximación de las oscilaciones de temperatura y humedad en zonas de confort de referencia predefinidas, y como complemento, establecer estrategias de acondicionamiento o recomendaciones de diseño. La identificación de la mejor estrategia para un lugar determinado se puede hacer utilizando cartas bioclimáticas. Entre ellas se pueden mencionar el diagrama de Olgay, el método de Givoni o el triángulo de confort de Evans.

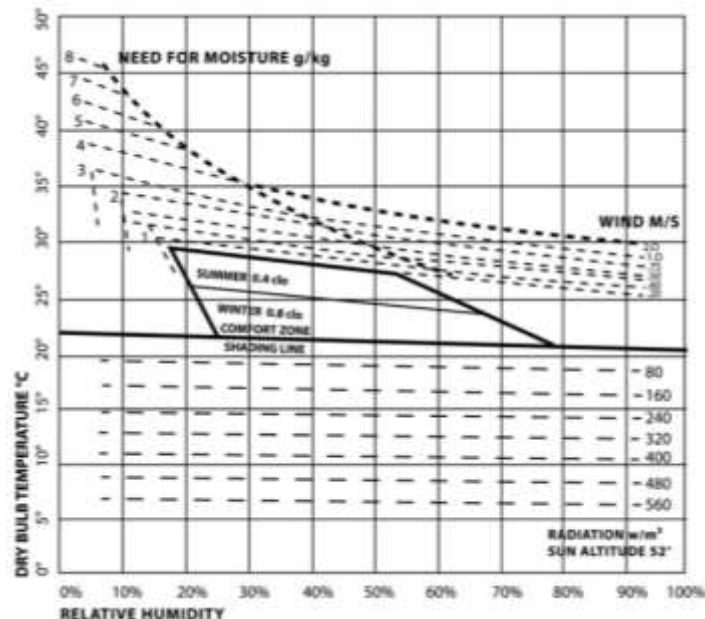
2.5.1 Olgay

Olgay V. y Olgay A.(1963), fueron los pioneros de las cartas bioclimáticas (Figuras 4 y 5). Propusieron un proceso de diseño de edificios basado en los requerimientos térmicos de las personas y las condiciones climáticas locales. Definieron una carta bioclimática cuantitativa y otra cualitativa que determinan la zona de confort en relación con la temperatura del aire, la humedad, el calor radiante medio, la velocidad del viento, la radiación solar y el enfriamiento por evaporación (Katafygiotou & Serghides, 2015). Olgay solo considera las condiciones exteriores sin tener en cuenta las consideraciones fisiológicas interiores, por lo que solo es aplicable para climas cálidos y húmedos donde hay fluctuaciones mínimas entre las temperaturas interiores y exteriores (Al-Azri, Zurigat, & Al-Rawahi, 2013).

En la carta bioclimática cuantitativa, Olgay define la zona de confort (figura 4) entre los 21,1 °C y los 27,5 °C aproximadamente y entre 30 % y 65 % de humedad relativa que puede ser ampliada para zonas con baja y alta humedad; también tiene una variación para el invierno, con una relación para corregir la gráfica con respecto a latitudes menores de 40 °C (Chávez del Valle, 2002).

Figura 4

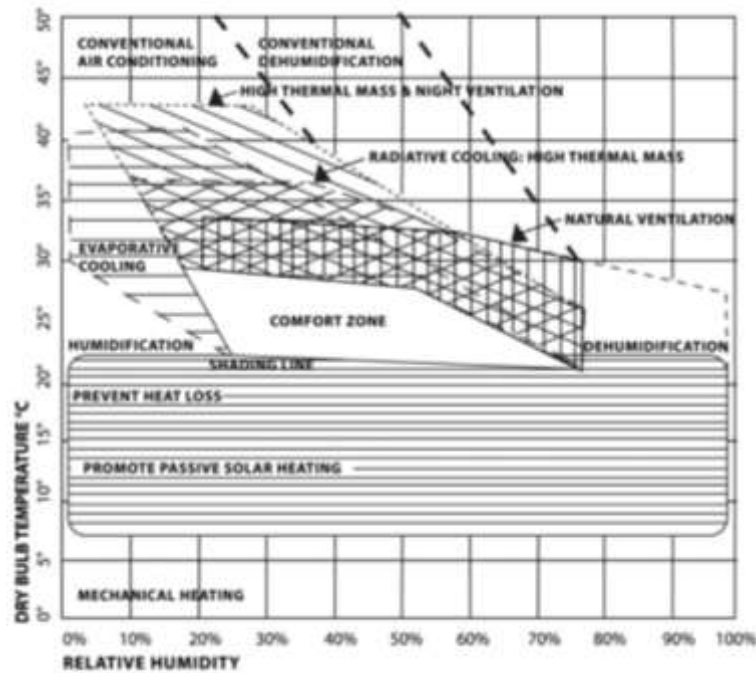
Carta bioclimática cuantitativa de Olgay



Nota: Katafygiotou & Serghides, 2015

Figura 5

Carta bioclimática cualitativa de Olgay



Nota: Katafygiotou & Serghides, 2015

El gráfico bioclimático cualitativo tiene la misma base que el gráfico cuantitativo, define las estrategias a emplear para lograr el confort térmico, en la figura 5 se muestran las estrategias posibles de implementar (Katafygiotou & Serghides, 2015).

El área de confort se define por encima de las estrategias de enfriamiento, y por debajo de las estrategias de calentamiento. Las estrategias de enfriamiento están representadas en cinco zonas: la ventilación natural que puede lograrse mediante el movimiento del aire; el enfriamiento radiante con alta masa térmica donde los materiales pueden retener el calor durante el día y emitir enfriamiento por la noche; la masa térmica combinada con ventilación nocturna; el enfriamiento evaporativo mediante evaporación de agua y aire acondicionado convencional con medios mecánicos. A su vez, se dividen en tres zonas más, afectadas por los niveles de humedad relativa (humidificación, la deshumidificación y la deshumidificación convencional con medios mecánicos).

Las estrategias de calentamiento se definen por dos zonas debajo de la línea de sombreado: la zona que requiere la prevención de las pérdidas térmicas; esto se logra con una adecuada integración del edificio combinada con la provisión de calefacción solar pasiva que puede obtenerse de la radiación solar y la zona que requiere calefacción mecánica adicional.

2.5.2 Givoni

Givoni (1981) desarrolla el conocido método en el que define sobre el diagrama psicrométrico, una zona de confort para invierno y una para verano, a partir de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa (figura 6). El gráfico identifica la técnica de enfriamiento adecuada en función de las condiciones climáticas exteriores. En la carta de Givoni se identifican cinco zonas: confort térmico, ventilación natural, alta masa, alta masa con ventilación nocturna y enfriamiento evaporativo (Al-Azri, Zurigat, & Al-Rawahi, 2013).

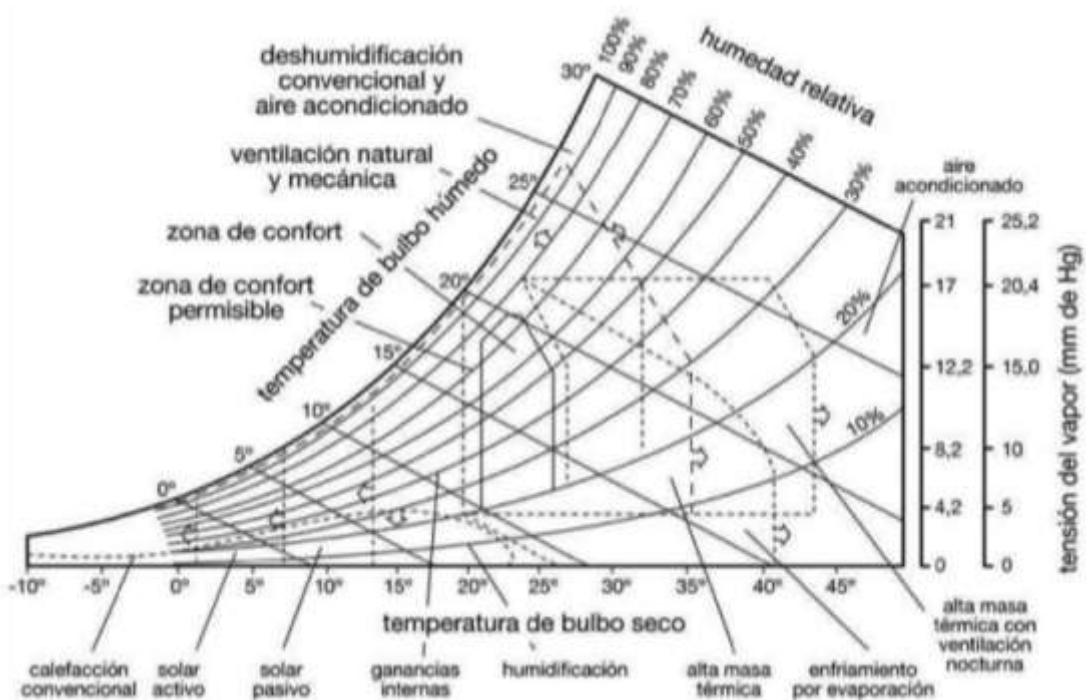
Las cartas bioclimáticas son utilizadas identificando primero la condición promedio mensual. De cada mes, se toma el promedio de la temperatura máxima diaria y se vincula con

el promedio de la humedad absoluta diaria mínima para determinar el primer punto en el gráfico, luego, el promedio de la temperatura mínima diaria se corresponde con el de la humedad absoluta máxima diaria para determinar el segundo punto. La ubicación de la línea que conecta los dos puntos determinará la estrategia de enfriamiento pasivo adecuada para esos meses (Al-Azri, Zurigat, & Al-Rawahi, 2013).

Este gráfico es aplicable principalmente a edificios residenciales y de oficinas donde la ganancia de calor es mínima (Al-Azri *et al.*, 2013). La zona de ventilación natural en el gráfico de Givoni supone que la temperatura radiante media interior y la presión de vapor son las mismas que en las condiciones exteriores, lo que es una limitación para aquellos edificios que tienen un buen rendimiento térmico (Al-Azri *et al.*, 2013). El gráfico define que a altas temperaturas, el aire acondicionado mecánico es necesario para mantener un ambiente habitable. A la izquierda de la zona de confort, se necesita calefacción para restaurar el confort utilizando calefacción solar si el cambio es leve, pero la calefacción mecánica es necesaria si la temperatura es demasiado baja. El alto efecto de masa térmica es proporcionado por una construcción pesada que ayuda a absorber el calor que se liberaría durante la noche. Si el clima es cálido y seco, la ventilación nocturna ayudará a liberar calor a través de las ventanas, asistido por ventiladores si llegara a ser necesario.

Figura 6

Diagrama de Givoni



2.5.3 Evans

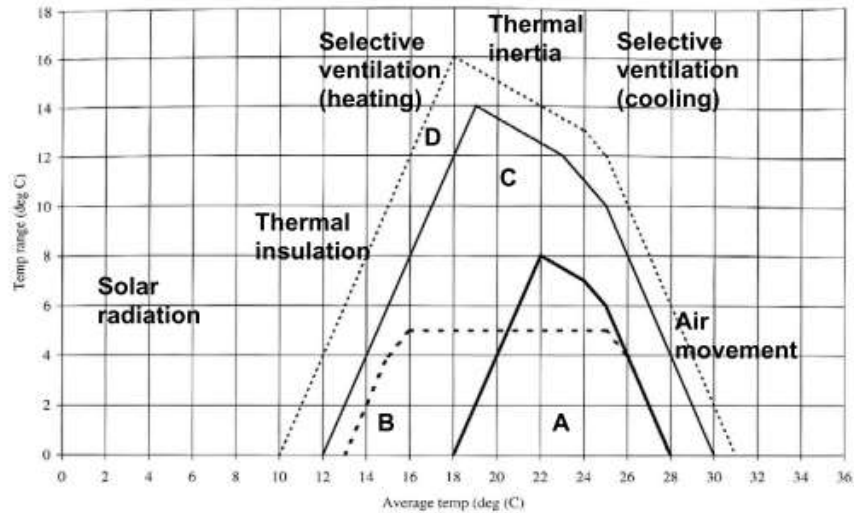
En el triángulo de confort propuesto por Evans (2011), se adopta la temperatura media diaria mínima de 18 °C y máxima de 28 °C, para lograr confort en actividades sedentarias con ropa adecuada en espacios interiores en invierno. Con estas temperaturas medias no se admiten oscilaciones de temperatura, pero a medida que la temperatura media se acerca a los 22 °C se puede aceptar mayor amplitud, representando el llamado “triángulo de confort”.

En el gráfico de los triángulos de confort de la figura 7 se indica el área donde la mayoría de las personas se encontraría confortable en diferentes circunstancias. A: Actividad sedentaria, B: Área de confort para dormir, C: Confort para circulación interior, D: Confort para circulación exterior (Evans, 2007).

En el gráfico de los triángulos de confort, se describen las estrategias a utilizar para alcanzar confort térmico. Cuando las temperaturas empiezan a ser más altas se recomienda la ventilación cruzada, ventilación selectiva e inercia térmica cuando la amplitud térmica es grande y ganancias internas o ganancias solares para las bajas temperaturas.

Figura 7

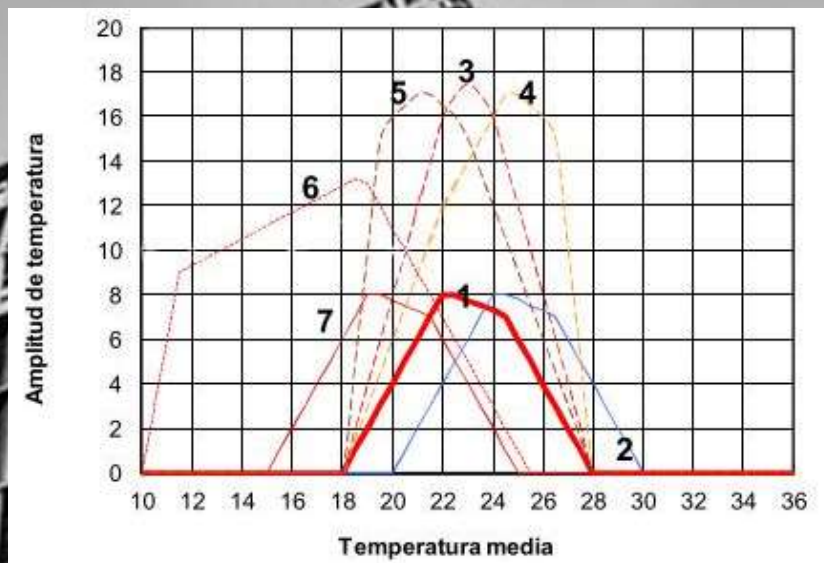
Triángulos de confort de Evans



Nota: Evans, 2007, p. 104

La figura 7 presenta los Triángulos desarrollados por el autor (Evans, 2003), mostrando las cuatro zonas diferentes identificadas, "A" para actividades sedentarias, "B" para el sueño, "C" circulación y "D" circulación extendida. Incluye además, estrategias bioclimáticas recomendadas como movimiento de aire, movimiento del aire que puede ser detectado debido al efecto de enfriamiento, inercia térmica, aprovechamiento de la radiación solar, aislamiento térmico para conservar ganancias internas y ventilación selectiva (uso de ventilación intermitente para enfriar o calentar interiores). Se detallan las estrategias en la figura 8.

Figura 8



Nota: Imagen modificada a partir de Evans, 2011

Dónde:

Eje horizontal: Temperatura media 24 horas

Eje vertical: Diferencia entre T_{max} y T_{min} (Amplitud térmica)

1. Triángulo de Confort: actividad sedentaria

2. Con ventilación sensible o cruzada

3. Con inercia térmica

4. Inercia térmica y ventilación nocturna

5. Inercia térmica y ventilación diurna

6. Confort en espacios exteriores

7. Actividad sedentaria y ganancias internas

Capítulo 3. El clima de Córdoba y las estrategias de diseño

3.1 Datos climáticos de Córdoba según la estación meteorológica del observatorio desde 2007 hasta el 2017

En la provincia de Córdoba se encuentran localizadas diferentes estaciones meteorológicas (figura 9). En la mayoría de las descripciones meteorológicas, Córdoba se delinea dentro de una zona ubicada en el clima templado; específicamente en la capital se diferencian mejor las cuatro estaciones y las temperaturas son algo más frescas que en el resto de la provincia, determinadas por la altitud de la ciudad y por los vientos fríos de origen antártico pampeano. Así, la temperatura media en la ciudad es de aproximadamente 18 °C–19 °C, las máximas se producen en el mes de enero y pueden alcanzar en ocasiones los 40 °C y las mínimas, por su parte, se registran en los meses de junio y julio y en ocasiones suelen bajar de los 0 °C. Estas temperaturas se agudizan más en el centro urbano, lugar en el que se registran algunos grados superiores que en la periferia como consecuencia del fenómeno de isla de calor urbana.

Figura 9

Mapa de localización de centrales meteorológicas de la provincia de Córdoba



Nota: Adaptado de [Sistema de Gestión CLIMA \(bccba.org.ar\)](http://bccba.org.ar)

Los veranos en la ciudad son calurosos y moderadamente húmedos. Es común que olas de calor de varios días aparezcan en la ciudad dejando temperaturas de hasta 35 °C–40 °C, siendo en este periodo los meses más lluviosos con promedios de 120 mm mensuales. Al comienzo del otoño los días suelen ser calurosos al mediodía y durante la tarde, mientras que por la mañana y la noche refresca bastante. Abril es un mes muy seco y en mayo pueden aparecer las primeras heladas. El clima de Córdoba en invierno es fresco durante el día y frío o muy frío por las noches. Las máximas pueden alcanzar los 16 °C–18 °C durante el día y bajar hasta -5 °C por la noche, siendo meses muy secos en la ciudad. La primavera de Córdoba se caracteriza por ser muy variable y muy ventosa con grandes amplitudes térmicas diarias.

Del total de las centrales meteorológicas que se muestran en la figura 9, se consideraron los datos de la estación, situada en el centro de la ciudad de Córdoba, con el fin de tener referencia de los datos más representativos para los habitantes de esta ciudad.

Figura 10

Datos de la central meteorológica Córdoba

Córdoba - 34011 17/10/2022 14:30		
18.76 °C Temperatura		
15.72 °C <small>Promedio</small>	13.92 °C <small>Mínimo</small>	20.05 °C <small>Máximo</small>
53.73 %HR Humedad		
64.96 %HR <small>Promedio</small>	53.73 %HR <small>Mínimo</small>	72.32 %HR <small>Máximo</small>
0.00 mm Nivel de Lluvia		
433.60 mm <small>Total Año</small>	7.20 mm <small>Total Mes</small>	0.00 mm <small>Total Día</small>
14.06 V Nivel de Batena		
13.24 V <small>Promedio</small>	12.87 V <small>Mínimo</small>	14.12 V <small>Máximo</small>
27.00 ASU Índice de OPCI		
26.54 ASU <small>Promedio</small>	25.00 ASU <small>Mínimo</small>	28.00 ASU <small>Máximo</small>
9.20 °C Punto de Rocío		
9.10 °C <small>Promedio</small>	11.10 °C <small>Máximo</small>	8.10 °C <small>Mínimo</small>

Nota: [Sistema de Gestión CLIMA por \(bccba.org.ar\)](http://bccba.org.ar)

Datos de la estación meteorológica utilizada para los datos climáticos de la ciudad de Córdoba (Figura 10):

Nombre: CÓRDOBA OBSERVATORIO
 Provincia: Córdoba
 Latitud: -31 25
 Longitud: -64 12
 Altura: 425
 Número: 87345

Figura 11

Parámetros climáticos promedio de la ciudad de Córdoba desde 1961 a 1990

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. media (°C)	31.1	30.1	27.6	24.9	22.0	18.5	18.6	21.0	23.3	26.1	28.4	30.3	25.2
Temp. mín. media (°C)	18.1	17.4	15.6	12.3	9.3	5.7	5.5	6.7	9.1	12.6	15.2	17.3	12.1
Precipitación total (mm)	121.7	99.8	110.3	52.2	18.9	11.4	12.8	9.7	33.8	66.4	96.6	136.9	770.8

Nota: Fuerza Aérea Argentina, comando regiones aéreas, Servicio Meteorológico Nacional, estación meteorológica Córdoba Observatorio.

Además de las temperaturas máximas, medias y mínimas históricas por mes que se muestran en la figura 11, se recopilaron datos de la estación climática del observatorio localizada en el centro de Córdoba Capital. Se sintetizan en la tabla 8 a continuación los datos de temperatura y humedad utilizados.

Luego, en la figura 12 se realiza un gráfico de dispersión, en el que se puede visualizar la zona climática de todo el año, relacionando la temperatura y la humedad que se agrupan en una zona claramente delimitada.

Tabla 8

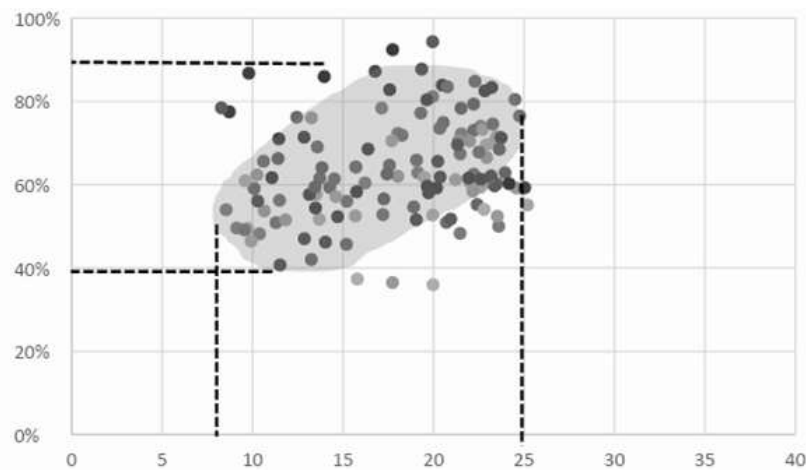
Temperaturas y HR media mensual desde el 2007 al 2017 inclusive, según el servicio meteorológico nacional.

	2007		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017	
Enero	22,61	74%	23,95	63%	22,61	59%	22,22	63%	24,58	59%	25,19	55%	23,17	62%	24,17	60%	23,27	75%	23,73	71%
Febrero	21,54	72%	22,22	73%	23,19	62%	24,50	80%	21,98	70%	23,49	72%	21,33	70%	20,48	84%	20,76	84%	22,84	83%
Marzo	19,95	81%	20,54	75%	23,34	70%	24,75	76%	22,94	67%	22,72	73%	20,23	66%	17,58	83%	22,29	85%	19,63	80%
Abril	17,14	78%	17,56	65%	19,50	62%	21,47	67%	21,37	71%	22,03	60%	16,77	87%	17,74	92%	20,34	74%	23,21	83%
Mayo	18,03	72%	14,26	59%	19,96	53%	23,51	60%	10,24	62%	14,61	57%	19,35	88%	13,96	86%	19,30	77%	12,85	71%
Junio	10,38	48%	10,09	59%	9,59	61%	18,26	72%	13,25	76%	15,68	53%	12,86	47%	11,45	71%	12,44	76%	9,79	87%
Julio	8,54	54%	13,72	62%	9,73	50%	11,29	51%	10,65	54%	9,92	46%	10,28	56%	11,06	62%	10,60	66%	8,71	77%
Agosto	9,12	50%	13,25	42%	15,79	37%	9,55	49%	11,82	52%	13,52	58%	11,52	41%	13,48	54%	13,58	69%	13,13	58%
Sept	16,22	60%	15,19	46%	13,69	52%	11,49	56%	17,73	37%	15,69	64%	14,03	46%	15,75	58%	14,52	61%	14,70	52%
Octubre	19,13	63%	18,91	55%	19,97	36%	15,21	56%	18,02	62%	17,70	71%	19,04	52%	20,17	59%	15,71	64%	16,38	69%
noviembre	21,47	48%	22,41	55%	22,80	54%	17,20	53%	22,18	58%	21,22	61%	20,36	62%	19,65	60%	19,06	66%	19,72	58%
diciembre	23,60	50%	22,99	61%	22,93	70%	20,71	51%	23,53	52%	23,06	61%	25,04	59%	21,94	62%	22,51	68%	22,62	61%

Nota: Elaboración propia a partir de los datos del Servicio Meteorológico Nacional

Figura 12

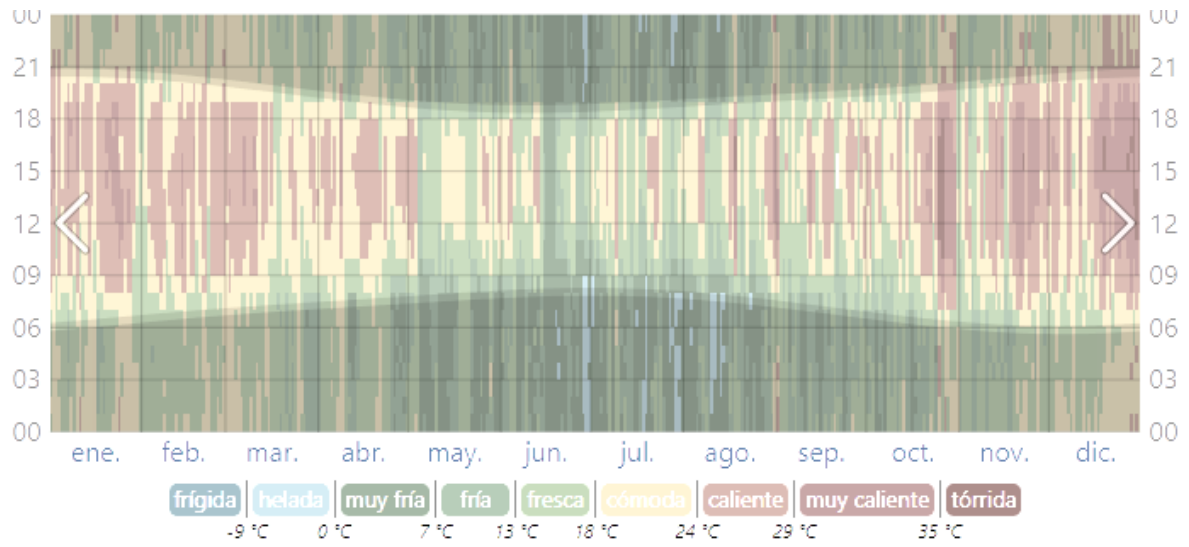
Gráfico de dispersión de Temperaturas y HR media mensual desde el 2007 al 2017 inclusive.



Nota: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional

Figura 13

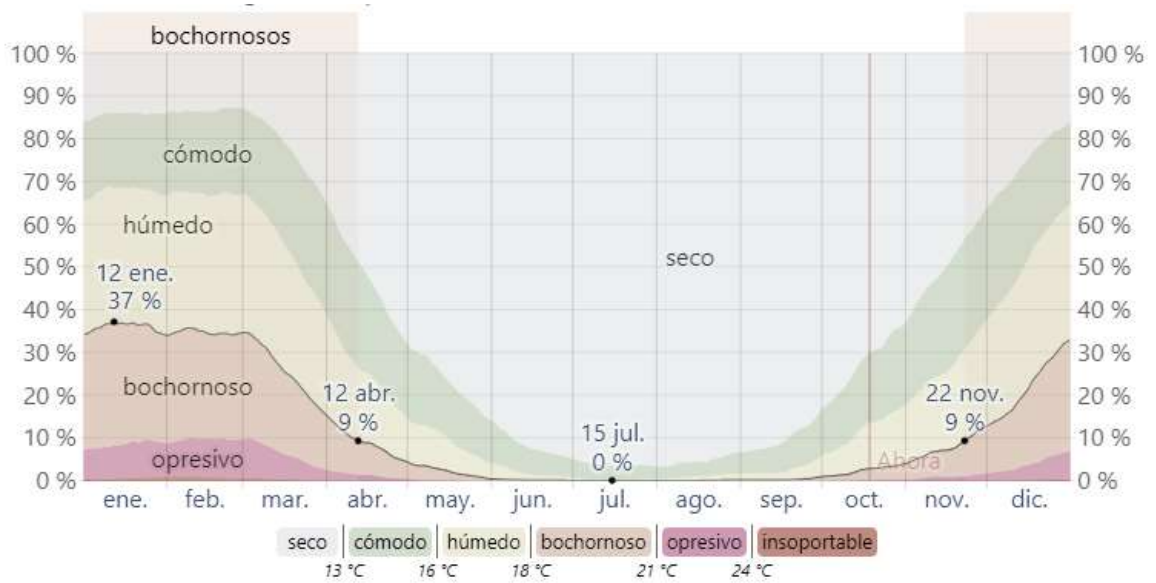
Temperatura por hora en el año 2021 en la ciudad de Córdoba



Nota: Datos históricos meteorológicos de 2021 en Córdoba Argentina

Figura 14

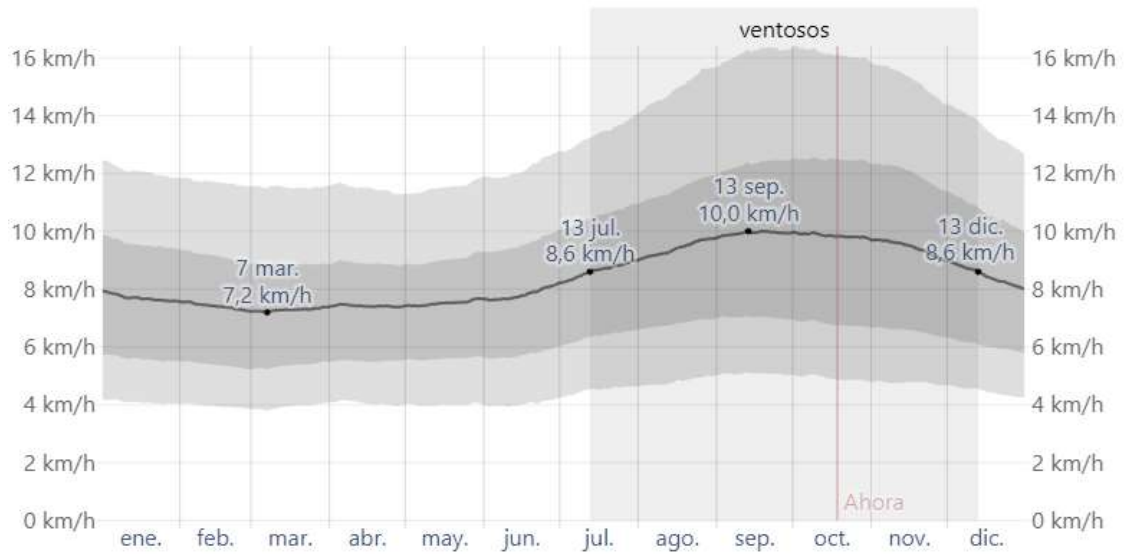
Niveles de comodidad de la humedad en Córdoba, datos históricos



Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Figura 15

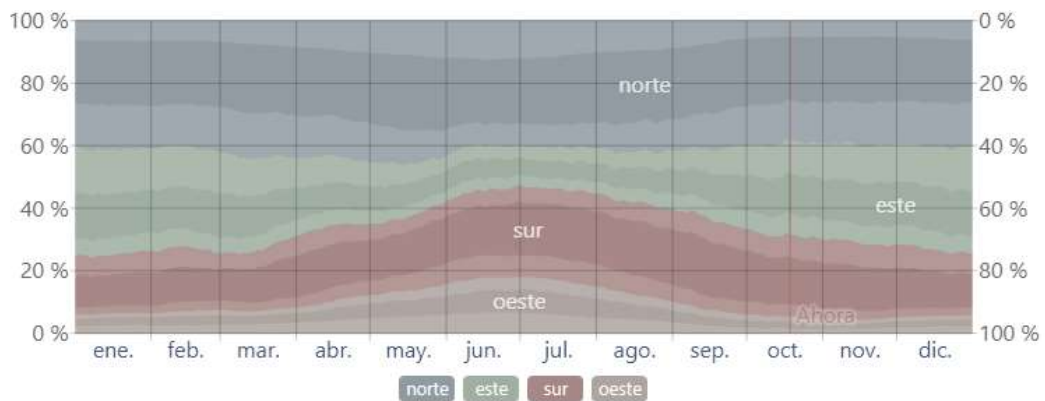
Vientos predominantes del viento en Córdoba, datos históricos



Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Figura 16

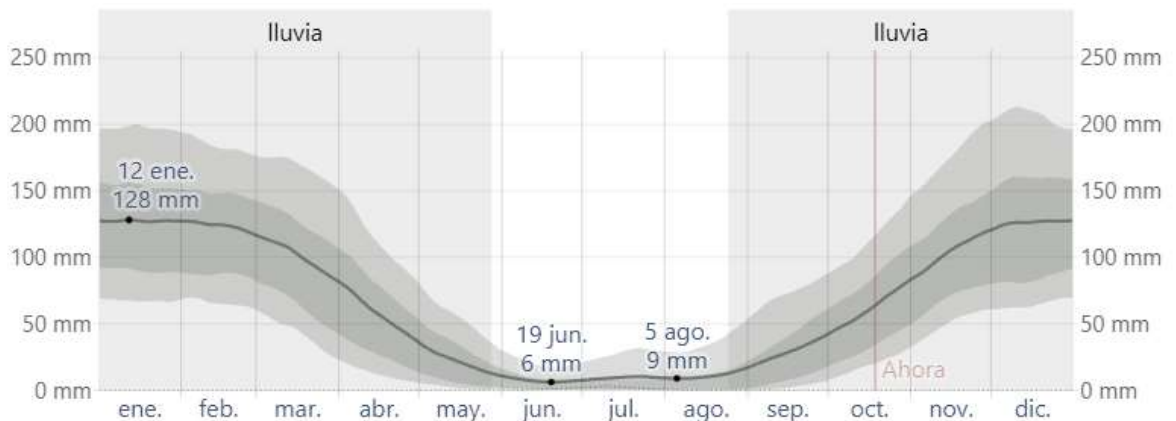
Dirección de vientos de la ciudad de Córdoba, datos históricos



Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Figura 17

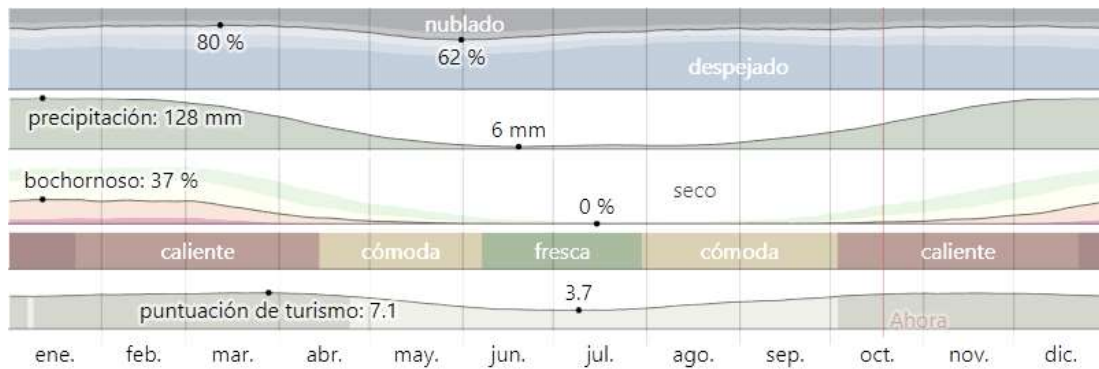
Promedio mensual de lluvias en la ciudad de Córdoba, datos históricos



Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Figura 18*Horas de luz natural y crepúsculo en Córdoba, datos históricos*

Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Figura 19*Datos históricos del clima en Córdoba*

Nota: El clima en Córdoba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina) - Weather Spark

Desde las imágenes 13 a la 19 se detallan las condiciones climáticas históricas de la ciudad de Córdoba. Se observa que, desde el mes de octubre hasta el mes de marzo, las temperaturas de la ciudad de Córdoba son en su mayoría calientes, muy calientes y tórridas. Sin embargo, desde los meses de mayo hasta el mes de agosto se presenta una notoria prevalencia de las temperaturas frescas, frías y muy frías durante la mayor parte del tiempo.

En relación con los niveles de humedad, durante todo el año se mantienen las condiciones en los niveles máximos al límite de lo bochornoso; lo cual denota que la humedad es uno de los valores que más interviene en la sensación de confort.

En lo que a los vientos respecta, el periodo más afectado es entre los meses de julio al mes de diciembre, con niveles máximos promedios de 10 km/h en el mes de septiembre. La dirección de estos es mayormente norte y este, excepto en los meses de invierno en los que escasamente aumentan los vientos del sur y oeste.

Las lluvias son más frecuentes en los meses de verano y equinoccios (desde septiembre hasta abril, variando un poco de acuerdo al año), siendo los meses de invierno notablemente los periodos más secos del año.

En resumen, el periodo de invierno es el momento del año de mayor nubosidad, menos precipitaciones, menos sensación de humedad, menos horas de sol y vientos más fríos, pero no tan frecuentes.

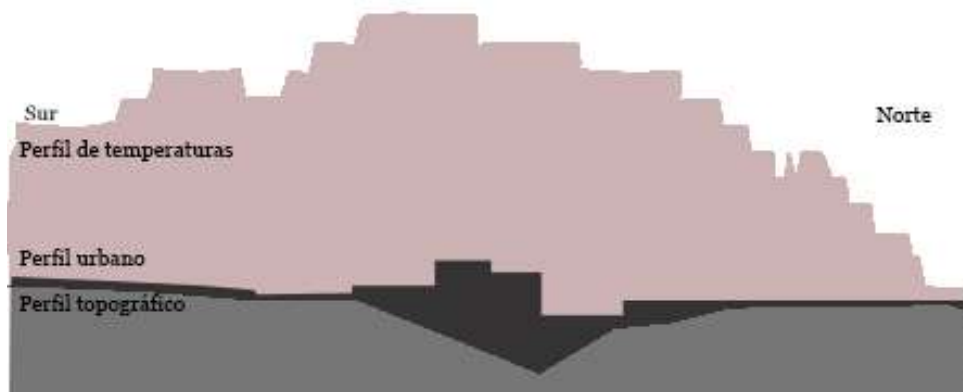
3.1.1 Isla de calor Urbana

El fenómeno conocido como Isla urbana de calor, es aquel que resulta como consecuencia de la acumulación y absorción de calor en las grandes ciudades por parte de la densidad edilicia y pavimentación. Este calor absorbido y acumulado durante el día es irradiado durante la noche y las primeras horas diurnas. Proceso que trae como consecuencia el aumento térmico del área central de las ciudades por falta de disipación de calor acumulado (figuras 20,21 y 22).

En el estudio realizado por (Maristany *et al.*, 2008), se estudia el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Córdoba específicamente en el año 2008. En este estudio se verifica que entre el área central y la periferia de la ciudad se alcanzan los 4 °C de diferencia (figuras 33 y 34) y se considera que no es el momento del año con mayor diferencia térmica, por lo que puede ser aún más significativo.

Figura 20

Perfil de la ciudad de Córdoba de sur a norte



Nota: Imagen ilustrativa de la isla de calor urbana en la ciudad de Córdoba, argentina, su relación con el perfil topográfico y urbano, adaptado a partir de Maristany *et al.*, 2008

Figura 21

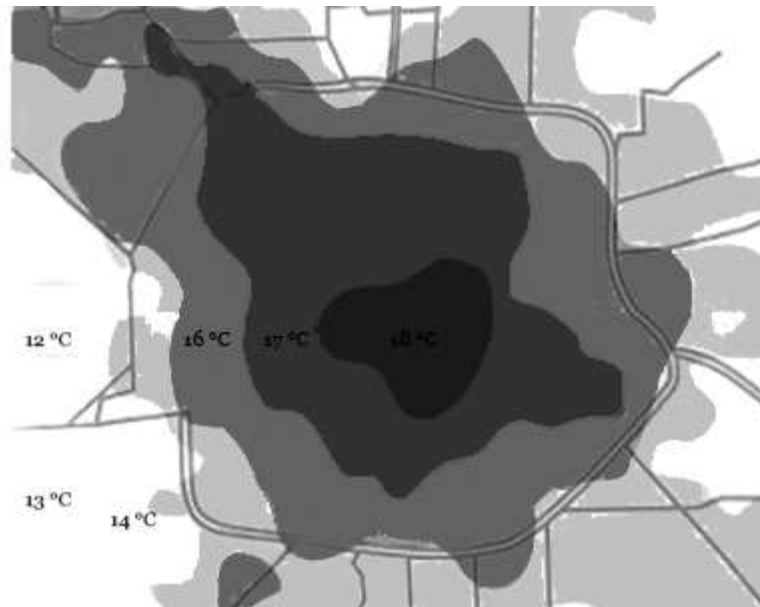
Perfil de la ciudad de Córdoba de oeste a este



Nota: Imagen ilustrativa de la isla de calor urbana en la ciudad de Córdoba, argentina, su relación con el perfil topográfico y urbano, adaptado a partir de Maristany *et al.*, 2008

Figura 22

Isla de calor urbana



Nota: Adaptado a partir de Observatorio ambiental de la Municipalidad de Córdoba, 2019. Noticias Ambientales de la Provincia de Córdoba: Pronunciada "isla de calor" en Córdoba Capital (noticias-ambientales-cordoba.blogspot.com)

La clasificación climática de un lugar geográfico determinado es la base donde se fundamentan las estrategias de diseño para la buena respuesta en los espacios construidos. Por lo general, en la práctica profesional no se cuestionan las respuestas constructivas en cuanto al confort. Es desde la investigación donde se debe cuestionar y modificar.

En Córdoba, si bien las temperaturas medias mensuales no son alarmantes, durante el año las temperaturas sobrepasan los 42 °C en verano y los -5 °C en invierno. La isla de calor urbana acentúa el calentamiento sobre todo en este periodo. Las amplitudes térmicas durante todo el año son de más de 20 °C, y la humedad es un factor a tener en cuenta en el periodo de verano, que es el periodo de más precipitaciones y desfavorece a la sensación de confort.

Estos aportes en relación al clima son fundamentales para establecer pautas de diseño adaptadas a las particularidades de la ciudad, salir de las generalidades de la región y centrarse en las particularidades que hacen que no funcionen las pautas de diseño generales.

3.2 Caracterización del clima de Córdoba según el mapa de climas de la República Argentina

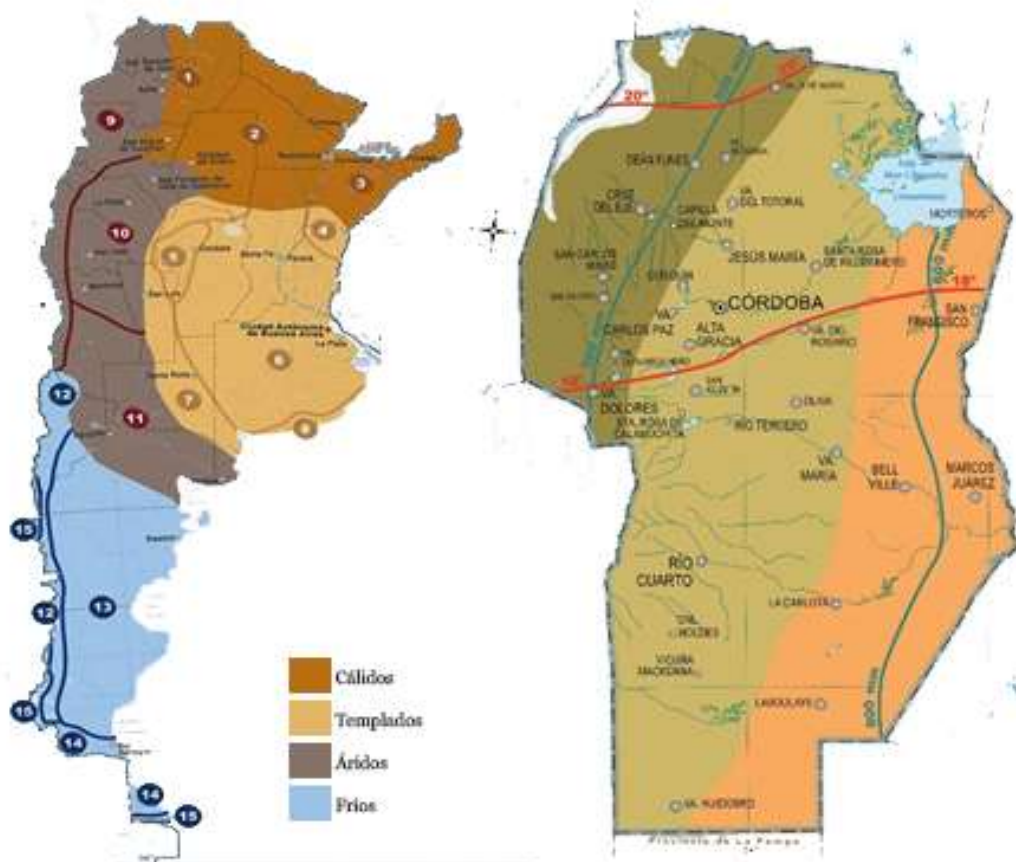
Las regiones climáticas de Argentina, se agrupan en cuatro zonas de características similares. El país se destaca por ser un territorio extenso, con amplitud longitudinal y latitudinal, así como también por su desarrollo altitudinal que cubre desde 108 m bajo el nivel del mar hasta el punto más alto sobre éste (el Aconcagua), con rasgos climáticos de lo más variados.

En el mapa climático de Argentina, los cuatro tipos principales de clima son: cálido, árido, templado y frío (figura 23). A diferencia de otras regiones de latitud similar, Argentina tiene cuatro estaciones bien definidas a lo largo del año: otoño, invierno, primavera y verano.

Varios factores afectan el clima del país, como la influencia de la altitud, el terreno, el mar, el viento desde diferentes direcciones, tornados, nevadas, heladas y granizo.

Figura 23

Mapa de climas de la República Argentina y mapa de clima de la provincia de Córdoba



Nota: Adaptado de mapas de los climas de la Argentina. (Educ.ar)

Clima cálido en el norte

El clima cálido se presenta en el norte del país, denominado también subtropical (pues mayormente está ubicado por debajo del trópico de Capricornio) y se subdivide en tres sectores: subtropical sin estación seca, subtropical con estación seca y subtropical serrano.

Clima templado en el centro

El clima templado se presenta en el centro del país y registra cuatro variantes. La de mayor superficie corresponde al templado pampeano, le sigue en extensión el templado de transición a modo de angosta faja curva que se interna en el territorio.

Dos pequeñas áreas, una en el centro del país y la otra en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, completan los otros dos climas templados: el templado serrano y el templado oceánico. Las lluvias van desde los 900-1000 mm anuales (más hacia el este) hasta los 600 mm anuales (en la zona de transición). La temperatura media anual está en torno a los 15 °C.

Clima frío hacia el sur

El clima frío se presenta en el sur del país, zona patagónica y antártica, con cinco variantes: el frío húmedo u oceánico de los bosques andino-patagónicos, el frío nival en las zonas más altas donde hay nevadas y abundantes precipitaciones, el frío magallánico, el frío antártico y el frío insular. En general son zonas de intensos vientos (provenientes del oeste) y lluviosas.

Clima árido en región precordillerana

El clima árido se extiende por toda la región oeste o precordillerana y también en la denominada estepa patagónica. Comprende subregiones (como la andino-puneña, la de sierras y bolsones) y se caracteriza por las bajas precipitaciones que dotan al paisaje de escasa vegetación xerófila y de gran amplitud térmica. En el clima semiárido se registra algo más de lluvia, cuestión que posibilita la cría de ovinos.

Los 4 tipos de clima generales definidos en el mapa de climas de la República Argentina, tienen características constructivas asociadas que hablan de las necesidades de confort de las personas que allí habitan. En el clima frío de la Patagonia en general se utilizan construcciones en piedra para la inercia térmica y en madera para la buena aislación, con grandes superficies vidriadas al norte para ganancias solares. En el clima árido, se utilizan construcciones con muros gruesos para generar masa térmica, ventanas pequeñas con protecciones solares y techos planos. Y en la región cálida, las construcciones generalmente son elevadas, con abundante ventilación y aleros amplios. En el área centro del país se concentra el clima templado, y en esta región los criterios constructivos no son tan claros en relación a la búsqueda de confort térmico interior.

“La arquitectura bioclimática representa el empleo y uso de materiales y sustancias con criterios de sostenibilidad” (Rojas, 2011, p.90). Y es de acuerdo a este criterio que se han desarrollado estrategias a lo largo del mundo para diferentes tipos de climas. Según Rojas (2011) las actuaciones disponibles para un sistema bioclimático se detallan en la tabla 9.

Tabla 9*Actuaciones para un sistema bioclimático*

Calefacción	Sistema de captación de calor	Sistema de captación directa
		Sistema de captación indirecta
		Sistema de captación independiente
	Sistemas de acumulación	Elementos de acumulación directos
		Elementos de acumulación indirectos
	Sistemas de distribución	Distribución directa, superficial
		Distribución indirecta, por conducciones de aire
Humidificación		
Refrigerar	Protección solar	Protección de huecos
		Protección de cerramientos
	Refrigeración	Por masa térmica
		Por evaporación
		Ventilación natural
	Deshumidificación convencional	

Nota: Adaptado a partir de Rojas, 2011

Estas actuaciones, se utilizan en cada tipo de clima de acuerdo a lo que se necesita captar del entorno. Apuntando siempre a un concepto de gestión de energía óptima mediante la captación, acumulación y distribución de energías y la integración paisajística, el empleo de materiales autóctonos y sanos para el entorno.

En un estudio elaborado para los climas fríos, por Mercado, Estevez y Filippín, con el objetivo de elaborar una grilla de estrategias bioclimáticas para utilizar sobre los hogares y mejorar sus condiciones termo-energéticas, describen que el invernadero y el muro acumulador son dos estrategias muy útiles para aprovechar energía y mantener los espacios interiores más cálidos (Figura 24). En dicho estudio, las mejoras que se ejecutaron, fueron las consideradas más adecuadas para el clima local, y consiguieron como resultado final el 65% de ahorro en el consumo de energía para lograr condiciones de confort en el interior del edificio.

Figura 24

Estrategias bioclimáticas para viviendas en clima frío. Invernadero y muro acumulador, como propuestas bioclimáticas para viviendas sociales en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina

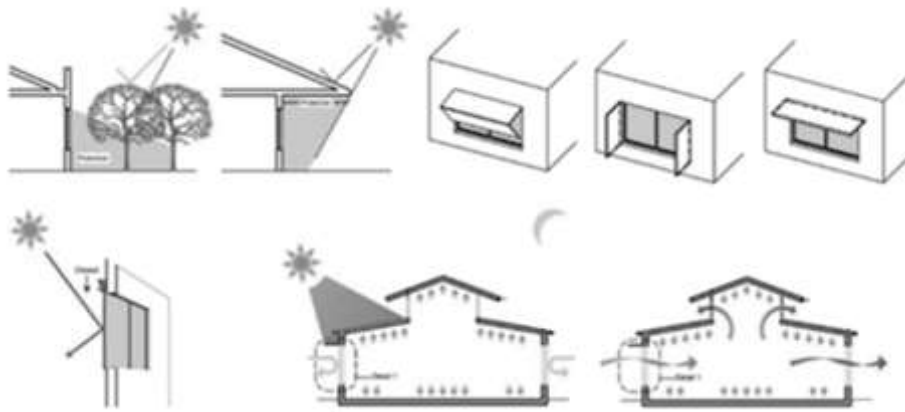


Nota: Adaptada de Mercado, Esteves, & Filippín, 2008

Un estudio llevado adelante en la ciudad de Rasht de clima Cfa, se centró en mejorar el confort térmico interior con indicadores climáticos. Daemei, Eghbali, & Khotbehsara, (2019) pudieron concluir que ciertas estrategias de diseño bioclimático que se han adoptado en ciudades y países específicos podrían exportarse a otras zonas con climas similares porque demostraron ser estrategias de diseño arquitectónico funcional útiles que resultaron en mejorar el confort térmico interior humano.

Figura 25

Estrategias bioclimáticas para viviendas en clima árido. Estrategia de protección solar y refrigeración nocturna asistida por masa térmica



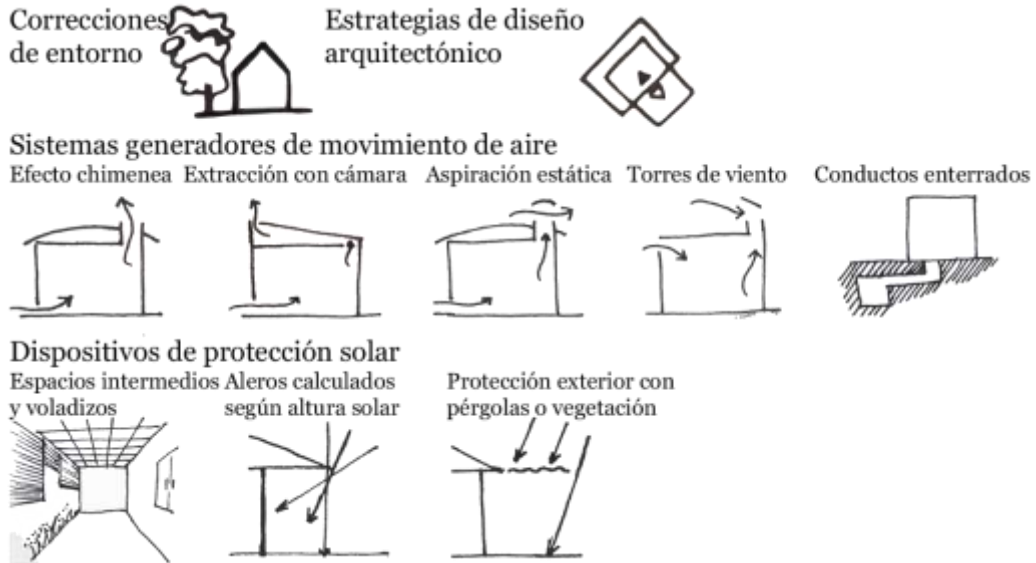
Nota: Adaptado de Daemei, Eghbali, & Khotbehsara, 2019

Daza, Puche Berroca, & Urrea Ceferino, (2021) plantean recomendaciones para el clima cálido húmedo, y concluyen que aplicadas de forma concreta para la ciudad de Montería, pueden proporcionar mejoras en las condiciones de bienestar térmico de los ocupantes. Aunque es posible que en ciertos espacios y franjas horarias sea necesario el uso de ventilación mecánica y aire acondicionado, la implementación de estas estrategias de bajo impacto ambiental pueden reducir en alta medida los consumos de energía en climatización,

contribuyendo de manera considerable al diseño e implementación de distritos térmicos con alta eficiencia energética (Figura 26).

Figura 26

Estrategias de diseño bioclimático recomendadas para la ciudad de Montería. Clima cálido húmedo.



Nota: Adaptado de Daza, Puche Berroca, & Urrea Ceferino, 2021

El clima templado en cambio, requiere estrategias difíciles de estandarizar. Es un clima que demanda inercia térmica, protección solar en verano pero captación solar en invierno, ventilación cruzada en verano, pero aislación en invierno. Es entonces difícil establecer estrategias fijas, la clave en el clima templado es la constante adaptación.

3.3 Clasificación climática según Köppen

El clima del planeta se puede clasificar de diferentes formas atendiendo a ciertas variables y parámetros. Se necesita poder clasificar el clima para establecer un orden en el área de distribución de numerosas especies de animales y plantas, diseños de arquitectura, establecimiento de ciudades, predicción meteorológica, etc. Una de ellas es la clasificación climática de Köppen. Dicha clasificación se basa en la vegetación natural, en tanto tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre un clima y otro se establecen según la distribución de la vegetación.

Este método taxonómico fue creado en el año 1900 por el climatólogo alemán llamado Wladimir Köppen; con el tiempo sufrió algunas modificaciones, que fueron realizadas en colaboración de su colega Rudolf Geiger. Esta clasificación organiza el clima de todo el mundo en cinco grandes grupos identificados con letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones de cada zona; cada grupo se subdividen luego en subgrupos según ciertas particularidades. Esta clasificación es de las más conocidas y utilizadas a nivel mundial por abarcar de forma muy sencilla, el mundo entero. En la figura 27, se mencionan los 5 grupos de climas según esta clasificación, cada uno se divide en subgrupos (anexo 1).

Figura 27

Cuadro de clasificación climática según Köppen

Letra	Umbral térmico	Clima	Grupos climáticos secundarios y régimen pluviométrico		Régimen térmico	
A	Temperatura media mensual $>18^{\circ}\text{C}$	CLIMA CALIDO	f	Mes más seco $>60\text{mm}$	i	Régimen isotérmico, cuya amplitud térmica anual no es $>5^{\circ}\text{C}$
			m	Mes más seco $<60\text{mm}$ e $=100\text{mm}$ - (Precipitación media anual en mm)		
			w	Mes más seco es $<60\text{mm}$ y también $<100\text{mm}$ - (Precipitación media anual en mm)		
B	Evaporación supera a la precipitación	CLIMAS SECOS (áridos y semiáridos)	BS (Estepa/Semiárido)	Llueve en invierno $P(\text{cm})=2T$	h	La temperatura media anual es $>18^{\circ}\text{C}$
				Llueve en verano $P(\text{cm})=2T+28$		
			BW (Desértico/Árido)	Lluvias irregulares $P(\text{cm})=2T+14$	k	La temperatura media anual es $>18^{\circ}\text{C}$
				Llueve en invierno $P(\text{cm})=T$		
Llueve en verano $P(\text{cm})=T+14$	k'	La temperatura media anual y media mensual del mes más cálido es $<18^{\circ}\text{C}$				
Llueve en invierno $P(\text{cm})=T+7$						
La precipitación se presenta en mm, por lo que es necesario convertir las unidades esto es $\text{cm}=\text{mm}/10$						
C	Temperatura media del mes más frío es $<18^{\circ}\text{C}$ y $>-3^{\circ}\text{C}$	CLIMAS TEMPLADOS	s	Mes más seco en verano es inferior a 1/3 de la del mes más lluvioso de invierno.	a	La temperatura media del mes más cálido es $>22^{\circ}\text{C}$
			w	Mes más lluvioso en verano es, al menos, 10 veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.	b	La temperatura media del mes más cálido $<22^{\circ}\text{C}$, al menos, 4 meses con T medias $>10^{\circ}\text{C}$
D	Temperatura media del mes más frío es $<-3^{\circ}\text{C}$ y la del mes más cálido $>10^{\circ}\text{C}$	CLIMAS TEMPLADOS (con inviernos rigurosos)	f	No hay una estación seca. El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre 3 y 10 veces la precipitación del mes más seco.	c	La T media del mes más frío es $>-38^{\circ}\text{C}$ y el mes más cálido es $<22^{\circ}\text{C}$ y menos de 4 meses T media $>10^{\circ}\text{C}$
			d	La temperatura media mensual del mes más frío es $<-38^{\circ}\text{C}$		
E	Ningun mes con temperatura media $>10^{\circ}\text{C}$	CLIMAS FRÍOS	ET (Tundra)	Temperatura media del mes más cálido debe estar entre 0°C y 10°C		
			EF (Hielo)	Temperatura media del mes más cálido debe ser $>0^{\circ}\text{C}$		

Nota: Adaptado de Esquemas y mapas conceptuales de Geografía | Docsity

Se desarrollan a continuación los dos grupos en los que la zona de estudio se ve involucrada. Se enumeran, además, las diferentes ciudades alrededor del mundo que comparten características climáticas según la clasificación de Köppen, evidenciando la gran variedad geográfica que pertenece al mismo grupo climático.

3.3.1 Cfa: Templado sin estación seca, veranos calurosos

Es el clima que predomina en el sector de estudio, la ciudad de Córdoba. La temperatura media del mes más cálido supera los 22°C . Es el llamado clima subtropical húmedo, que regionalmente recibe los nombres de clima subtropical chino o clima pampeano en Sudamérica. Se da en las regiones orientales de las grandes masas continentales: mitad este de EE. UU., sur de Brasil y Paraguay, todo Uruguay, centro de la Argentina (región pampeana y la cuenca del Paraná), algunas regiones de Sudáfrica oriental, China suroriental y oriental, sur de Japón y Australia sudoriental y oriental. En Europa se da en valles como el del río Danubio, Po o Garona, zonas limítrofes con el clima oceánico¹, pero con veranos más cálidos al estar alejadas del mar. También se da en algunas zonas de la costa del mar Negro.

¹ El clima continental se designa según Köppen, Cfb, se caracteriza por ser templado, aunque en ocasiones bastante fresco, influenciado por su proximidad al mar, con vientos dominantes del oeste y una precipitación notable durante todo el año. (Carlucci, Bai, De Dear, & Yang, 2018) Común en las regiones próximas al océano e islas donde el viento sopla constantemente hacia el continente.

Las ciudades del mundo que según la clasificación de Köppen comparten características climáticas de la zona Cfa (figura 28), son las detalladas a continuación:

- Atlanta, Estados Unidos
- Buenos Aires, Argentina
- Brisbane, Australia
- Baltimore, Estados Unidos
- Busan, Corea del Sur
- Cantón, China
- Curitiba, Brasil
- Dallas, Estados Unidos
- Durban, Sudáfrica
- Filadelfia, Estados Unidos
- Florencia, Italia
- Florianópolis, Brasil
- Houston, Estados Unidos
- La Plata, Argentina
- Memphis, Estados Unidos
- Milán, Italia
- Montevideo, Uruguay
- Nagasaki, Japón
- Orlando, Estados Unidos
- Osaka, Japón
- Paraná, Argentina
- Porto Alegre, Brasil
- Rosario, Argentina
- Shanghái, China
- Tokio, Japón
- Turín, Italia
- Toulouse, Francia
- Washington D. C., Estados Unidos
- Yokohama, Japón
- Krasnodar, Rusia
- Sochi, Rusia

3.3.2 Cwa: Templado con invierno seco y veranos calurosos

Según Köppen, es el clima subtropical húmedo con estación seca (verano cálido). La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C. Este clima es una variación del chino o pampeano y se da en regiones más alejadas del mar que no reciben tantas precipitaciones por lo que el invierno aquí es bastante seco. Es propio del interior de China, Argentina, Paraguay y Sudáfrica y se diferencia del mediterráneo en que la estación lluviosa es la más cálida. También se puede dar como transición al clima tropical, con lluvias abundantes, debido a los monzones del verano, pero un invierno seco en el que las temperaturas descienden ligeramente de los 18 °C.

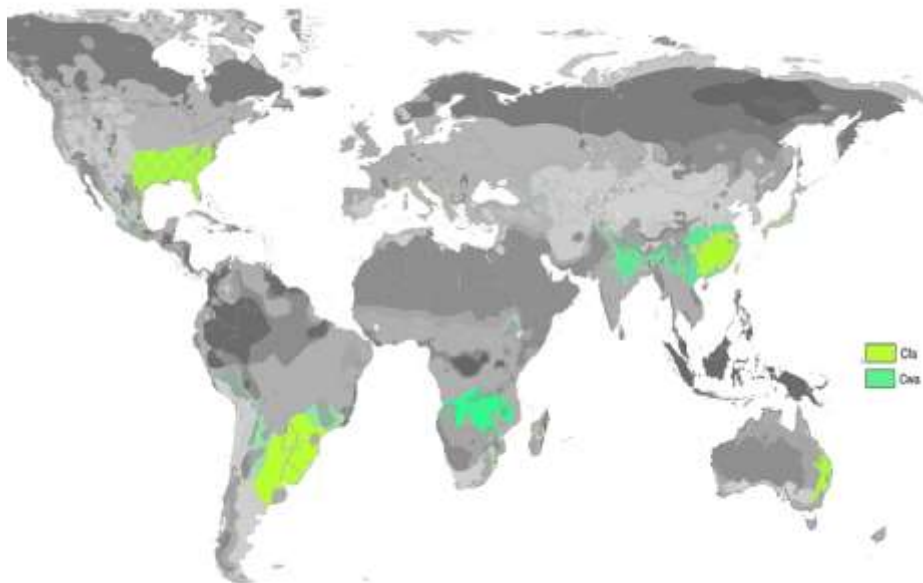
Las ciudades que según la clasificación de Köppen comparten características climáticas de la zona Cwa (figura 28), son las detalladas a continuación:

- Asunción, Paraguay
- Antananarivo, Madagascar
- Cantón, China

- Chengdu, China
- Córdoba , Argentina
- Guadalajara, México
- Hanói, Vietnam
- Hong Kong, China
- Incheon, Corea del Sur
- Katmandú, Nepal
- León , México
- Macao, China
- Pretoria, Sudáfrica
- Río Cuarto, Argentina
- Sao Paulo, Brasil
- San Miguel de Tucumán, Argentina
- Santa Rosa de La Pampa, Argentina
- Santa Rosa de Copán, Honduras
- Santiago del Estero, Argentina
- Siguatepeque, Honduras
- Taipéi, Taiwán
- Xian, China
- Zamora de Hidalgo, México
- Zapopan, México

Figura 28

Mapa de clima Cfa y Cwa



Nota: Ubicación y distribución mundial de los sectores que pertenecen al grupo de clima Cfa y Cwa en la distribución según Köppen de Elaboración propia a partir de Köppen. Mapa completo de climas mundial en Anexo 2.

En este caso, Köppen no extiende recomendaciones de diseño para cada tipo de clima, solo se centra en las características climáticas de cada grupo. Para Córdoba, que pertenece al clima Cwa, se puede resumir que las características son las siguientes:

- De inviernos fríos o templados y veranos cálidos
- La estación seca es en invierno
- Clima húmedo

No hay recomendaciones de diseño a partir de la clasificación climática de Köppen, pero algunos autores las hicieron para grupos climáticos específicos. Tal es el caso de Daemei, Eghbali & Khotbehsara (2019) quienes en su estudio sobre las estrategias de diseño para las zonas climáticas Cfa, postulan consideraciones para regiones con este clima. Proponen durante los meses de invierno fomentar las ganancias internas, ganancias solares activas y pasivas en distintas proporciones. En los meses de verano favorecer estrategias como ventilación mecánica y natural, aire acondicionado y deshumidificación.

Las sugerencias que se mencionan son algo intuitivas, fundamentando la idea de que las recomendaciones de diseño para los climas “intermedios” o no extremos, no están desarrolladas ni estandarizadas, dependiendo en gran medida de la adaptación e interacción entre los espacios interiores y los exteriores, a través de las envolventes y del comportamiento de los usuarios.

3.4 Clima de Córdoba según IRAM 11.603 y su relación con Köppen

El clima de la ciudad de Córdoba es particularmente complejo porque está afectado por enormes amplitudes térmicas diarias. Para este tipo de climas, a diferencia de los extremos, no hay estrategias claras de diseño a considerar. Por lo tanto, hay una gran posibilidad de definir pautas claras para lograr viviendas eficientes, que colaboren para el acondicionamiento adaptativo y eviten la dependencia de los mecanismos de acondicionamiento artificial.

Dentro de la zona bioambiental definida según IRAM (figura 29) como IIIa: Clima templado cálido (IRAM 11.603, 1996a). En términos generales, el clima de la ciudad de Córdoba es templado moderado con cuatro estaciones bien definidas. 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 (tabla 10) (IRAM 11.603, 1996a). El área céntrica, densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor (Maristany *et al.*, 2008).

El clima templado cálido, según la normativa IRAM, abarca las provincias de:

- Norte de Buenos Aires y La Pampa
- Casi la totalidad de San Luis
- Noreste de Mendoza
- Centro y sur de Córdoba
- Sur de Santa Fe y Entre Ríos
- Una franja angosta vertical por el centro de San Juan, La Rioja, Catamarca, Salta y Jujuy.
- Un borde Oeste de Tucumán.

Tabla 10

Datos climáticos según IRAM

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				

Nota: IRAM 11.603, 1996a

Figura 29

Clasificación bioambiental según las normas IRAM 11.603



Nota: IRAM 11.603, 1996a

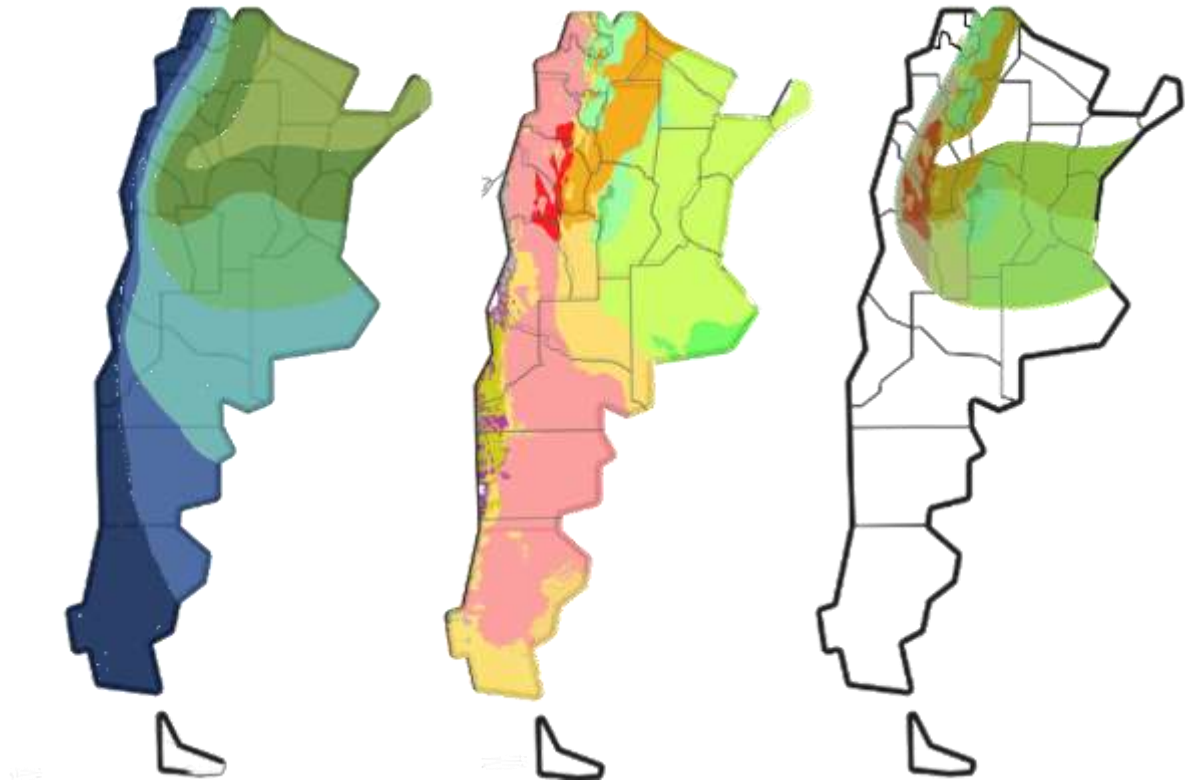
3.4.1 Estrategias de diseño para la construcción propuestas por la norma de referencia en la construcción

- Se caracteriza por grandes amplitudes térmicas, por lo que es aconsejable el uso de viviendas agrupadas.
- Se aconsejan todos los elementos tendientes a la inercia térmica.
- Tanto en la faz de la orientación como en las necesidades de ventilación, por tratarse de una zona templada, las exigencias pueden ser menores.
- Evitar orientación oeste. Y es aconsejable prever protecciones solares adecuadas.
- Aberturas con sistemas de protección solar.

- Colores claros altamente recomendables.

Figura 30

Superposición de zonas climáticas según IRAM y Köppen



Nota: Relación de la zona bioambiental IIIa con la clasificación climática de Köppen.
Fuente: Elaboración propia

La superposición de las zonas bioambientales definidas por IRAM con la zonificación climática definida por Köppen, da como resultado para la ciudad de cordoba, una variable diferente de zonas más pequeñas, con condiciones climáticas particulares que conjugan características del clima templado cálido con la zona Cfa, Cfb, Cwa, BSk, Bsh, BWb, BWk (figura 30). Esta subdivisión nos habla de las diferencias significativas en vegetación y por lo tanto en variaciones dentro del clima templado cálido definido por IRAM. Se definen dentro de la zona IIIa, siete zonas con características diferentes de paisaje, tomando los climas denominados según Köppen:

Cfa: Templado sin estación seca, veranos calurosos

Cfb: Marítimo de costa occidental (oceánico)

Zona Bioambiental IIIa

Templado cálido
con amplitudes térmicas
mayores a 12 °C

Cwa: Templado con invierno seco y veranos calurosos

BSk: Estepario frío

BSh: Estepario cálido

BWh: Desértico cálido

BWk : Desértico frío

La mayor parte de la provincia de Córdoba delimitada por la zona bioambiental IIIa (figura 30), la cual abarca la ciudad de Córdoba Capital, se clasifica dentro del clima Cfa. Pero la ciudad de Córdoba en particular se ubica en la zona Cwa. Se puede inferir que para esta investigación, la zona de estudio combina ambas características, clima templado cálido según IRAM y templado con inviernos secos y veranos calurosos según Köppen.

Aplicación del Método de Medias por
Intervalos de Sensación Térmica
(MIST)



Capítulo 4. Aplicación del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST)

4.1 Descripción del método

El objetivo de este procedimiento es determinar el valor medio de temperatura en que las personas valoran sentir confort en el ambiente térmico. Considera el promedio de todas las respuestas, en cada nivel de sensación térmica, percibida de acuerdo a cada una de las siete categorías de respuesta de confort según UNE-EN ISO 10.551:1995, 2002: “Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo”. Dicha norma, incluye la elaboración y utilización de escalas de juicio (escalas de percepción térmica, de confort térmico, de preferencia térmica, expresión de la aceptabilidad y escala de tolerancia) que sirven para obtener datos fiables y comparables relativos a los aspectos subjetivos del confort térmico o del estrés térmico.

Se tuvieron en cuenta las condiciones exteriores del periodo de invierno y de verano respectivamente, como así también las condiciones monitoreadas en las viviendas estudiadas y las valoraciones de los usuarios investigados, tomando como referencia algunos estudios previos similares realizados en otros climas como Bojórquez *et al.* (2015); de Dear, Kim, & Parkinson, (2018). El análisis de correlación de datos entre la sensación térmica percibida y la temperatura de bulbo seco, se llevó a cabo con el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) propuesto por (Gómez-Azpeitia, Bojórquez Morales, *et al.*, 2007), el cual fue desarrollado con base en la propuesta de Nicol (1993) para los climas “asimétricos” y que consiste en utilizar la estadística descriptiva en la determinación de un valor neutral de temperatura que se considera la de confort térmico.

Se realizaron dos o más encuestas diarias a los habitantes de las viviendas estudiadas donde expresaban cómo se sentían en ese ambiente térmico, cuál era su valoración, aceptación, comodidad, tolerancia y preferencia. Estas valoraciones, se vincularon a las temperaturas registradas simultáneamente en el ambiente interior a través de sensores *datta logger*. De esa forma se calculó el valor promedio de la temperatura y de la humedad en la que los sujetos valoraron sentirse en confort (valor 0), pero también de quienes expresaron sentir calor o frío (valores +1 y -1).

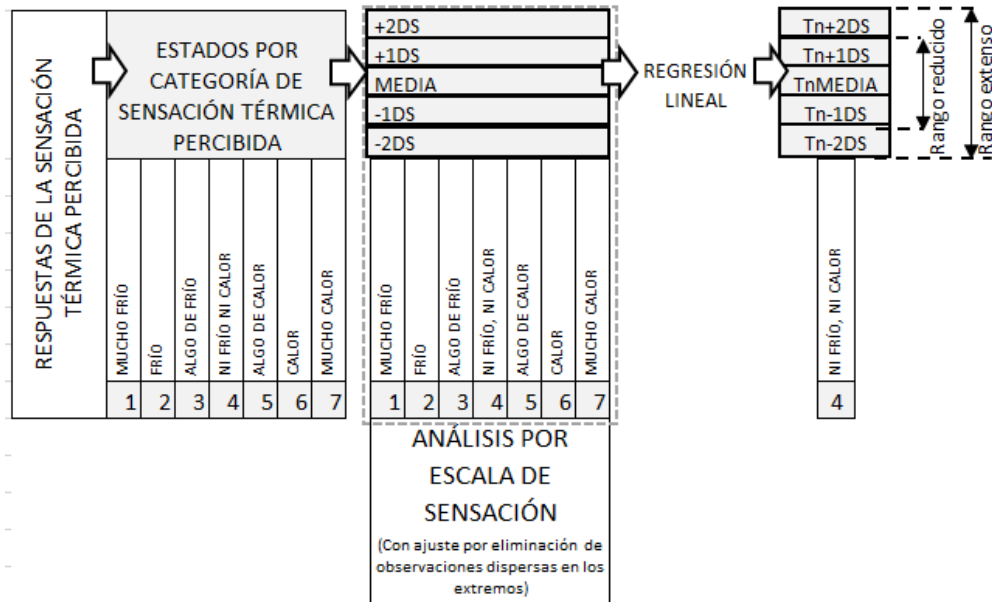
Posteriormente se establecieron los rangos de distribución para cada categoría de respuesta. Se calculó la desviación estándar y a partir del valor medio de temperatura o humedad correspondiente (Tn Media, HRn Media) se calculó la adición de $\pm 1DS$. Este primer rango incluye teóricamente el 68 % de las personas que expresaron tener una misma sensación térmica. Se repite el procedimiento y se adiciona $\pm 2DS$ a la Tn Media o HRn Media, con lo que teóricamente se incluye al 95 % de la población que emitió un mismo voto de sensación térmica.

Por último, se realizó una regresión lineal con los valores que fueron obtenidos, a fin de determinar las rectas correspondientes a los límites extensos de los rangos definidos por Tn Media y HRn Media $\pm 2DS$ y a los límites reducidos definidos por TnMedia o HRnMedia $\pm 1DS$. También se hizo lo propio con los valores de Tn Media y HRn Media. La intersección de cada una de las líneas de regresión con la ordenada cero (que representa la sensación térmica de confort: ni calor, ni frío) determinan el valor de la temperatura o humedad relativa neutra según el método MIST, así como los valores límites de los rangos de confort térmico. Esta metodología (figura 31) ha sido aplicada por otros autores (Bojórquez *et al.*, 2010; Bojórquez *et al.*, 2015; García Gómez *et al.*, 2011; Herrera Sosa, 2013) en diferentes climas, obteniendo de

cada uno de estos la temperatura neutral (T_n) y rangos de confort según valoraciones subjetivas de los habitantes encuestados en cada caso.

Figura 31

Esquema de funcionamiento del Método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica



Nota: Adaptado a partir de Gonzalo Bojórquez *et al.*, 2010

4.1.1 Descripción y caracterización de variables de medición utilizadas

Dentro del Método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica se valoran dos aspectos importantes para concluir en el rango de confort y la temperatura de confort valorada por los usuarios de los espacios interiores evaluados.

Aspectos cualitativos:

Las mediciones *in situ* de condiciones térmicas interiores son denominadas aspectos cuantitativos. A través de dispositivos *data logger* se monitorean las viviendas en periodos de 15 minutos durante todo el estudio, obteniendo valores periódicos y constantes de temperatura, humedad relativa y punto de rocío.

Aspectos cuantitativos:

Por otro lado, en cada vivienda estudiada se midieron aspectos cualitativos a través de encuestas constantes y diarias durante todo el periodo de estudio y a todos los habitantes de las viviendas. En dichas encuestas, realizadas según las normas ISO 10551, se indaga acerca de la sensación respecto del ambiente térmico, utilización de medios de acondicionamiento mecánico, preferencias, aceptación y tolerancia.

4.1.2 Desarrollo de la encuesta de confort

Se realizó un estudio de las valoraciones de los usuarios enfocándose en las sensaciones subjetivas de confort de las personas que habitan viviendas en la ciudad de Córdoba y su correspondencia con la temperatura interior. Para ello, se tomaron como casos de estudio viviendas de la ciudad, sin tener requisitos de tipología específica; se consideró que sea una muestra variada en ubicación, orientación, antigüedad y materialidad, para lograr un monitoreo representativo de la tipología de vivienda en general (tabla 12). Por supuesto,

además se tuvo en cuenta que debían ser viviendas que cumplieran con la descripción de haberse construido para tal fin y ser habitadas de forma permanente, lo que engloba casas y departamentos.

Estas viviendas fueron monitoreadas durante los meses de invierno y verano del 2019, 2020 y 2021 a través de sensores Hobo Data Logger (HDL) en los espacios interiores de estar y se registraron temperatura de bulbo seco y humedad relativa cada 15 minutos (figura 32).

Figura 32

Hobo Data Logger (HDL)



Nota: imagen de (Evans, 2007)

Complementando estas mediciones, se realizaron encuestas con el objetivo de vincular las temperaturas interiores en que se mantienen las viviendas y las sensaciones del usuario promedio en relación a estas.

Los sujetos de estudio fueron hombres y mujeres en un rango entre 20 y 60 años que estuvieran dentro del recinto monitoreado en el momento de completar la encuesta. Se desarrolló un instructivo de como completar las encuestas. Estas fueron enviadas a través de un formulario *online* diseñado en base a la norma ISO 10 551 (UNE-EN ISO 7730, 2006a), que el usuario debía completar un mínimo de dos veces diarias mientras estuviera en el recinto monitoreado.

El cuestionario consistía en 6 preguntas de opciones múltiples que se detalla a continuación:

1 - *¿Está utilizando en este momento algún medio de acondicionamiento mecánico?*

- *SÍ*
- *NO*

2 - *¿Qué siente usted en este momento? (marcar la casilla apropiada) Tengo...*

- *-3 Mucho frío*
- *-2 Frío*
- *-1 Un poco de frío*
- *0 Ni frío ni calor*
- *1 Un poco de calor*
- *2 Calor*
- *3 Mucho calor*

3 - *Se encuentra usted...*

- *Cómodo*
- *Algo incómodo*
- *Incómodo*
- *Muy incómodo*
- *Extremadamente incómodo*

4 - *En este momento preferiría tener...*

- -3 Mucho más frío
- -2 Más Frío
- -1 Un poco más de frío
- 0 Ni más frío ni más calor
- 1 Un poco más de calor
- 2 Más Calor
- 3 Mucho más calor

5 - Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?

- Sí
- No

6 - En su opinión, este ambiente térmico es...

- Perfectamente tolerable
- Un poco difícil de tolerar
- Bastante difícil de tolerar
- Muy difícil de tolerar
- Intolerable

Los usuarios de las viviendas monitoreadas respondieron las preguntas en relación a cómo se sentían con el ambiente térmico que estaba siendo monitoreado. Se realizaron un total de 1754 encuestas en simultáneo con las mediciones para conocer las valoraciones subjetivas de las personas bajo las condiciones monitoreadas.

4.2 Definición del caso de estudio

Los espacios construidos son el lugar donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo, ya sea en espacios públicos, privados, individuales o colectivos.

Si se acepta que la vida urbana nos ha llevado a vivir más del 80 % de nuestro tiempo en espacios cerrados valdría la pena preguntarnos sobre la idea que se tiene de los ambientes interiores ideales, lo que se quiere, espera, exige y acepta como lugares de vida. Se quieren espacios más seguros, más limpios, más saludables y mejor climatizados. (Vargas y Pulgarín Gallego, 2005, p.244)

Tenemos como arquitectos un rol protagónico en la concepción de esos espacios, así como en el confort de las personas que en esos espacios habitan, ya sea de forma temporal o permanente.

Los espacios construidos cuentan con cerca del 40 % de la energía global consumida y contribuyen 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, Yan, & Lam, 2014). Los números en los estudios consultados nos indican que el porcentaje de energía que se lleva el confort térmico es enormemente significativo para el planeta.

Para el estudio del ambiente térmico interior de los espacios residenciales, se presenta como caso de estudio a un grupo de viviendas con heterogeneidad constructiva, complementando el estudio tanto de valores objetivos a través de mediciones de temperatura y humedad como de las valoraciones subjetivas simultáneamente a través de encuestas de confort.

Unidad de interés analítico: “472 417 viviendas censadas en la ciudad de Córdoba 2010”. Dentro de las cuales, las habitadas según el Censo Nacional 2010 son: 383 594 unidades.

Si se consideran sólo aquellas que fueron construidas para ser habitadas, se define el universo de casos para esta investigación: 378 346 viviendas en Córdoba Capital (figura 33).

Figura 33

Datos del total de viviendas en Córdoba

Total de viviendas particulares ocupadas	Casa	Rancho	Casilla	Departamento	Pieza de inquilinato	Pieza en hotel familiar o pensión	Local no construido para habitación	Vivienda móvil
383.594	286.820	1.679	1.230	91.526	1.297	609	405	28

Nota: Elaboración propia a partir de datos del Censo Nacional 2010

4.2.1 Definición y justificación del tamaño de muestra necesaria

El diseño de la muestra es un componente primordial para que los resultados obtenidos sean una representación consistente de la masa poblacional estudiada. Para ello, resulta importante considerar el tipo de muestreo y el tamaño de la muestra.

Antes de calcular el tamaño de muestra hay dos términos a saber. Estos son: intervalo de confianza y nivel de confianza.

Margen de error es el intervalo (o valores equidistantes por encima y/o por debajo de un valor obtenido) en el que se estima que estará cierto dato desconocido con una determinada probabilidad de acierto.

El nivel de confianza es una medida de las posibilidades de acertar en la estimación. Indica lo seguro que se puede estar de los datos obtenidos. Se expresa como un porcentaje y representa con qué frecuencia el verdadero porcentaje de la población que elegiría una respuesta se encuentra dentro del intervalo de confianza. El nivel de confianza del 95 % significa que usted puede estar 95 % seguro.

La muestra se determinó teniendo en cuenta el cálculo del número mínimo de sujetos que debe formar parte de la misma, para dar suficiente representatividad estadística. En la estimación de proporciones para el Muestreo Aleatorio Simple (N,n) bajo hipótesis de distribución normal del estimador, el tamaño muestral se calculó por la expresión (7).

$$(7) \quad n = \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \cdot NPQ}{\delta^2(N-1) + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 PQ}$$

En donde:

n: tamaño de la muestra

$Z_{1-(\alpha/2)}$: es el percentil de orden $1-(\alpha/2)$ de la distribución $N(0,1)$ o valor de significación

P: es el porcentaje con el que se verifica el fenómeno en estudio

Q: es el porcentaje complementario

N: es el tamaño de la población en estudio

δ : es el error absoluto máximo tolerado para hacer la predicción

Los supuestos para este cálculo de tamaño muestral son:

Varianza poblacional, los parámetros “P” y “Q” se toman $P=Q=50\%$, obteniendo un producto máximo entre ambos (por lo tanto una muestra mayor a la necesaria).

Valor de significación o nivel de confianza. En nuestro caso es 0,05; lo que significa que el nivel de confianza sea del 95 % (implica que Z sea igual a 1,96).

El nivel de confianza hace referencia a la probabilidad de acertar, es decir, a la probabilidad de que una estimación, en ausencia de sesgos, se ajuste a la realidad.

Considerando estos aspectos y teniendo en cuenta una población aproximada de 378 346 viviendas, se determina una muestra de 384 casos.

La población total considerada son los grupos “Casas” y “Departamentos” que son los recintos de vivienda permanente con localización fija para poder ser estudiada dentro del clima propuesto y representativo ya que completan el 98 % del total.

Las técnicas de muestreo para definir el número de casos a estudiar, pueden ser probabilísticas o no probabilísticas (Otzen y Manterola, 2017). Una muestra será o no representativa, si fue seleccionada al azar, es decir todos los sujetos de la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados en la muestra. La población accesible es el conjunto de sujetos que pertenecen a la población total que están disponibles para la investigación.

En el caso particular de esta investigación se presentó la dificultad de la necesidad de compromiso por parte de los usuarios encuestados para garantizar la devolución del equipo y su cuidado durante el estudio, como también permitir al investigador el acceso a su domicilio y contacto telefónico. Por lo que, dentro de la población total se definió una población accesible a la que el investigador podría estudiar.

Se decide en esta investigación definir la muestra según las técnicas de muestreo probabilístico aleatorio simple, la cual garantiza que todos los individuos que componen la población tienen la misma oportunidad de ser incluidos en la muestra. Esto significa que la probabilidad de selección de un sujeto “x” a estudio es independiente de la probabilidad que tienen el resto de los sujetos que forman parte de la población blanco.

Se estudiaron viviendas en el 2019, 2020 y 2021 durante los 3 meses de invierno y los 3 meses de verano. Teniendo en cuenta el equipo disponible para monitorear cada caso, se hicieron mediciones en grupos de 10 viviendas simultáneas, logrando un total máximo factible de 60 viviendas en cada periodo de cada año y proponiendo una factibilidad máxima total de 120 viviendas monitoreadas en el periodo invernal y 120 en el periodo estival. Se consideró el estudio piloto realizado en el 2019, en el que se monitorearon 24 viviendas más, haciendo un total máximo de 142 viviendas de estudio. Del número de muestra necesaria que resultó en 384 viviendas a monitorear se logró una muestra estudiada de 142 viviendas, resultando un margen de error de 8,22 %, detalladas en la tabla 11 a continuación.

Para esta investigación se definió la muestra poblacional con un nivel de confianza del 95 % y con un margen de error del 8,2 %.

Tabla 11

Relevamiento de viviendas estudiadas

Hobo	Desde	Hasta	Condición	Envolventes	Techo	Ubicación	Tipología
1299243	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	aislada	doble muro aislado	losa	periurbana	casa
1299245	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	entre medianeras	cementicio	losa	periurbana	casa
1299246	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	casa
1299247	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	entre medianeras	cementicio	losa	periurbana	casa
1299248	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	aislada	cerámico	losa colindante	céntrica	edificio
1299249	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	entre medianeras	cementicio	chapa	periurbana	casa
1299250	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	aislada	cerámico	losa	céntrica	edificio
1299251	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	aislada	ladrillo común	losa	céntrica	edificio
1299252	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrica	edificio
1299253	17/6/2019 01:00	28/7/2019 20:00	aislada	cerámico	losa	céntrico	dúplex
1299243	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	doble muro aislado	losa	periurbana	casa
1299245	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1299247	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1299248	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	cerámico	losa colindante	céntrica	edificio
1299250	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	cerámico	losa	céntrica	edificio
1299251	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	ladrillo común	losa	céntrica	edificio
1299254	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	retak	losa	periurbana	casa
1299252	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrica	edificio
1299255	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	cerámico	losa	periurbana	casa
906552	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1299256	1/1/2020 01:00	31/1/2020 23:00	aislada	ladrillo común	chapa	periurbana	casa
1299237	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1299258	26/6/2020 01:00	9/7/2020 13:00	entre medianeras	Sin datos	losa	periurbana	casa
1188471	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	aislada	cerámico	losa	pericentral	edificio
1188469	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	entre medianeras	Sin datos	losa	céntrica	edificio
1188496	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	aislada	ladrillo común	losa	céntrica	edificio
1299243	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
906552	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	aislada	cerámico	losa	pericentral	edificio
299236	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	aislada	cerámico	losa	pericentral	edificio
2013439	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188470	26/6/2020 01:00	10/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1299237	13/7/2020 20:00	23/7/2020 20:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1299258	9/7/2020 20:00	24/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188471	11/7/2020 13:00	23/7/2020 18:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188469	20/7/2020 12:00	24/7/2020 08:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrica	edificio
1188496	10/7/2020 13:00	23/7/2020 17:00	entre medianeras	ladrillo común	losa	céntrica	edificio
1299243	10/7/2020 18:00	23/7/2020 20:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
906552	10/7/2020 13:00	24/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	edificio
299236	13/7/2020 20:00	23/7/2020 18:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	casa
2013439	15/7/2020 17:00	24/7/2020 08:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	casa
1188470	13/7/2020 20:00	23/7/2020 20:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa

1299237	24/7/2020 20:00	8/8/2020 16:00	aislada	ladrillo común	losa	periurbana	casa
1299258	26/7/2020 22:00	11/8/2020 15:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188471	25/7/2020 16:00	9/8/2020 20:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188469	28/7/2020 12:00	9/8/2020 22:00	entre medianeras	cerámico	losa	periurbana	casa
1188496	26/7/2020 20:00	10/8/2020 13:00	aislada	ladrillo común	losa	periurbana	casa
1299243	25/7/2020 20:00	9/8/2020 13:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	dúplex
906552	Error						
299236	26/7/2020 15:00	9/8/2020 20:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
2013439	26/7/2020 13:00	9/8/2020 20:00	entre medianeras	ladrillo común	losa	periurbana	casa
1188470	26/7/2020 20:00	9/8/2020 20:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1299237	9/8/2020 19:00	23/8/2020 21:00	aislada	Cementicio	chapa	periurbana	casa
1299258	11/8/2020 21:00	23/8/2020 10:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188471	11/8/2020 21:00	23/8/2020 10:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188469	9/8/2020 22:00	22/8/2020 12:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1188496	10/8/2020 19:00	23/8/2020 21:00	aislada	ladrillo común	losa	periurbana	casa
1299243	9/8/2020 20:00	22/8/2020 11:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrica	edificio
906552	error						
299236	10/08/2020b 14:00	23/8/2020 11:00	aislada	Cementicio	chapa	periurbana	casa
2013439	12/8/2020 13:00	22/8/2020 17:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188470	10/8/2020 13:00	23/8/2020 23:00	entre medianeras	Cementicio	losa	periurbana	casa
1299237	error, no contarle esta quincena						
1299258	24/8/2020 11:00	7/9/2020 11:00	aislada	cerámico	losa	pericentral	casa
1188471	24/8/2020 15:00	7/9/2020 17:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188469	25/8/2020 21:00	8/9/2020 18:00	entre medianeras	cerámico	losa	pericentral	edificio
1188496	25/8/2020 21:00	8/9/2020 20:00	aislada	ladrillo común	losa	periurbana	casa
1299243	24/8/2020 11:00	7/9/2020 15:00	entre medianeras	cerámico	losa	pericentral	casa
906552	25/8/2020 21:00	8/9/2020 20:00	entre medianeras	ladrillo común	losa	periurbana	casa
299236	24/8/2020 14:00	7/9/2020 10:00	aislada	ladrillo común	losa	periurbana	casa
2013439	24/8/2020 21:00	7/9/2020 10:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188470	24/8/2020 19:00	6/9/2020 17:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1299237	6/9/2020 20:00	21/9/2020 23:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrico	edificio
1299258	8/9/2020 19:00	21/9/2020 23:00	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
1188471	7/9/2020 17:00	21/9/2020 23:00	aislada	ladrillo común	losa	céntrica	edificio
1188469	9/9/2020 19:00	21/9/2020 23:00	aislada	adobe	ladrillo	periurbana	casa
1188496	10/9/2020 18:00	21/9/2020 23:00	aislada	cerámico	losa	periurbana	casa
1299243	9/9/2020 14:00	21/9/2020 23:00	entre medianeras	Cementicio	chapa	periurbano	casa
906552	9/9/2020 19:00	21/9/2020 23:00	entre medianeras	ladrillo común	losa	periurbano	casa
299236	7/9/2020 23:00	21/9/2020 23:00	entre medianeras	cerámico	losa	céntrico	edificio
2013439	8/9/2020 18:00	21/9/2020 23:00	entre medianeras	cerámico	losa	pericentral	edificio
1188470	8/9/2020 19:00	21/9/2020 23:00	aislada	cerámico	losa	periurbana	casa

Nota: Elaboración propia

En la *tabla 12* se desglosan las características constructivas generales de las viviendas monitoreadas.

Tabla 12

Características constructivas generales de viviendas contempladas en esta investigación:

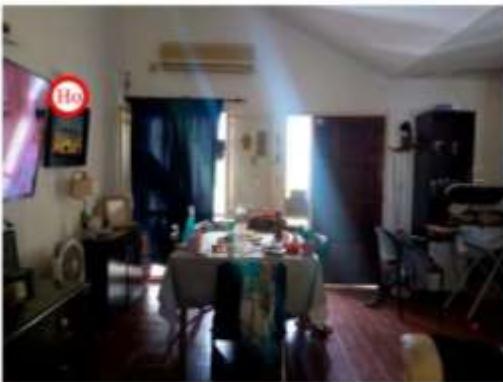
Sistemas constructivos	Mampostería Vía húmeda	Placas vía seca			
Materiales envolventes	Ladrillo hueco cerámico	Ladrillo hueco cementicio	Ladrillo macizo	Retak	<i>Steel framing</i>
Espesor de envolventes	20 cm	30 cm			
Tipo de losa	Plana	Inclinada	Mixta		
Materiales de losa	Losa con carga de pendiente	Chapa, aislante y cielorraso	Chapa sin cielorraso		
Altura de techo	2,30 m	3,00 m			
Aberturas	Chapa	Madera	Aluminio	Vidrio simple	Vidrio doble
Protecciones	Cortinas interiores	Postigos exteriores	Alero exterior		

Nota: Elaboración propia

Se expone el relevamiento gráfico de algunas de las viviendas estudiadas y ubicación del Hobo Data Logger (Ho) en cada caso:



Vivienda periférica
Planta baja
Muros de ladrillo común
Orientación Oeste
Medianeras edificadas
Losa libre
Ventilación suficiente
Postigos móviles exteriores



Vivienda periférica
Planta baja
Muros de bloque de cemento
Orientación Sur
Medianeras edificadas
Losa libre
Ventilación suficiente
Postigos móviles exteriores



Vivienda periférica
Planta baja
Muros de bloque de cemento
Orientación Sur
Medianeras edificadas
Losa libre
Ventilación suficiente
Postigos móviles exteriores



Vivienda periférica
Planta baja
Muros de bloque de cemento
Orientación Sur
Medianeras edificadas
Losa libre
Ventilación suficiente
Postigos móviles exteriores



Edificio de departamentos
Piso N° 8
Muros de ladrillo común
Orientación Este
Medianeras edificadas
Losa edificada
Ventilación suficiente
Postigos móviles exteriores



Vivienda periférica
 Planta baja
 Muros de bloque de cemento
 Orientación Sur
 Medianeras edificadas
 Losa libre
 Ventilación suficiente
 Postigos móviles exteriores



Vivienda periférica
 Planta baja
 Muros de bloque de cemento
 Orientación Sur-este
 Medianeras edificadas
 Losa libre
 Ventilación suficiente
 Postigos móviles exteriores



Edificio de departamentos
 Planta baja
 Muros de bloque cerámico
 Orientación oeste
 Medianeras edificadas
 Losa edificada
 Ventilación suficiente
 Sin protecciones exteriores



Edificio de departamentos
 Piso N° 3
 Muros de ladrillo común
 Orientación Este
 Medianeras libres
 Losa libre
 Ventilación suficiente
 Postigos móviles exteriores

4.2.2 Descripción y justificación del periodo de medición

Dadas las características del clima de Córdoba descritas anteriormente en este documento, se estudia el periodo de invierno y de verano, por ser las situaciones más representativas del clima local, donde las amplitudes térmicas llevan a experimentar condiciones más límites respecto de los rangos de tolerancia de confort.

La normativa describe un clima templado y cálido donde sería indispensable estudiar el periodo de verano, y el desarrollo de autores referentes da como resultado de los distintos diagramas un clima frío y húmedo, lo que lleva a desarrollar también el periodo de invierno; despreciando las estaciones de otoño y primavera consideradas como intermedias en cuanto a la humedad y la temperatura.

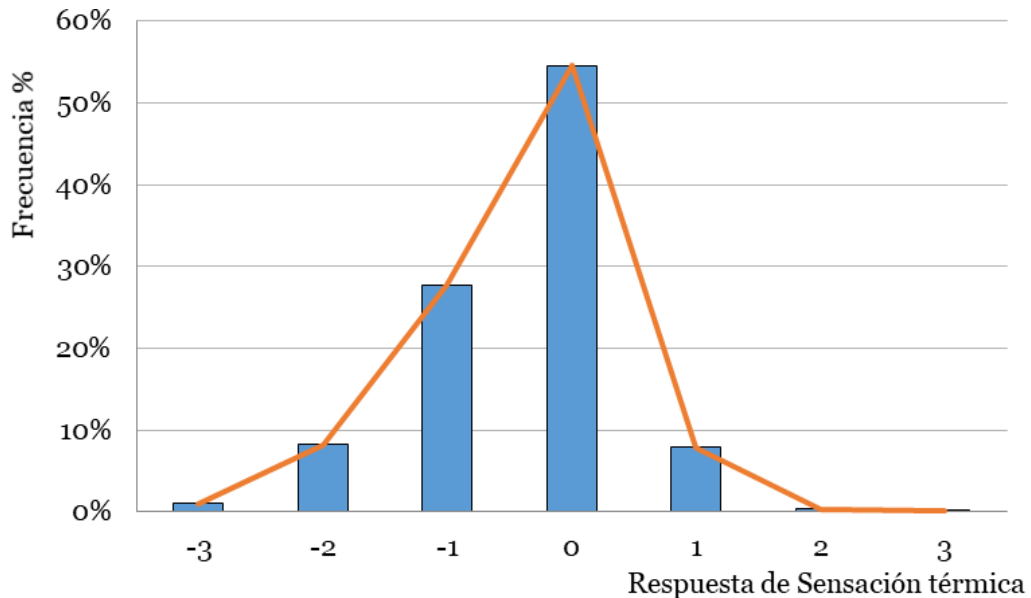
4.3 Resultados del MIST en la ciudad de Córdoba

Del estudio total del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica llevado a cabo en esta investigación, desarrollado durante los años 2019/2020 y 2020/2021 y en el que se estudiaron las viviendas con sus usuarios, se alcanzaron los resultados expuestos a lo largo de este título.

Al vincular las condiciones de temperatura monitoreadas en las viviendas y las valoraciones de los usuarios, obtenemos un gráfico de dispersión que muestra en ambas etapas de medición la mayoría de las valoraciones en confort. En invierno las valoraciones tienden a la sensación de un poco de frío y frío y en verano las condiciones de confort tienden a la sensación de un poco de calor y calor, resultados lógicos y esperados para ambos periodos (figuras 34 y 35).

Figura 34

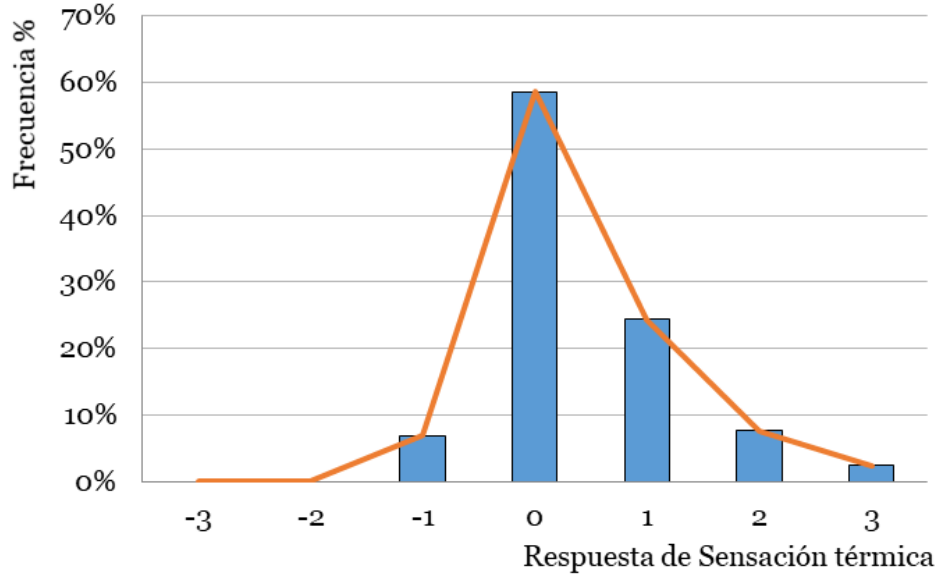
Histograma de distribución de las respuestas en invierno para cada nivel de sensación térmica y campana de Gauss resultante.



Nota: Elaboración propia

Figura 35

Histograma de distribución de las respuestas en verano para cada nivel de sensación térmica y campana de Gauss resultante



Nota: Elaboración propia

En los gráficos anteriores que distribuyen la frecuencia de valoraciones durante el periodo de invierno y de verano, la curva que definen ambos histogramas, tanto en invierno como en verano, dan la certeza de que los datos están bien distribuidos y por consiguiente los resultados del estudio son válidos, por lo tanto, confiables.

Tabla 13

Resumen de Tco para invierno y verano según norma, estándares adaptativos y MIST

	Temperatura °C	HR %	Temperatura °C	HR %
ASHRAE:55	24 – 25		21 - 22	
EN UNE	26 – 27		21.8 – 23.4	
IRAM 11 603	24 - 26 – 27	50 - 55	21 -20 – 18	50 - 55
MIST				
95 % conformidad	24	-31	14.2 – 24.8	
68 % conformidad	25.7 – 29.2		17 – 22.2	

Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos a través del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica arrojan resultados que difieren en relación tanto de los estándares adaptativos utilizados, como de la norma de referencia utilizada en la construcción (tabla 14). Las condiciones de confort valoradas por los usuarios de las viviendas monitoreadas, para el 95 % de conformidad, son más cálidas en verano y más frías en invierno. Condiciones que tienen que ver con las temperaturas exteriores, demostrando que los usuarios tienden a adaptarse a las condiciones interiores en función de las variaciones estacionales exteriores.

Por otro lado, esta diferencia en relación a la normativa de referencia indica que podría considerarse un ahorro significativo de energía en acondicionamiento, dado que la valoración de los usuarios es menos exigente que la norma y los estándares adaptativos.

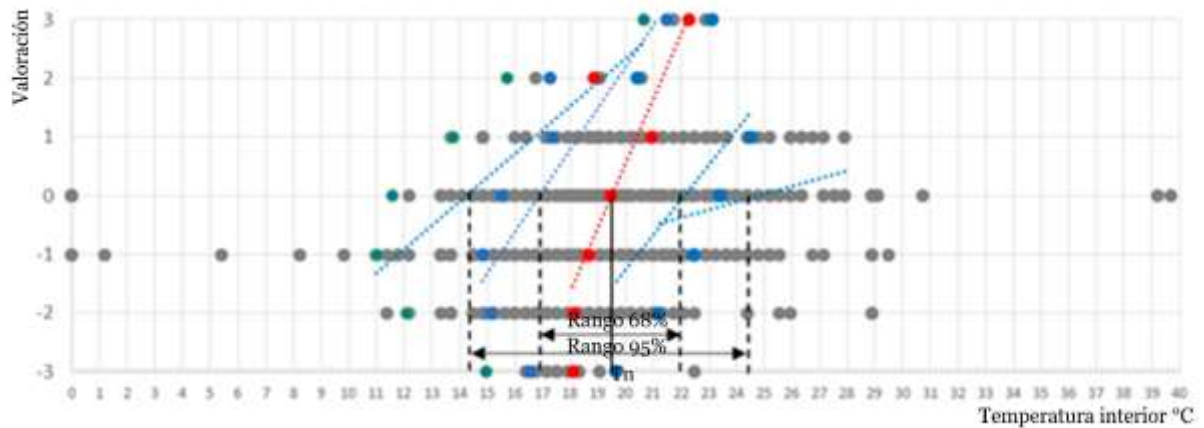
4.4 Definición del rango de confort valorado por los usuarios en viviendas de Córdoba

4.4.1 Rango de confort en invierno

Para lograr los resultados se estudiaron viviendas durante el invierno 2019 y 2020, con un alcance total de 1128 datos (figura 36). Se consideran datos a las encuestas vinculadas a condiciones interiores monitoreadas.

Figura 36

MIST Invierno 2019/2020

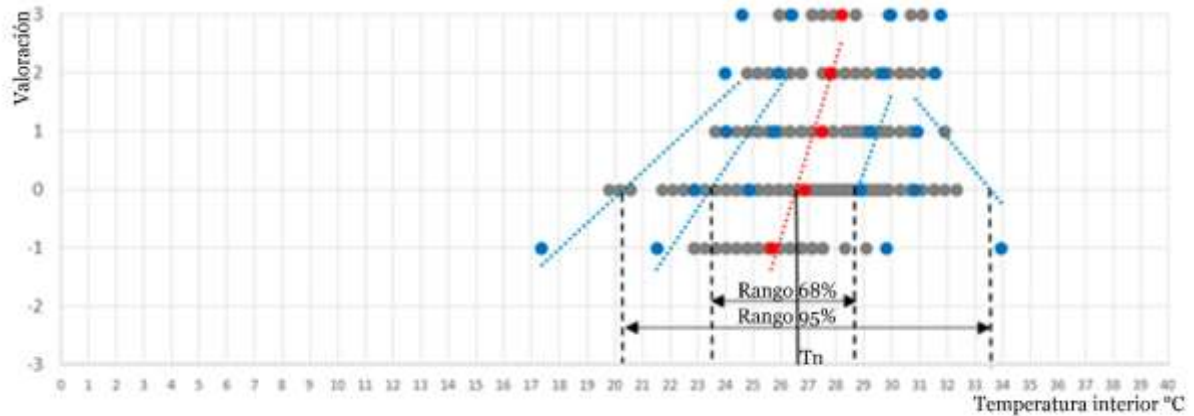


Nota: Gráfico de dispersión de los datos obtenidos, cada punto expresa una valoración de un usuario en una condición térmica medida por el Hobo, elaboración propia.

Tc MIST	19,60 °C
Rango 68%	17,00 °C a 22,20 °C
Rango 95%	14,40 °C a 24,50 °C

4.4.2 Rango de confort en verano

Para lograr los resultados se estudiaron viviendas durante los periodos de verano del año 2019/20 y 2020/21, con un alcance total de 626 datos (figura 37). La cantidad de datos obtenidos en ambos periodos, dependió de la respuesta de los usuarios en el momento de la medición. En el período de verano el número de respuestas fue menor, probablemente por el tiempo de permanencia de los usuarios en los espacios interiores, lo que influyó en el tamaño de la muestra alcanzada. Se consideran datos a las encuestas vinculadas a condiciones interiores monitoreadas.

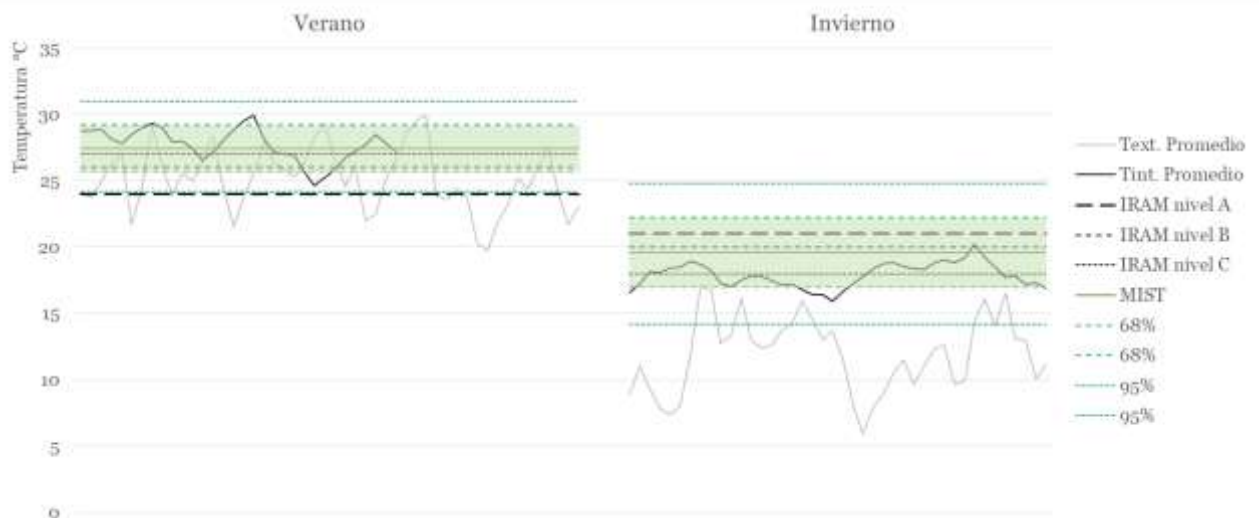
Figura 37*MIST verano 2019/2020*

Nota: Gráfico de dispersión de los datos obtenidos, cada punto expresa una valoración de un usuario en una condición térmica medida por el Hobo, elaboración propia.

Tc MIST	26,8 °C
Rango 68%	23,50 °C a 28,80 °C
Rango 95%	20,40 °C a 33,60 °C

4.4.3 Relación entre rango de confort elegido por los usuarios y variaciones del clima exterior

Con los resultados obtenidos del estudio realizado se pudieron promediar las temperaturas interiores obtenidas en las diferentes viviendas, independientemente de la utilización de acondicionamiento mecánico adicional el objetivo era conocer las condiciones térmicas en las que los usuarios residenciales de la ciudad de Córdoba capital habitan sus viviendas. Estas condiciones se compararon con las exteriores del mismo periodo de tiempo en la figura 38. De esta forma se puede comprobar que, durante ambos períodos estacionales, las variaciones diarias exteriores son tan grandes como se indica en la normativa.

Figura 38*Condiciones exteriores monitoreadas en relación a las T_n valoradas según MIST*

Nota: Elaboración propia

Los espacios residenciales en general mantienen una inercia térmica, favoreciendo la temperatura interior dentro del rango de confort establecido por los usuarios según la sensación térmica. Sobre todo, en el periodo de invierno, las condiciones requeridas por la norma IRAM para espacios acondicionados, son varios grados más exigentes que las valoraciones de los usuarios, requiriendo más energía para alcanzarla y mantenerla. Las valoraciones resultantes de este estudio consideran una temperatura de confort equivalente a la mínima requerida por la norma como confortable.

Si se considera que el método que tiene en cuenta las valoraciones y capacidad de adaptación de los usuarios determina un rango de confort, en lugar de un valor único de temperatura como considera la Norma IRAM, se mejora sustancialmente la exigencia requerida de la arquitectura y de los medios de acondicionamiento mecánico.

En el país, se considera de aplicación no obligatoria la norma IRAM, pero dicha norma propone condiciones de confort considerando que los espacios interiores están acondicionados mecánicamente. El uso de la norma IRAM se generalizó, pero en las regiones templadas no es generalizado el uso de acondicionamiento mecánico todo el año, y la mayor parte de este, no es necesario. ¿Cuán útiles son estos rangos en los climas templados donde las condiciones de casi todo el año son benévolas? Se toma de referencia un valor de confort uniforme para los espacios interiores que no corresponde con las necesidades de los climas templados.

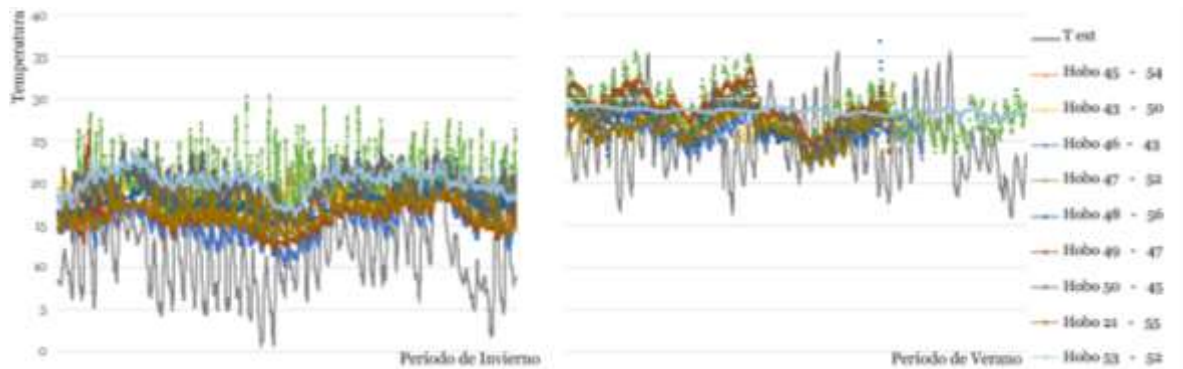
4.4.4 Propuesta metodológica de análisis residencial bajo el concepto del confort adaptativo

Los modelos adaptativos, aunque se adaptan a las variaciones externas, son más exigentes que la norma local, sobre todo en invierno. Esta norma local propone niveles lineales óptimos considerando que los espacios cuentan constantemente con climatización mecánica, por lo que son imposibles de alcanzar y sostener en climas con amplitudes térmicas como la ciudad en estudio. La temperatura de confort valorada por los usuarios es en ambos periodos menos exigente que los niveles óptimos y medios recomendados por la normativa local. También menos exigentes que los modelos adaptativos. Recomendar un rango en lugar de un valor, permite la participación activa de la adaptación de la arquitectura y los usuarios para conseguir confort.

En la arquitectura residencial de la ciudad de Córdoba no se presta especial atención en las estrategias de climatización natural o en la adaptación y utilización de las condiciones climáticas para mejorar la temperatura interior. Al ser un clima benévolo, las pautas de diseño no son del todo claras ni exigentes para aprovechar las variaciones térmicas exteriores en los periodos más extremos.

Se presenta el estudio de las viviendas monitoreadas durante el invierno y verano del año 2019 para detectar las mejores respuestas al clima local y las estrategias de climatización utilizadas comúnmente por los usuarios en la arquitectura residencial. La figura 39 muestra las condiciones monitoreadas durante los periodos estudiados durante el 2019. En ambos casos se puede decir que todas las viviendas se mantienen en un rango de temperaturas y que este acompaña las variaciones exteriores. Pero tanto en invierno como en verano, hay un grupo de viviendas que responden mejor ante las mismas condiciones exteriores. Es entonces cuando surge la necesidad de investigar cuáles son estas diferencias que hacen que se comporten mejor en este clima.

Viviendas monitoreadas en el 2019 y temperaturas exteriores 2019.
Periodos de medición: invierno y verano



Nota: Elaboración propia.

En el invierno las viviendas que mejor respondieron a las condiciones exteriores fueron las que se detallan a continuación en la figura 40 y tabla 14.

Tabla 14

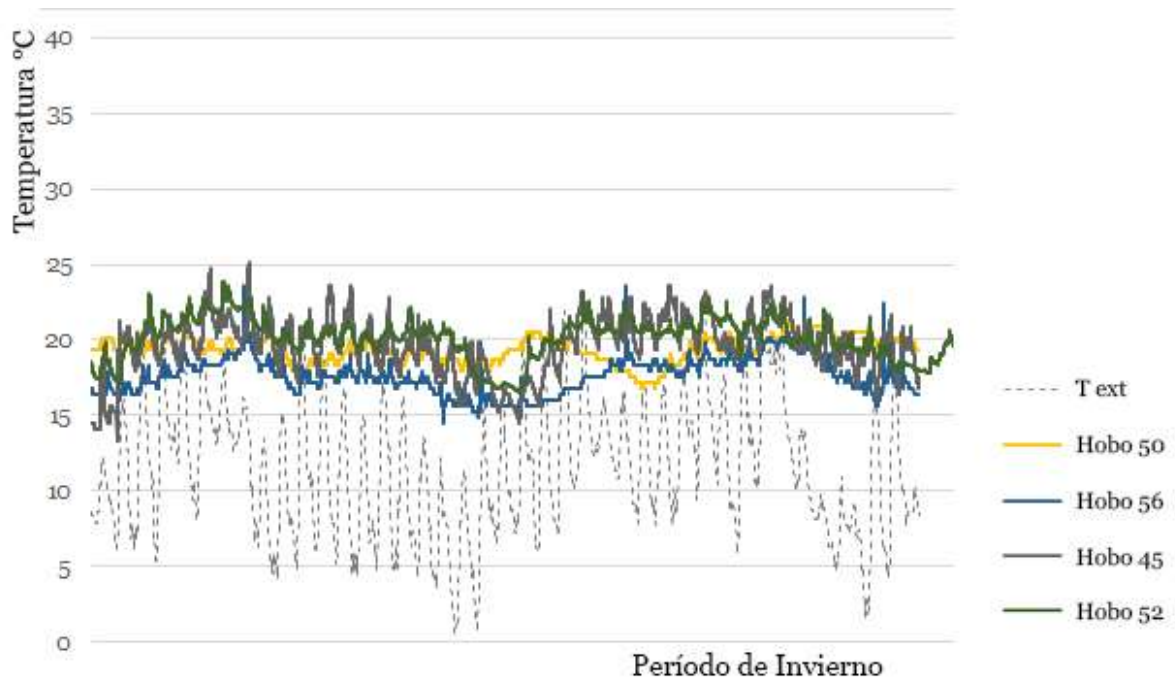
Tipologías monitoreadas con mejor respuesta en invierno

Sensor N°	Tipo	Construcción	Orientación
52	Vivienda unifamiliar aislada	Doble muro de ladrillo común, con aislación térmica	Orientación este
45	Departamento en el centro de la ciudad	Muro simple de ladrillo común	Orientación oeste
50	Departamento en el centro de la ciudad	Muros de bloque cerámico y medianeras libres	Orientación norte
56	Departamento dúplex	Muros de bloque cerámico y medianeras colindantes con edificaciones	Orientación oeste

Nota: Elaboración propia

Figura 40

Viviendas que mejor respuesta tuvieron en el periodo de invierno.



Nota: Elaboración propia

En el verano las viviendas que mejor respondieron a las condiciones exteriores fueron las que se describen en la figura 41 y tabla 15. De las 5 viviendas que mejores condiciones mantienen durante el período de verano del 2019, una está acondicionada de forma casi constante durante el período de medición. En la figura 41, se visualiza una medición correspondiente al Hobo 52 con temperatura casi constante, a pesar de las grandes variaciones térmicas exteriores. Este tipo de situaciones, insumen gran cantidad de energía eléctrica en climas templados con grandes amplitudes térmicas.

Tabla 15

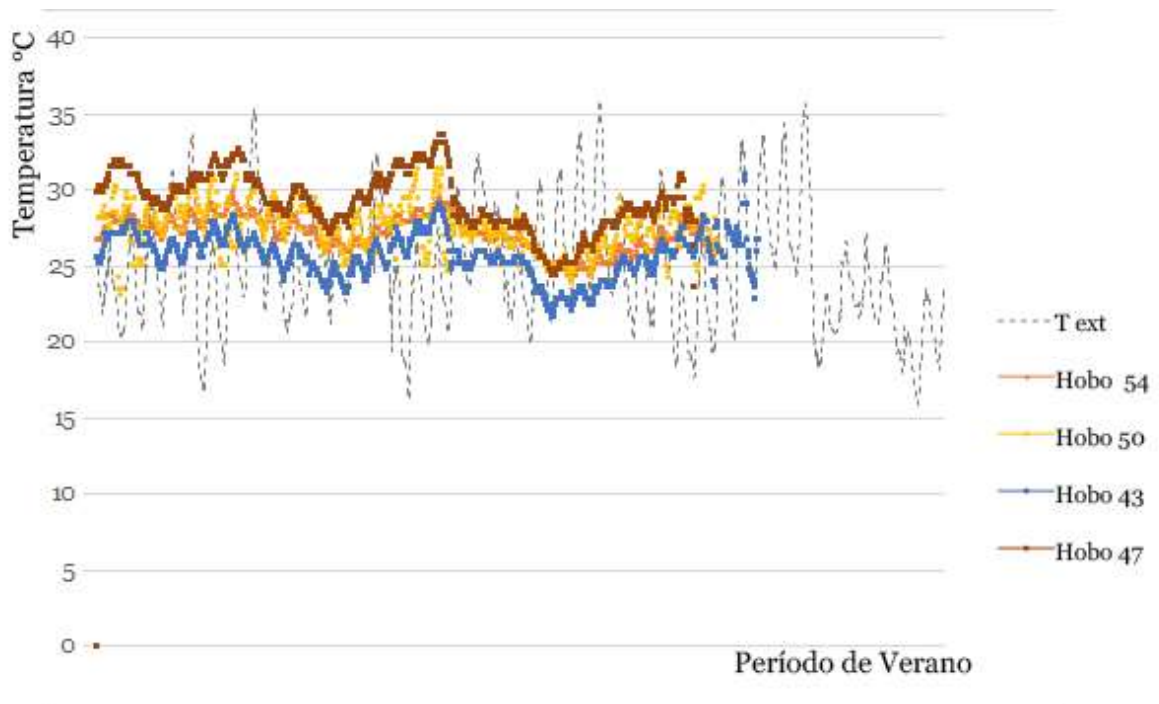
Tipologías monitoreadas con mejor respuesta en verano

Sensor N°	Tipo	Construcción	Orientación
43	Vivienda unifamiliar aislada	Doble muro de ladrillo común, con aislación térmica	Orientación este
47	Vivienda unifamiliar de una planta	Techos altos inclinados de losa, muros de bloque cementicio de 20 cm.	Orientación sur y norte
50	Departamento en el centro de la ciudad	Muros de bloque cerámico y medianeras libres	Orientación norte
54	Vivienda unifamiliar aislada	Doble muro de ladrillo común con aislación. Aberturas DVH	Orientación oeste

Nota: Elaboración propia

Figura 41

Viviendas que mejor respuesta tuvieron en el periodo de verano.

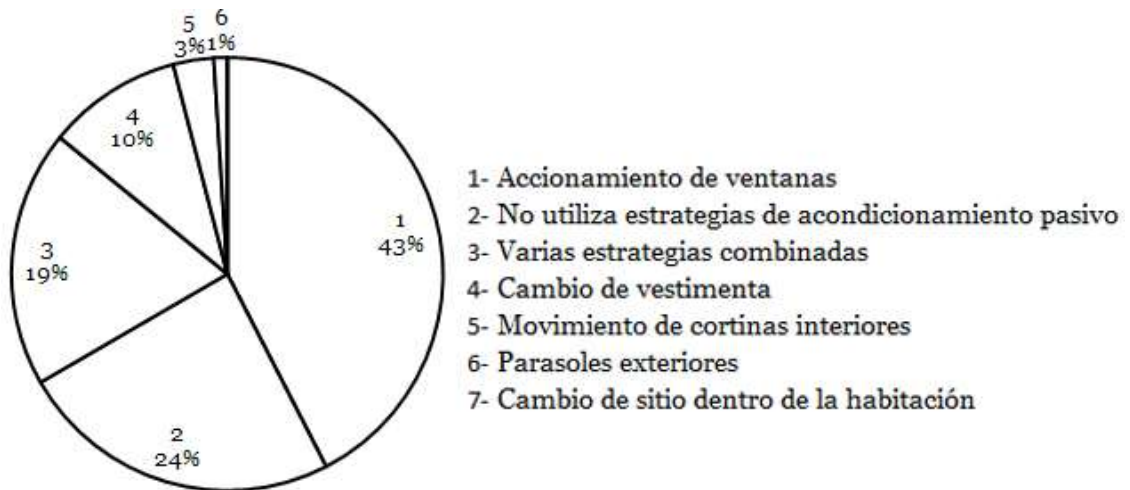


Nota: Elaboración propia

Las viviendas de mejor respuesta, no coincidieron en ambos periodos de medición. Solo una de ellas correspondiente al Hobo 43 tuvo un comportamiento notable en ambos periodos de medición. Corresponde a una vivienda unifamiliar aislada, construida con doble muro de ladrillo común con aislación térmica intermedia y orientación este.

Figura 42

Estrategias de acondicionamiento utilizadas en el verano en las viviendas estudiadas



Nota: Elaboración propia

Dentro del mismo estudio, una de las preguntas en el periodo de verano fue sobre cuáles mecanismos de acondicionamiento se utilizaban como alternativa al acondicionamiento mecánico. Como se observa en la figura 42, las estrategias utilizadas por los usuarios son generalmente accionamiento de ventanas, cambio de vestimenta, varias combinadas o ninguna, en este último caso, muchas veces se estaba utilizando algún acondicionamiento mecánico.

La posibilidad que tiene la arquitectura de mejorar el rendimiento a través de las envolventes para favorecer las condiciones interiores y consumir menos energía en climatización es lo que se estudia en esta investigación. Las envolventes dobles de ladrillo común con aislación intermedia, son las de mejor respuesta en ambos periodos, mostrando una inercia y estabilidad térmica superior, que favorece que el interior se conserve más cálido en invierno y más fresco en verano que la media residencial.

Los edificios de departamentos en general son de mampostería de bloque cerámico o de ladrillo común, pero se destaca un mejor rendimiento en aquellos con orientación norte y oeste para invierno y la orientación norte en verano. En verano, las viviendas de techos de losa, altos e inclinados, tienen una mejor respuesta que la media.

Se estudia la posibilidad que tiene la arquitectura de mejorar el rendimiento a través de las envolventes para favorecer las condiciones interiores y consumir menos energía en climatización. Establecer un rango de confort en el que intervenga el factor de la valoración de los usuarios no se suele tener en cuenta, pero se describe a lo largo del capítulo 4 la importancia que tiene este factor en los climas templados que además cuentan con grandes amplitudes térmicas. Esto favorece al desarrollo de la capacidad de adaptación de las personas a las variaciones climáticas diarias.

Si bien este método no propone estrategias de diseño para alcanzar confort, a través de un análisis de las viviendas que mejor funcionan, y de las encuestas realizadas a los usuarios donde se tiene en cuenta la valoración del ambiente térmico como también la preferencia, tolerancia y aceptación del mismo, se llega a una serie de alternativas de diseño que podrían ayudar a reducir el uso de mecanismos de acondicionamiento mecánico.

El estudio demuestra que los aspectos que mejoran el rendimiento de algunas viviendas sobre otras son consideraciones de poco impacto económico, pero de mucho impacto en el confort interior de la vivienda, es decir, energético. Concluyendo en que, si se prestara especial atención a algunas pautas de diseño, como la materialidad de las envolventes, orientación y la posibilidad de accionar ventanas de forma manual, podría reducirse significativamente el uso de energía del sector residencial.

Principales estrategias sugeridas para climas templados con gran amplitud térmica

- Ventanas operables para ventilación cruzada en verano.
- Protecciones exteriores móviles en ventanas para favorecer las radiaciones invernales, pero evitar las estivales.
- Combinación del uso de muros con aislamiento resistivo con muros con aislamiento capacitivo (inercia térmica) de manera equilibrada y criteriosa de acuerdo a las orientaciones.
- Favorecer orientación norte y oeste para los aventanamientos.

Rangos de confort y valoraciones subjetivas, aplicados al clima de Córdoba



Capítulo 5. Rangos de confort y valoraciones subjetivas, aplicados al clima de Córdoba

La arquitectura cuenta con herramientas y estrategias claras y concretas para alcanzar el confort en condiciones extremas, como lo son los climas fríos o cálidos. Pero en los climas intermedios o templados la situación es diferente, las condiciones son buenas la mayor parte del tiempo y depende del usuario, de su adaptación y la posibilidad de las envolventes para dar confort interior a los habitantes. Es realmente importante conocer el rango de confort que se pretende alcanzar en los espacios interiores, sobre todo los residenciales, para poder determinar qué estrategias resultan favorables.

En la construcción en la ciudad de Córdoba no se considera obligatorio aplicar ninguno de los estándares ni rangos anteriormente mencionados, siendo el único considerado desde la academia y los cálculos de acondicionamiento mecánico es el que propone la norma IRAM. Los rangos propuestos por IRAM como óptimos, medios o mínimos son de alcance nacional pero no obligatorio, y están destinados a espacios habitables interiores climatizados mecánicamente, ya sea aire acondicionado o calefacción. Los estándares adaptativos ASHRAE:55 y EN UNE 15.251 se adaptan a las variaciones exteriores y son de alcance internacional, pero pocas veces utilizados en Argentina.

5.1 Aplicación de diagramas bioclimáticos al clima de Córdoba

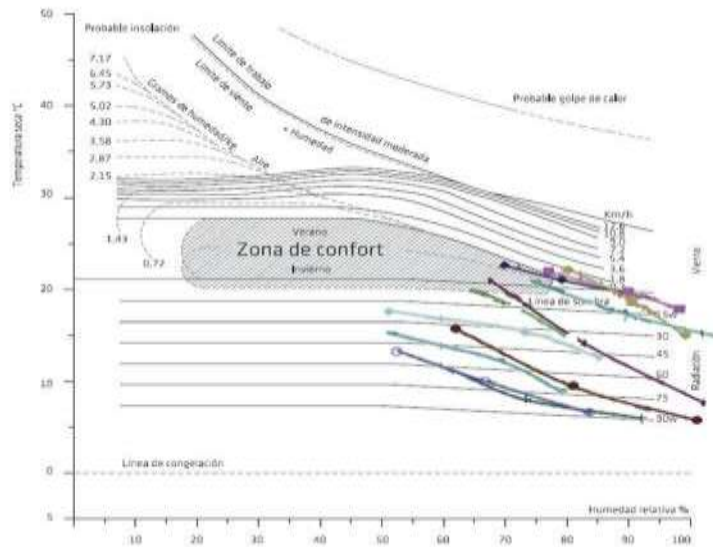
En los procesos de diseño bioclimáticos habituales, las metodologías consideradas para saber qué estrategias deben implementarse en un tipo de clima para alcanzar el confort son el diagrama psicrométrico de Givoni y la carta bioclimática de Olgyay. La desventaja que tienen ambas es que en primer lugar que son antiguas y probablemente difieran con las necesidades de confort actuales. En segundo lugar, las recomendaciones de diseño que proponen son muy simplificadas y no resuelven el problema de confort local. Se elaboraron los diferentes diagramas con los datos de la central meteorológica de Córdoba de 10 años, desde el 2007 al 2017 y se analizaron sus resultados y estrategias propuestas en cada caso.

5.1.1 Diagrama de Olgyay

En el diagrama de Olgyay que se muestra en la figura 43, se observa que los datos de temperatura y humedad media mensuales de la ciudad de Córdoba durante casi todos los meses del año se mueven en una zona más fría y más húmeda que la delimitada por la zona de confort, quedando dentro de la zona de condiciones esperadas solo una pequeña porción de los meses de abril y mayo.

Figura 43

Diagrama de Olgay teniendo en cuenta datos medios mensuales de temperatura y humedad de Córdoba desde 2007 hasta 2017



Nota: Adaptado de Software desarrollado por el Arq. G. Gonzalo

En este caso, se sitúan las condiciones del clima de Córdoba como un clima frío y húmedo, y propone estrategias para alcanzar confort la mayor parte del año. Es necesario aclarar aquí que las recomendaciones de diseño en este caso son muy escuetas. Este gráfico propone 4 formas de alcanzar confort dependiendo del clima que se esté analizando. Estas estrategias se visualizan a partir de líneas donde el confort se pierde.

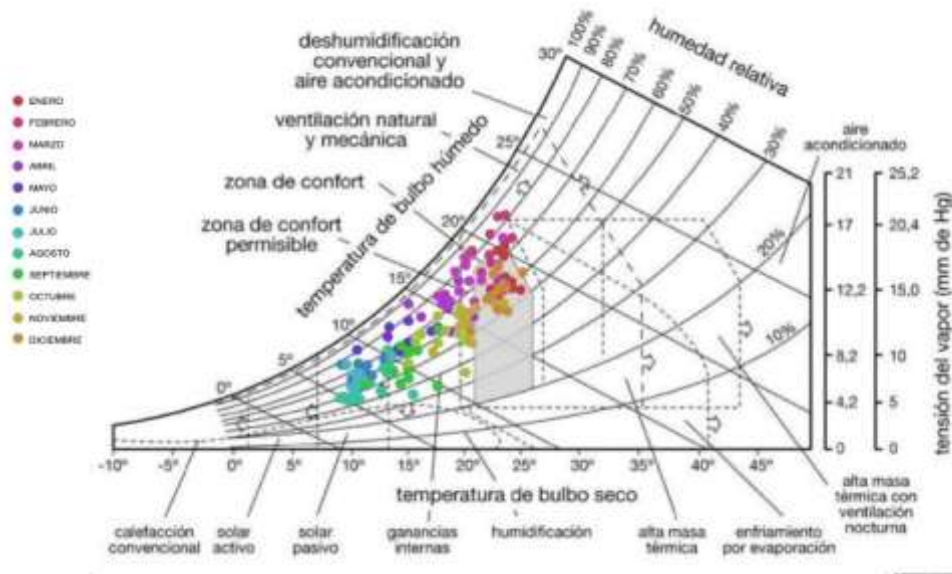
La radiación expresada se sitúa en el límite inferior de la zona de confort y con ella se dibuja la línea de sombra o límite a partir del cual el confort se pierde como consecuencia del frío. El viento se representa por una líneas creciente con la temperatura y decrecientes con la humedad. La línea de congelación aparece en el borde inferior del gráfico e indica la temperatura mínima soportable antes de que aparezcan problemas de congelación en los miembros. La línea de insolación, en la parte superior, indica posibles desmayos por la combinación de altas temperaturas y elevada humedad. En el caso de Córdoba, la única estrategia que podría utilizarse según este gráfico es “radiación.:

5.1.2 Diagrama de Givoni

En el diagrama bioclimático desarrollado por Givoni (1981) de la figura 44, donde las variables consideradas son también temperatura y humedad media mensual, el área donde se mueven las condiciones registradas en Córdoba durante los últimos 11 años, demuestra condiciones más frías y más húmedas que las consideradas confortables para la mayoría de las personas, quedando casi todo el tiempo fuera de la zona esperada incluso el verano por los altos valores de humedad relativa.

Figura 44

Ábaco psicrométrico con datos medios mensuales desde el 2007 al 2017 inclusive



Nota: Elaboración propia a partir del Ábaco psicrométrico de Givoni

A diferencia de Olgyay, Givoni en el ábaco psicrométrico sugiere 14 estrategias posibles para alcanzar el confort, dependiendo de las condiciones del sitio en estudio y también resultan diferencias entre periodos de invierno y verano. En el caso de Córdoba, da como resultado un clima frío y húmedo (línea de puntos en la figura 44).

Recomendaciones de diseño propuestas por Givoni:

Invierno:

- Sistemas solares pasivos
- Ganancias internas

Verano:

- Masa térmica y ventilación nocturna
- Protección solar
- Ventilación natural o mecánica

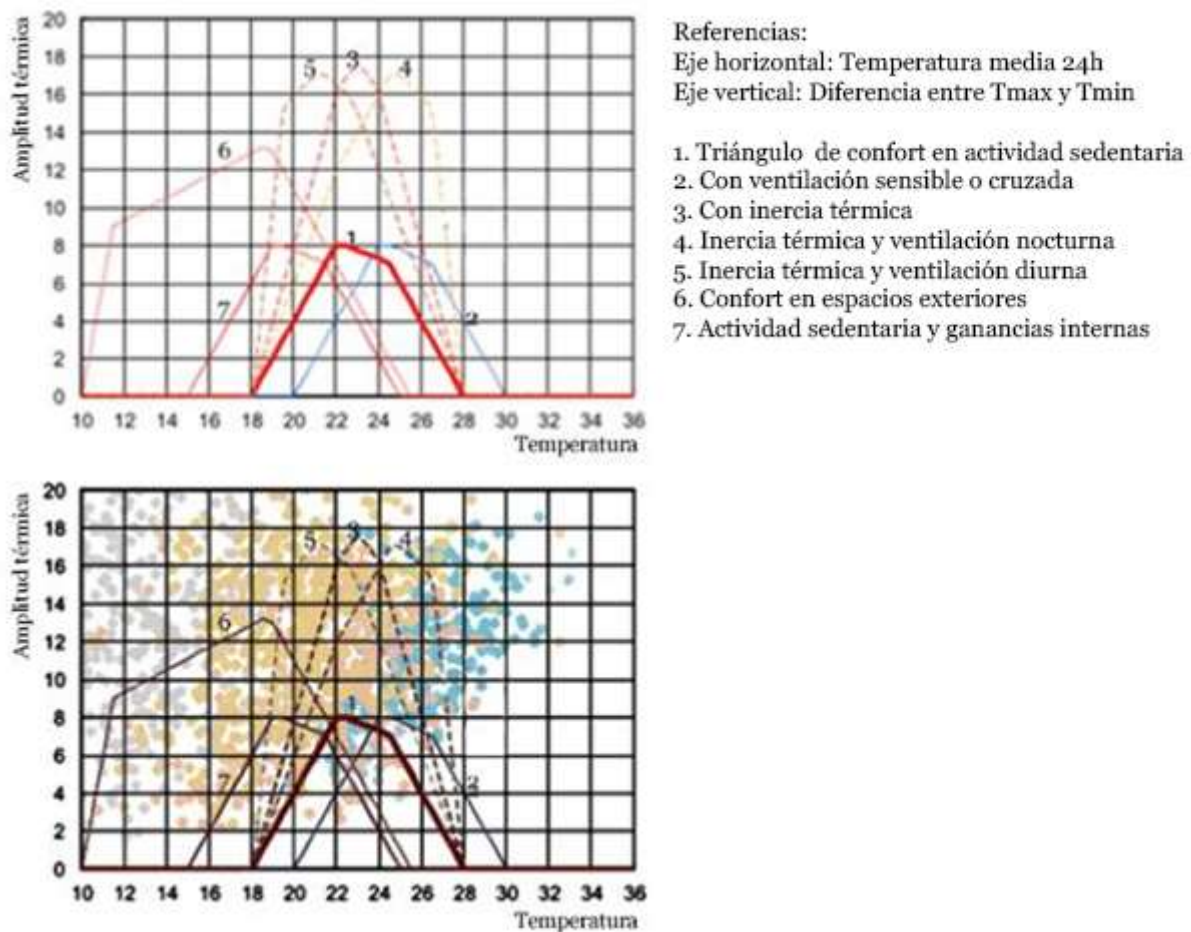
Como se ve a simple vista, este diagrama da una respuesta mucho más acertada y tiene la gran ventaja de poder identificar las recomendaciones para cada mes en análisis.

5.1.3 Triángulos de confort de Evans

El último de los tres diagramas considerados dentro del marco teórico, el diagrama de los triángulos de confort propuesto por Evans (figura 45), se observa como factor fundamental para considerar que las amplitudes son mucho mayores a las admitidas como confortables por el autor, siendo también las temperaturas interiores más frías.

Figura 45

Triángulos de confort de Evans. Temperaturas y amplitudes diarias de Córdoba 2007/2017 de enero/abril/julio/octubre



Nota: Elaboración propia a partir de los triángulos de confort de Evans

Según el diagrama de los triángulos de confort elaborado por Martin Evans, el clima de Córdoba queda definido como frío y con gran amplitud térmica. La gran ventaja de este diagrama en relación a los anteriores, es que toma en cuenta la amplitud térmica, característica que en el clima en estudio juega un rol fundamental. Además, agrega en consideración la actividad que se encuentra realizando el usuario en cuestión, es decir que se puede diferenciar la necesidad de confort para los diferentes espacios interiores residenciales.

Recomendaciones propuestas por los triángulos de confort:

- Inercia térmica
- Inercia térmica y ventilación nocturna en meses de verano
- Inercia térmica y ventilación diurna en meses de otoño y primavera
- Confort en espacios exteriores en periodos invernales
- Algunos casos sobre todo en invierno, ganancias internas.

5.1.4 Estrategias de diseño propuestas por los diagramas de confort desarrollados

Según los datos obtenidos de la Central Meteorológica Nacional (desde 2007 al 2017 inclusive) y los diagramas elaborados a partir de esta información se describen las estrategias propuestas para el clima de Córdoba (tabla 16).

Olgyay:

Sitúa las condiciones del clima de Córdoba como un clima frío y húmedo y propone estrategias como la radiación para alcanzar el confort la mayor parte del año.

Givoni:

El clima definido en las condiciones de Córdoba es frío y húmedo. Propone estrategias como sistemas solares pasivos, masa térmica, radiación, calefacción y ventilación adicional para alcanzar el confort.

Evans:

El clima de Córdoba queda definido como frío y con gran amplitud térmica. Propone estrategias como ganancias solares, ganancias internas e inercia térmica para alcanzar el confort la mayor parte del año.

Tabla 16

Resumen de autores estudiados, zona de confort establecidas por cada uno, definición del clima y estrategias propuestas para alcanzar el confort en la ciudad de Córdoba

	Confort verano		Confort invierno		Principales estrategias sugeridas
	Temp. °C	HR %	Temp. °C	HR %	
Olgyay	21,5 - 27,5	30 - 65	20 - 24	30 - 60	Radiación
Givoni	18 - 23	20 - 80	21 - 26	20 - 80	Masa térmica / radiación / calefacción adicional/ ventilación adicional
Evans	18 - 28	Amplitud térmica 8 °C	18 - 28	Amplitud térmica 8 °C	Ganancias solares - ganancias internas - inercia térmica

Nota: Arrieta y Maristany, 2019

Como se expresa en la tabla 16, las estrategias que proponen los diagramas para la zona caracterizada por clima templado cálido son variables. Para que los recursos utilizados sean válidos y útiles se deberían tomar parámetros más concretos y acordes a la realidad de la ciudad. Por otro lado, y teniendo en cuenta las grandes amplitudes térmicas que caracterizan el clima de Córdoba, se encuentran los modelos adaptativos de alcance internacional, aunque no son considerados de referencia en la construcción de Córdoba, pero es interesante la consideración que hacen sobre las variaciones de temperatura en el exterior para determinar el confort interior.

5.2 Aplicación de estándares al clima de Córdoba y justificación crítica.

En términos generales, el clima de la ciudad de Córdoba es templado moderado con 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 y en el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas e incluso granizo.

Por otra parte, dada su mediterraneidad, las variaciones o amplitudes térmicas son mayores que en la Costa Atlántica, siendo además menor la precipitación anual, con una caída 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 y dada la extensión del conurbano, existe una

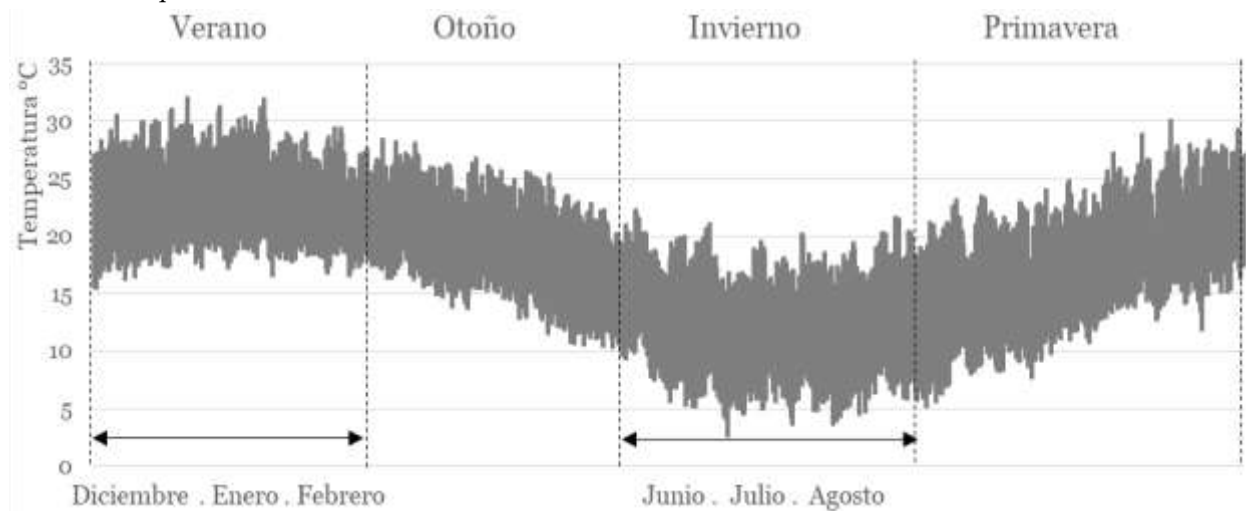
diferencia de 5 °C o más entre el área céntrica y la periferia. El área céntrica densamente edificada y ubicada en una depresión es el núcleo de una importante isla de calor (Maristany, *et al.*, 2008).

La ciudad de Córdoba tiene características climáticas afectadas por condiciones geográficas y urbanas particulares. Tiene dos estaciones en el año donde las condiciones exteriores distan más de aquellas valoradas como confortables por las personas, el invierno y el verano. Por otro lado, los estándares internacionales mencionados, ASHRAE 55 (ASHRAE Standard 55, 2004) y EN UNE 15.251 (UNE-EN 15.251, 2008) afirman que la aplicación de modelos de confort adaptativos es aplicable a aquellos espacios que tiendan a sobrecalentarse (Muñoz Godoy, 2012). Es por ello que se considera como periodo de estudio tanto el verano como el invierno.

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 46).

Figura 46

Gráfico de temperaturas anuales de Córdoba Capital 2007/2017 y los periodos de medición seleccionados para el caso de estudio.



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de la Estación Meteorológica del Observatorio Córdoba.

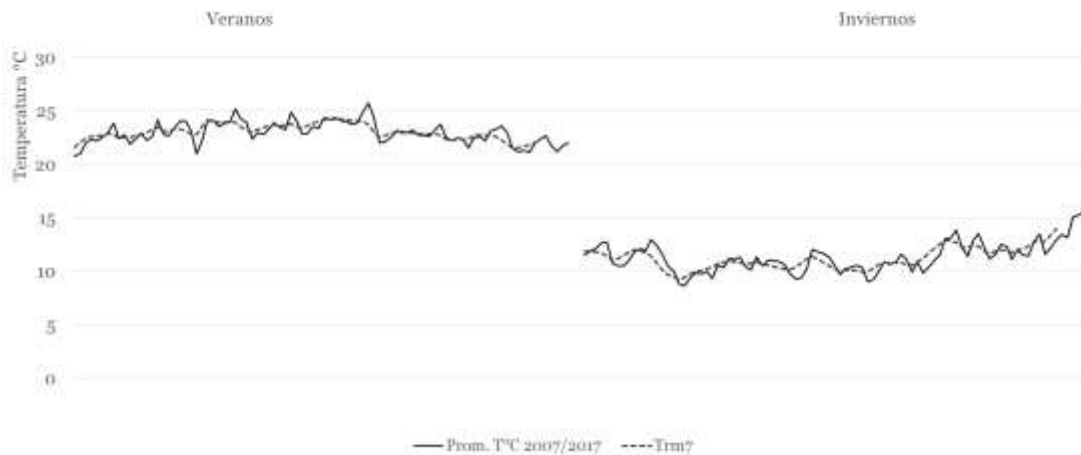
En la figura 47 se grafican el invierno y el verano, los dos periodos de tiempo más representativos en la ciudad de Córdoba. La primavera y el otoño son épocas de transición, caracterizadas por buenas condiciones térmicas. En la figura 47 se visualizan las variaciones de la $Trm7^2$ (tenida en cuenta para los cálculos de T_c en la norma EN-UNE 15.251) y su tendencia comparada con las temperaturas exteriores.

² $Trm7 = (Dia\ 1 + 0,8 * Dia\ 2 + 0,6 * Dia\ 3 + 0,5 * Dia\ 4 + 0,4 * Dia\ 5 + 0,3 * Dia\ 6 + 0,2 * Dia\ 7) / 3,8$

Se considera así, el promedio ponderado de la temperatura exterior diaria de los siete días anteriores al día considerado.

Figura 47

Variaciones de la T_{rm7} y temperatura media exterior para Córdoba en invierno y verano respectivamente

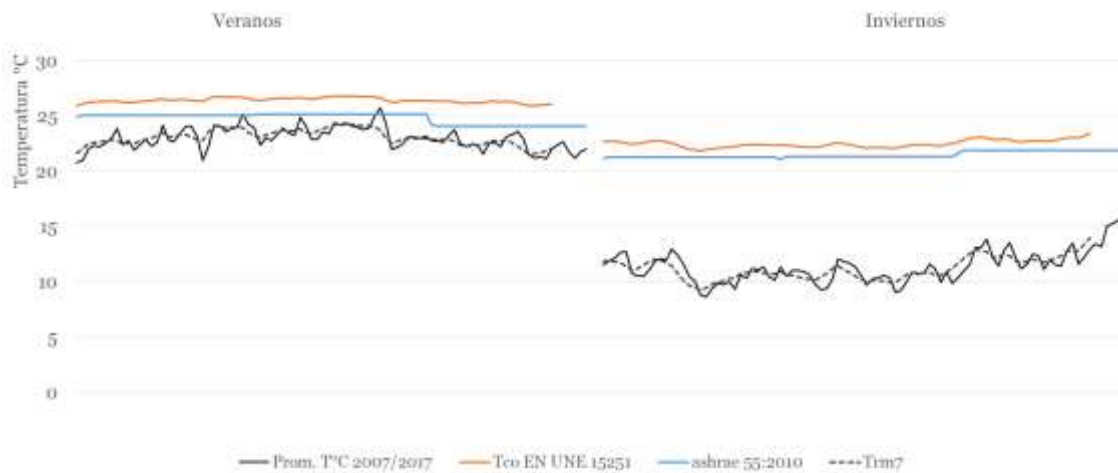


Nota: Elaboración propia

A partir de los valores de T_{rm7} y T_{ref}^3 , se calculó la temperatura de confort operativa para el verano e invierno de Córdoba de acuerdo a las ecuaciones que proponen los dos estándares (ISO 15 251 y ASHRAE), se grafican los resultados en la figura 48.

Figura 48

Variaciones del promedio de la T_{co} en relación a los dos modelos de confort adaptativo considerados, en invierno y verano respectivamente



Nota: Elaboración propia

Durante el periodo invernal las temperaturas exteriores se mantienen más alejadas de las T_{co} adaptativas propuestas por ambos estándares, por lo que se transforman en los meses más difíciles de resolver a través de medios pasivos. En el verano las temperaturas exteriores se mantienen cercanas a los estándares adaptativos, demostrando que este periodo es menos dependiente de los mecanismos de acondicionamiento que el invernal.

La norma IRAM 11.659-1, (2004)⁴, establece los datos necesarios para determinar la carga térmica de refrigeración, utilizados en los métodos de cálculo y el ahorro de energía en

³ T_{ref} = Temperatura exterior promedio de 7 a 30 días antes del día en cuestión

⁴ IRAM 11 659-1, (2004) "Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas, y ahorro de energía en refrigeración"

verano. La norma IRAM 11.604 (2000)⁵, establece los datos necesarios para el cálculo de ahorro energético en locales calefaccionados en invierno. Ambas son de alcance nacional, establecen tres niveles de confort en los que las personas se sienten cómodas y pretenden que los espacios interiores alcancen condiciones mínimas, medias u óptimas a través del acondicionamiento mecánico eficiente en todo el país. Pero esta normativa no considera el acondicionamiento adaptativo, propone parámetros lineales en locales acondicionados de forma mecánica.

Los niveles de confort recomendados por IRAM para verano en viviendas y locales habitables se establecen en 24 °C (nivel A: recomendado), 26 °C (nivel B: medio) y 27 °C (nivel C: mínimo), con rangos de HR del 50 al 55 %. En invierno los niveles establecidos por IRAM se establecen en 21 °C (nivel A: recomendado), 20 °C (nivel B: medio) y 18 °C (nivel C: mínimo), con rangos de HR del 50 % al 55 %.

En la figura 49 se comparan los niveles de confort para ambos periodos definidos por la IRAM en relación a las Tco propuestas por ambos modelos adaptativos considerados.

En verano las temperaturas de confort definidas según la EN UNE 15 251 se corresponden 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 Tco establecida según la EN UNE 15 251, alcanzando un valor medio de 3 °C de diferencia en verano.

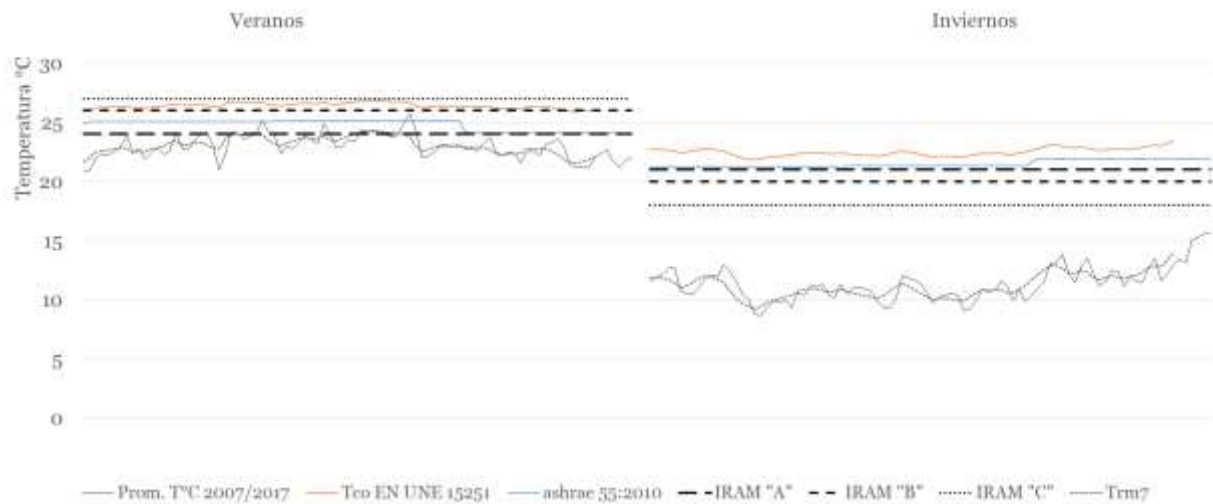
En invierno las temperaturas exteriores son bastante diferentes de las establecidas, tanto por la normativa como por los estándares adaptativos, acercándose el nivel A de IRAM a los valores establecidos por ASHRAE, pero casi 10 °C de diferencia con las Tmed/día y la Trm7. En este periodo el nivel de confort C de IRAM, es el único que intenta acercarse a las temperaturas reales, anticipando la posible dificultad de alcanzar confort en este periodo a través de medios pasivos.

Retomando lo mencionado por 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 acompañado de las variaciones del clima exterior, situación 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 menciona Chávez del Valle (2002) en su hipótesis, donde afirma que 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. Asegurando que de mantenerse generaría “estrés térmico”, y se perdería la capacidad de adaptación o la tolerancia a los cambios en el ambiente.

Figura 49

⁵ IRAM 11.604 (2000) “Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites”

Niveles de confort según IRAM 11 659, comparación con T_{co} según los dos modelos de confort adaptativo para Córdoba



Nota: Elaboración propia

5.3 Importancia de las valoraciones de los usuarios

Es más importante desde el punto de vista de la práctica ergonómica saber cómo se sienten las personas que saber cómo juzgan el ambiente térmico. Por esta razón, no solo se consideran los juicios que los usuarios hacen sobre su propio estado térmico, sino también la percepción, la evaluación de comodidad presente (bienestar/malestar) y la preferencia futura.

Se tomaron como referencia algunos estudios previos similares, realizados en otros climas como los de: Bojórquez *et al.*, 2015; de Dear, Kim y Parkinson, 2018; Bojórquez, Gómez-Azpeitia, García-Cueto, Luna y Romero, 2010; Bojórquez *et al.*, 2010; Rincón Martínez, 2015; García Gómez, Bojórquez y Ruiz Torres, 2011; Canul Euan, 2018 a través del Método por Intervalos de Sensación Térmica (MIST). El objetivo de este método es determinar el valor medio de temperatura o humedad de todas las respuestas de cada nivel de sensación térmica percibida. De esa forma se calcula el valor de la temperatura o humedad promedio de los sujetos que dijeron sentirse en confort, pero también de quienes expresaron sentir calor o frío (Bojórquez *et al.*, 2010) para establecer así una temperatura de confort y un rango de tolerancia, considerando las valoraciones de los usuarios en las condiciones monitoreadas.

Para los climas intermedios o templados, con grandes amplitudes térmicas, a diferencia de los extremos, no hay estrategias precisas y absolutas de diseño a considerar. Esto se traduce en una gran posibilidad para definir pautas relativas y flexibles, orientadas a lograr viviendas eficientes que colaboren para el acondicionamiento térmico a través de la adaptabilidad de sus envolventes y eviten la dependencia de los mecanismos de acondicionamiento artificial. El estudio de la sensación térmica percibida en la vivienda permite establecer lineamientos de diseño para la habitabilidad térmica con base en la percepción de los sujetos (García Gómez *et al.*, 2011).

En el periodo de invierno y verano del año 2019, 2020 y 2021 se implementó un método de análisis en los espacios interiores residenciales de la ciudad de Córdoba. El método por intervalos de sensación térmica (MIST), considera en el cálculo de la zona de confort las valoraciones de los usuarios en relación al ambiente térmico interior.

El método mencionado de Medias de Intervalos de Sensación Térmica (MIST) permite definir el rango de confort y la Temperatura de Neutralidad según las valoraciones de un grupo de usuarios en situaciones térmicas interiores específicas.

Se conocen las variables que inciden en la sensación térmica de las personas y con ello en su valoración. Los modelos adaptativos los detallan específicamente y entre ellos están el género, la edad, la procedencia, la raza, el metabolismo, la expectativa, la cantidad de ropa, etc. El objetivo de aplicar este método está direccionado a definir en qué temperaturas eligen vivir los habitantes de Córdoba y como describen sentirse en estas condiciones.

5.4 Rango de confort elegido en las viviendas de Córdoba

Aunque existen diversas metodologías para reconocer las condiciones de confort de un clima, en Argentina no se utiliza de forma obligatoria ninguno de los diagramas o modelos existentes. Es imprescindible saber qué condiciones necesitan los usuarios de climas intermedios para sentirse en confort en climas intermedios con grandes amplitudes térmicas durante todo el año. Es por eso que se aplicó el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) con una muestra de viviendas y usuarios suficiente, para que los resultados sean representativos y así puedan ser tenidos en cuenta para futuras investigaciones.

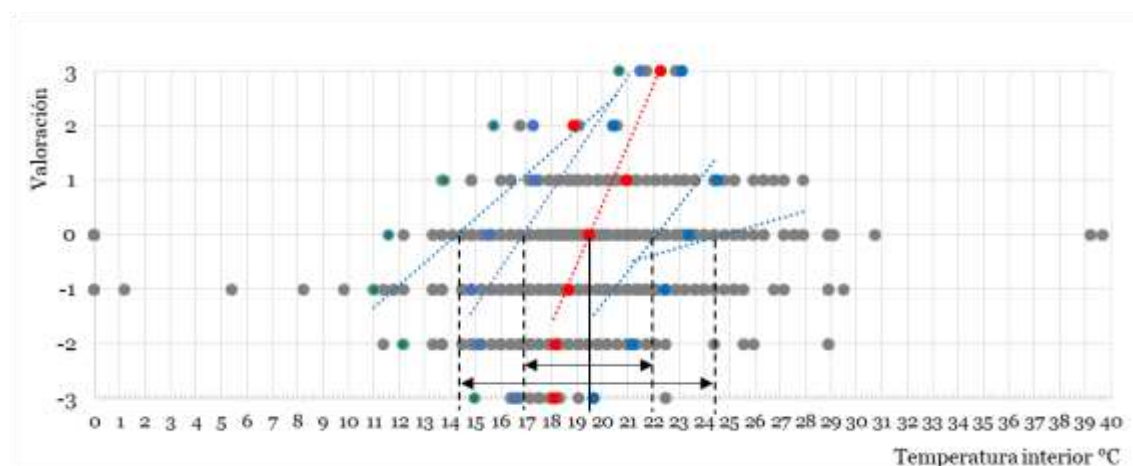
Siguiendo el método desarrollado por (Bojórquez, *et.al*, 2010) se obtuvo una T_n y un rango de confort estrecho y extendido para los usuarios encuestados de las viviendas monitoreadas.

5.4.1 Rango de confort en invierno

Las condiciones interiores monitoreadas en las viviendas estudiadas durante el periodo de invierno, se mantuvieron entre los 14 °C y los 29 °C. Las valoraciones de los usuarios reportaron sentir confort en un amplio rango de condiciones, pero el promedio de la valoración "0" indica la temperatura de confort promedio para los usuarios, esta temperatura se determinó en 19.6°C (Figura 50 y Tabla 17).

Figura 50

Rango de confort en invierno



Nota: Gráfico de dispersión de los datos obtenidos, cada punto expresa una valoración de un usuario en una condición térmica medida por el Hobo, elaboración propia.

Tabla 17

Valores arrojados por el método MIST a cada nivel de sensación térmica

DS	Sensación Térmica	Escala	"-2DS	"-1DS	T_n	1DS	2DS
----	-------------------	--------	-------	-------	-------	-----	-----

0,81	Mucho calor	3	20,66	21,47	22,29	23,10	23,91
1,57	Calor	2	15,71	17,28	18,85	20,42	21,99
3,59	Un poco de calor	1	13,77	17,36	20,94	24,53	28,12
3,94	Ni frío ni calor	0	11,56	15,50	19,45	23,39	27,33
3,82	Un poco de frío	-1	11,00	14,82	18,64	22,46	26,28
3,02	Frío	-2	12,11	15,13	18,15	21,16	24,18
1,56	Mucho frío	-3	14,96	16,53	18,09	19,66	21,22

Fuente: Elaboración propia

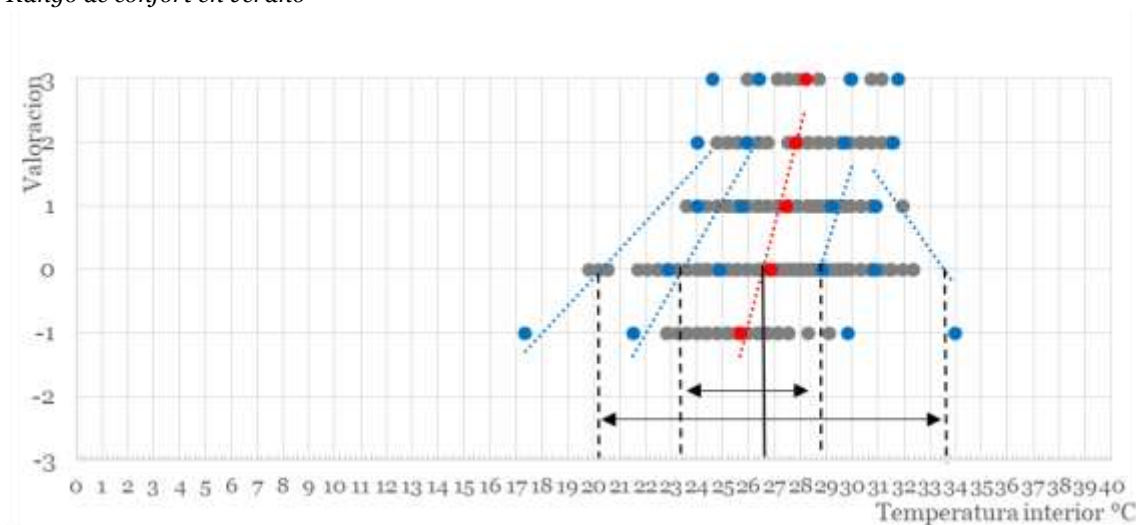
Definiéndose un rango de confort para el 95 % de conformidad de 10.1 °C de amplitud para invierno (figura 50 y tabla 17).

5.4.2 Rango de confort en verano

Durante el periodo de verano, las condiciones interiores monitoreadas en las viviendas estudiadas, se mantuvieron entre los 20 °C y los 32 °C. Las valoraciones de los usuarios reportaron sentir confort en un amplio rango de condiciones, pero el promedio de la valoración "0" indica la temperatura de confort promedio para los usuarios, esta temperatura se determinó en 26.8°C (Figura 51 y Tabla 18).

Figura 51

Rango de confort en verano



Nota: Gráfico de dispersión de los datos obtenidos, cada punto expresa una valoración de un usuario en una condición térmica medida por el Hobo, elaboración propia.

Tabla 18

Valores arrojados por el método MIST a cada nivel de sensación térmica

DS	Sensación Térmica	Escala	"-2DS	"-1DS	Tn	1DS	2DS
----	-------------------	--------	-------	-------	----	-----	-----

1,79	Mucho calor	3	24,61	26,40	28,19	29,98	31,77
1,89	Calor	2	24,00	25,89	27,79	29,68	31,57
1,73	Un poco de calor	1	24,01	25,73	27,46	29,19	30,92
1,99	Ni frío ni calor	0	22,89	24,88	26,87	28,86	30,85
4,15	Un poco de frío	-1	17,37	21,52	25,67	29,82	33,97

Fuente: Elaboración propia

Definiéndose un rango de confort para el 95 % de conformidad de 13.2 °C de amplitud en verano (figura 51 y tabla 18).

5.5 Rango de confort propuesto para la ciudad de Córdoba

A partir de la falta de una normativa clara y obligatoria que favorezca la búsqueda de confort interior a partir de métodos adaptativos, surge la propuesta de un rango de confort residencial para la ciudad de Córdoba.

Invierno Temperaturas de confort según MIST para Córdoba

Tc	19,60 °C
Rango 68%	17,00 °C a 22,20 °C
Rango 95%	14,40 °C a 24,50 °C

Verano Temperaturas de confort según MIST para Córdoba

Tc	26,8 °C
Rango 68%	23,50 °C a 28,80 °C
Rango 95%	20,40 °C a 33,60 °C

Con el método aplicado de Medias por Intervalos de Sensación Térmica se obtienen resultados, en el que en invierno el 95 % de las personas valoran confortable un rango de más de 10 °C que va desde los 14.4 °C hasta los 24.5 °C.

En verano, en cambio, las valoraciones pasan a tener un rango de casi 13 °C, marcando un rango de confort que va desde los 20.4 °C a los 33.6 °C. Este cambio en el rango de tolerancia puede sugerir que los usuarios de climas intermedios con grandes amplitudes térmicas constantes, se adaptan con más facilidad a las condiciones cálidas y no tanto a las frías, donde la humedad seguramente juega un rol fundamental. Si sólo se considera la valoración para el 68 % de los usuarios, que son los más exigentes, tanto en invierno como en verano el rango de confort es de 5.2 °C de amplitud.

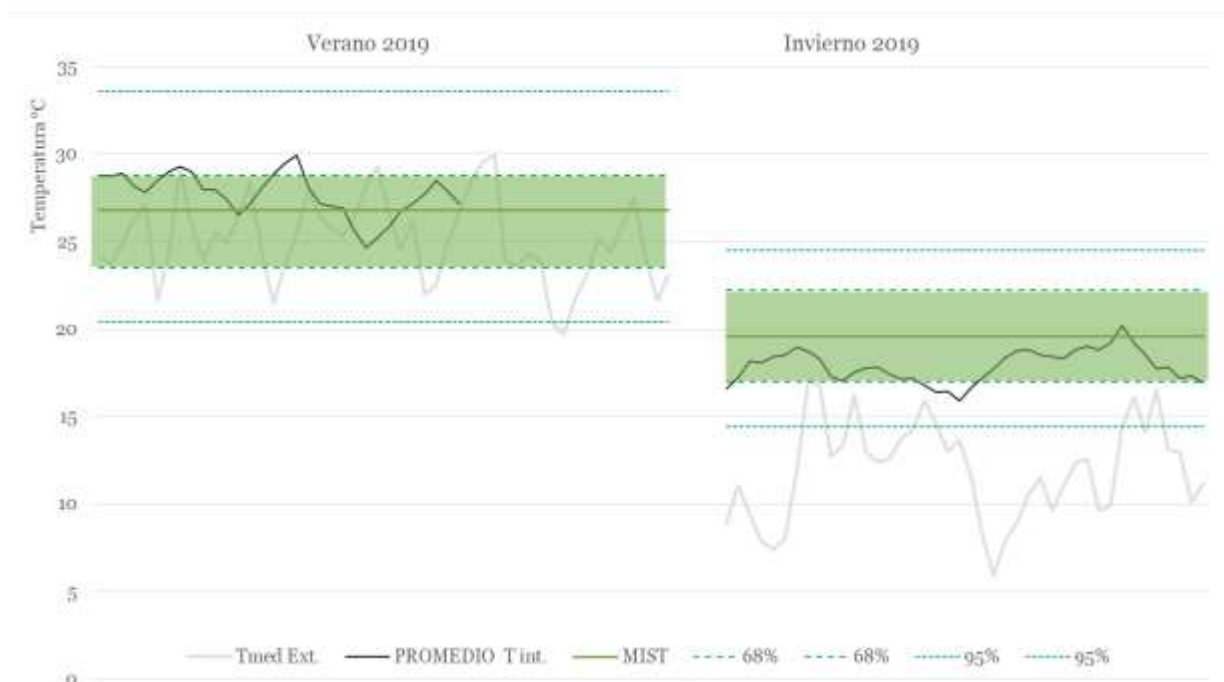
Al comparar los resultados obtenidos con las temperaturas promedio del clima exterior en ambos periodos, se observa que la amplitud de la valoración de confort tiene relación con la amplitud de las condiciones exteriores. En climas con grandes variaciones térmicas interiores, mayor rango de temperaturas abarca la valoración de confort; esta afirmación confirma las conclusiones de los autores que desarrollan los modelos adaptativos.

En la figura 52, en el periodo de verano el rango valorado como confortable es varios grados mayor que en el periodo de invierno, esta variación puede tener relación con la influencia de los valores de humedad en la valoración de confort. Cuando las condiciones exteriores son más frescas, los usuarios toleran menos amplitud térmica y cuando las temperaturas aumentan, el rango de aceptación va aumentando proporcionalmente.

Aunque en invierno los rangos de aceptación son menores que en verano, casi siempre las temperaturas exteriores distan unos grados de las condiciones confortables. En cambio en verano, las condiciones exteriores están casi todo el tiempo equiparadas con las que se valoran cómodas. Lo que permite afirmar que el verano permanece casi todo el tiempo en condiciones benignas.

Figura 52

Temperaturas exteriores, promedio de temperaturas interiores, MIST y rango de confort para invierno y verano



Nota: Elaboración propia

5.5.1 Rango de confort elegido por los usuarios en relación a los utilizados actualmente

La Figura 52, describe la condición de los climas intermedios que se mencionó anteriormente, los periodos más extremos que son el invierno y el verano, mantienen casi siempre una condición cercana a la deseada por las personas. Cuando las condiciones exteriores se alejan más de cierto límite de las valoraciones de confort, la arquitectura no está preparada para aislar, pero tampoco tiene suficiente inercia como se necesitaría y no permite la adaptación suficiente. Entonces, se acude a los medios mecánicos de climatización para suplir deficiencias que quizás podrían ser resueltas con las envolventes. Esta complicación es más evidente en invierno, pero también sucede en verano. La primavera y el otoño, son periodos de transición que resultan casi siempre térmicamente benignos y fácilmente aceptables en espacios interiores construidos sin necesidad de climatización mecánica.

5.5.2 Comparación entre el rango resultante del método MIST y los niveles lineales propuestos por la norma

La norma IRAM es la más utilizada, aunque no es obligatoria, y refiere a temperaturas de confort para espacios interiores acondicionados mecánicamente. La mayoría de las veces se utiliza en el sector académico o en los cálculos para mecanismos de climatización mecánica, pretendiendo mantener condiciones interiores estables. Con la diferencia térmica diaria, mensual y estacional que tienen algunos climas, como es el de la ciudad de Córdoba, los cálculos derivan siempre en la necesidad constante de mecanismos de acondicionamiento. Es imposible mantener condiciones estacionarias en interiores si en el exterior hay aptitudes térmicas de 20 °C durante todo el año.

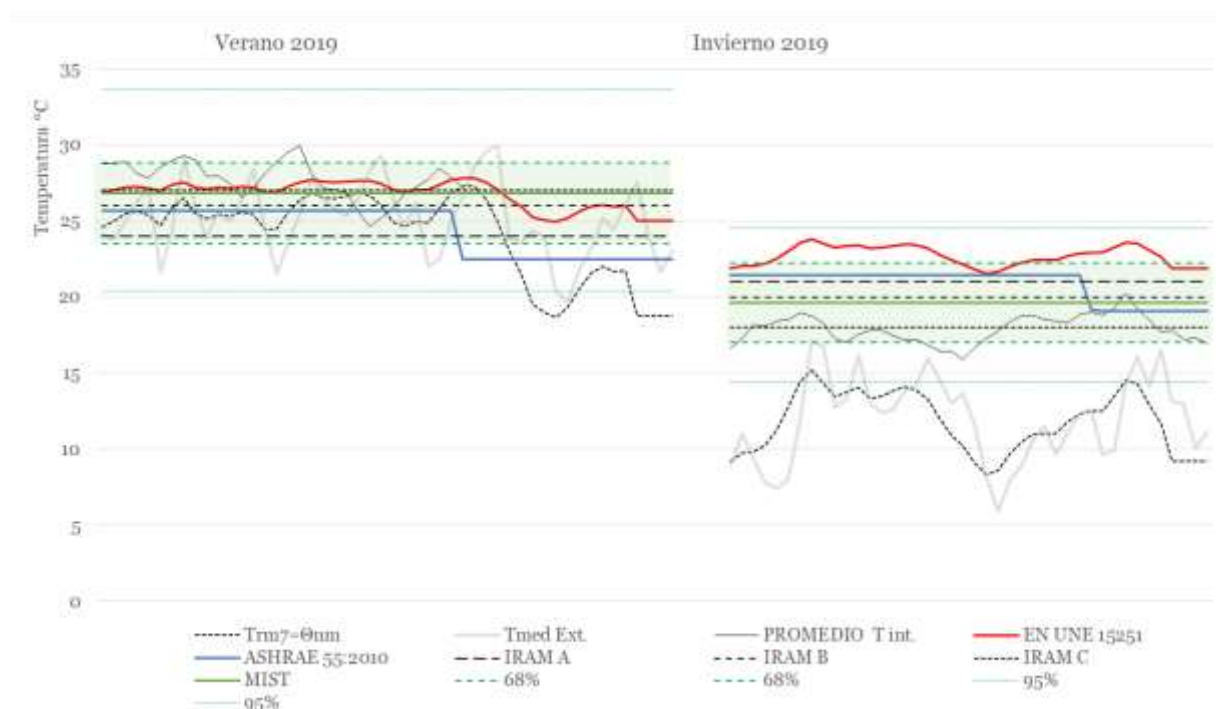
Si se utilizaran los rangos de acuerdo a las valoraciones de las personas, y considerando las variaciones térmicas exteriores, resultaría un cálculo más real implicando probablemente mucho menos consumo de energía, y evitando el estrés térmico que se sabe produce la permanencia en condiciones estáticas por periodos prolongados de tiempo.

5.5.3 Comparación entre el rango resultante del método MIST y los niveles propuestos por los conceptos adaptativos vigentes

En la figura 53 se incluyen los estándares adaptativos vigentes a los parámetros anteriormente analizados. Son ecuaciones que consideran la temperatura exterior para su cálculo y por consiguiente siguen las variaciones exteriores.

Figura 53

Temperaturas exteriores, temperaturas interiores, MIST, rango de confort, IRAM y adaptativos para invierno y verano



Nota: Elaboración propia

En las ecuaciones de ambos estándares considerados, son muy exigentes en relación a las condiciones exteriores. Con esto la arquitectura pierde posibilidad de resolver la temperatura interior de confort con medios pasivos. Por otro lado, excede lo requerido por los usuarios de estos climas. Nuevamente, en invierno las temperaturas exteriores se alejan más de las condiciones óptimas valoradas por los usuarios.

5.5.4 Posibilidad de reducir el consumo de energía para climatización a partir de la adaptación pasiva

En la encuesta que se llevó adelante para el Método MIST se agruparon las respuestas para detectar los grupos dominantes o frecuentes (tabla 19).

Durante los períodos de invierno y verano la mayoría indica no estar usando acondicionamiento mecánico en las viviendas monitoreadas, requiriéndolo más en invierno que en verano. En ambos periodos más de la mitad valora sentirse en confort, y solo un 25 % valoran sentir un poco de calor en verano y un poco de frío en invierno, situación acorde a lo esperado según la época del año, y solo un 17 % en ambos periodos está fuera de los parámetros esperados de confort.

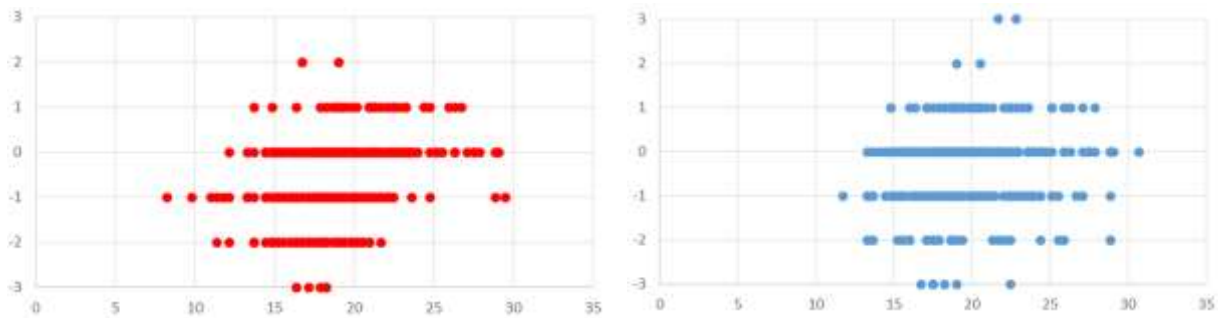
Los que valoran estar en confort y un poco de frío/calor valoran estar cómodos en sus ambientes térmicos, sumando un 75 % de los usuarios. Solo el 20 % valora el ambiente térmico como algo incómodo. La preferencia se corresponde casi exactamente con la valoración. El 60 % no prefiere tener más calor ni frío, es decir que están en confort. Un 30 % prefiere tener un poco más de calor en invierno y un poco más de frío en verano, lo que es esperado para la época del año. Y un 12 % tiene preferencias de mucho más frío/calor.

De todas formas, el 90 % de los usuarios en ambos periodos acepta el ambiente térmico y el 80 % lo considera como perfectamente tolerable.

En invierno, se diferenciaron los datos de las viviendas calefaccionadas de aquellas que no lo están, se puede ver que los valores de temperatura son a simple vista iguales, solo ligeramente más cálidas que las calefaccionadas (figura 54). Lo que podría indicar que la necesidad de climatización puede deberse a factores de costumbres, metabolismo, vestimenta o actividad y no necesariamente a que las condiciones no son confortables.

Figura 54

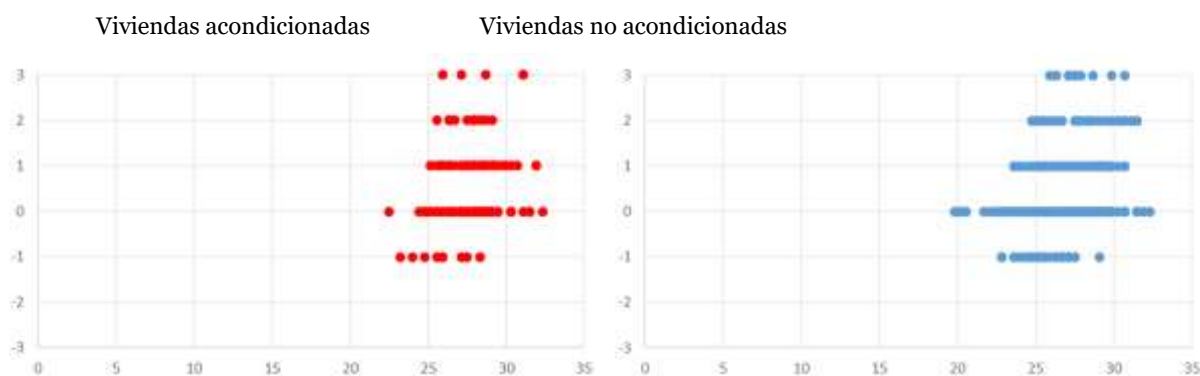
Valoración en viviendas acondicionadas y no acondicionadas durante el periodo de invierno
 Viviendas acondicionadas Viviendas no acondicionadas



Nota: Elaboración propia

Figura 55

Valoración de viviendas acondicionadas y no acondicionadas durante el periodo de verano



Nota: Elaboración propia

Tabla 19

Cuestionario preparado para el estudio en base al estándar ISO 10 551 y resumen de respuestas obtenidas

Pregunta	Respuestas	Verano	Invierno	%	%
1 ¿Está utilizando en este momento algún medio de acondicionamiento mecánico?	- SI			24,5	42,1
	- NO			75,5	57,9
2 Utiliza otra forma para lograr confort?	- Accionamiento de ventanas			44,3	
	- Movimiento de cortinas interiores			2	
	- Parasoles exteriores			0	
	- Cambio de vestimenta			8	
	- Cambio de sitio dentro de la habitación			1	
	- Varias combinadas			19,8	
	- No, ninguna			25,5	
3 ¿Qué siente usted en este momento? (marcar la casilla apropiada) Tengo...	- -3 Mucho frío			0	0
	- -2 Frío			0	7,6
	- -1 Un poco de frío			6,5	26,4
	- 0 Ni frío ni calor			59,3	57,2
	- 1 Un poco de calor			23,9	7,8
	- 2 Calor			9	0
	- 3 Mucho calor			1,35	8,6
4 Se encuentra usted...	- Cómodo			74,8	76,1
	- Algo incómodo			19,2	20,2
	- Incómodo			4	4,5
	- Muy incómodo			0	0
	- Extremadamente incómodo			0	0
5 En este momento preferiría tener...	- -3 Mucho más frío			0	0
	- -2 Más Frío			9,15	0
	- -1 Un poco más de frío			27,5	4
	- 0 Ni más frío ni más calor			60,7	57,3
	- 1 Un poco más de calor			1	30,7
	- 2 Más Calor			0	8,5
	- 3 Mucho más calor			0	0
6 Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?	- Si			88,1	89,6
	- No			12	10,4
7 En su opinión, este ambiente térmico es...	- Perfectamente tolerable			81,5	83,8
	- Un poco difícil de tolerar			15,9	13,6
	- Bastante difícil de tolerar			2,7	2,65
	- Muy difícil de tolerar			0	0
	- Intolerable.			0	0

Nota: Resumen de respuestas obtenidas durante todo el período de investigación, en el anexo 1 se encuentran los resultados parciales, de elaboración propia

En verano se percibe algo bastante similar que en invierno en relación a las condiciones monitoreadas en las viviendas acondicionadas y aquellas no acondicionadas (figura 56). Las viviendas que no están utilizando climatización mecánica se encuentran en un rango ligeramente más cálido que aquellas que dicen tener encendido el aire acondicionado o ventilador, aunque las condiciones son muy similares en ambos casos.

La referencia de confort propuesta por IRAM está destinada a ambientes climatizados mecánicamente. Por un lado se demuestra en esta investigación que los regímenes estacionarios propuestos para ambientes climatizados mecánicamente, no deben ser iguales en todo el territorio nacional. En los climas templados, las necesidades de los usuarios son diferentes y su consideración, implica una reducción significativa en el consumo de energía. Por otro lado, los espacios interiores de estos climas pueden resolver el confort térmico interior de forma pasiva, aprovechando la capacidad de adaptación de los usuarios y las variaciones térmicas exteriores. Los estándares adaptativos también exigen demasiado consumo, aunque no son lineales, pero sí más exigentes que la IRAM.

El encendido del aire acondicionado o la calefacción domiciliaria sean sistemas centrales o independientes, todos se encienden, apagan y regulan en función de la sensación de sus usuarios. El accionamiento de equipos de acondicionamiento mecánico, siempre es la consecuencia del malestar térmico de las personas. Por lo que las personas deben sentirse a gusto en los ambientes interiores para no encender la climatización adicional. La pregunta es, ¿Por qué las personas dentro de sus viviendas se encuentran fuera de confort? Y ¿Por qué estando bajo las mismas condiciones térmicas (o muy similares) algunas personas optan por encender la climatización mecánica y otras no lo hacen?

El principal tema a considerar desde el diseño y la arquitectura es que en las construcciones dentro de este tipo de climas no se tienen en cuenta las opciones de acondicionamiento natural o de adaptación como primera opción. Cada vez se considera más la instalación de equipos de aire acondicionado o calefacción desde el diseño, sin considerar la misma importancia de diseño a las opciones de acondicionamiento natural, para permitir la adaptación de las personas y de los espacios interiores.

5.5.5 Estrategias propuestas para la adaptación pasiva de los ambientes habitados en climas de grandes amplitudes térmicas

En el estudio cualitativo y cuantitativo realizado en el marco de esta tesis se evaluaron las condiciones térmicas de 143 viviendas en invierno y verano. En verano por ser el periodo donde el rango de confort valorado es más amplio, se consideró una pregunta adicional que refiere a la utilización de alguna forma de acondicionamiento no mecánico, como el accionamiento de ventanas, parasoles, cortinas, cambio de vestimenta, cambio de sitio, etc.

Figura 56*Estrategias utilizadas en viviendas durante el periodo de verano*

Nota: Elaboración propia

De las respuestas predeterminadas en la encuesta del periodo de verano se identifica que las soluciones adaptativas más utilizadas son la apertura y cierre de ventanas, el cambio de vestimenta y el uso de varias estrategias combinadas. Puede identificarse un rango de usuarios en ambientes acondicionados mecánicamente que indicar estar usando estrategias como el accionamiento de ventanas, dando a entender que el acondicionamiento mecánico señalado en estos casos es por ejemplo un ventilador.

El uso de “ninguna” estrategia adaptativa es utilizado tanto en ambientes acondicionados como en aquellos que no lo están. Como también, hay un mayor uso de estrategias adaptativas en los ambientes acondicionados mecánicamente que en aquellos que no lo están.

Recomendaciones constructivas para viviendas
en climas intermedios



Capítulo 6.

Recomendaciones constructivas para viviendas en climas intermedios

Se investigó acerca de las diferentes formas de clasificar y definir el clima de la ciudad de Córdoba. Se realizó un barrido a través de la normativa vigente IRAM que considera los ambientes interiores siempre acondicionados y en condiciones estables, se clasificó según Köppen y se compararon ambas teorías. Se desglosó la información de la estación meteorológica del Observatorio con los datos históricos. Se tuvieron en cuenta los diagramas utilizados habitualmente de Olgyay, Givoni y Evans para definir el clima de la ciudad de estudio.

Resultando un clima sin estrategias arquitectónicas estandarizadas, sin recursos claros y concretos para alcanzar confort en las construcciones y con reglamentaciones que no se terminan de definir, como sí lo hacen en los climas extremos.

Las diferentes formas de reconocer una zona de confort, o estrategias para lograrlo, tienen en cuenta las condiciones climáticas locales. En el capítulo 4 se aplica un método (MIST) para obtener un rango de confort adaptado a las necesidades particulares de los habitantes residenciales de Córdoba, en el que se evidencia una adaptación a las variaciones exteriores que no se tiene en cuenta en las estrategias locales, resultando un rango de confort amplio. A lo largo del capítulo 5 se pudo comparar este rango de confort con las normativas locales consideradas, y establecer diferencias.

6.1 Características especiales de Córdoba y recomendaciones de diseño más funcionales.

El clima de la ciudad de Córdoba está atravesado por particularidades geográficas y urbanas que hacen que tenga características climáticas diferentes a los lugares próximos. A pesar de ello, suele haber recomendaciones de diseño similares en toda la región. Resulta de estas particularidades de la ciudad de Córdoba un clima intermedio o no extremo con una amplitud térmica que ronda los 20 °C durante todo el año.

La capacidad de adaptación innata en los habitantes de climas de grandes amplitudes térmicas es una variable no considerada en las estrategias de confort, pero que puede favorecer al funcionamiento del ambiente térmico interior con menos recursos energéticos. Las envolventes y la capacidad de adaptación de las personas, son una de las herramientas para alcanzar confort interior en este tipo de condiciones.

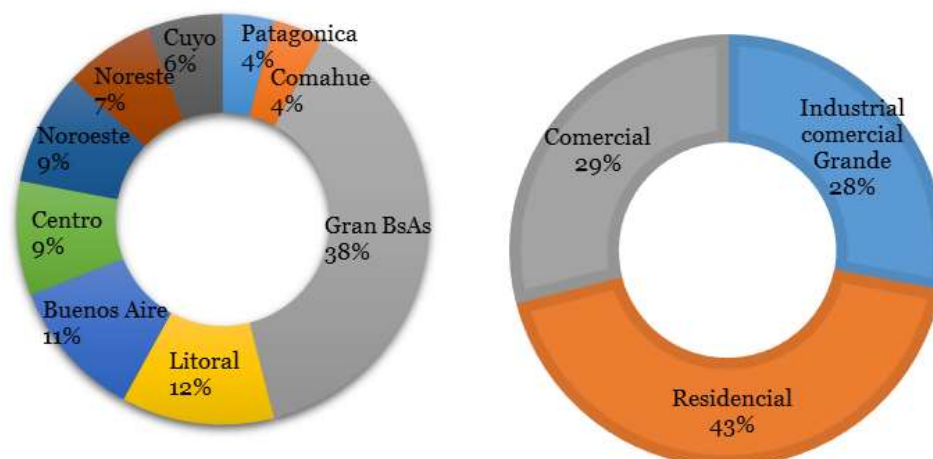
6.1.1 Consumo de energía destinada a climatización residencial en climas no extremos

La demanda eléctrica de la ciudad de Córdoba oscila entre 9500 y 12 000 GWh/mes. Su variabilidad depende de las temperaturas y más precisamente de las estaciones. El pico más alto de consumo se encuentra en julio, pero, es la demanda industrial la causante de esta suba debido a que los procesos utilizados en este sector requieren más potencia por las bajas temperaturas.

Los usuarios que demandan el mercado eléctrico se clasifican en tres grandes grupos: Residenciales, comerciales e industriales. La distribución del consumo por sector se explica de la siguiente manera: entre el 41 % y el 46 % para los residenciales, el 29 % para el sector comercial y, por último, entre el 25 % y 28 % para el sector industrial (figura 57).

Figura 57

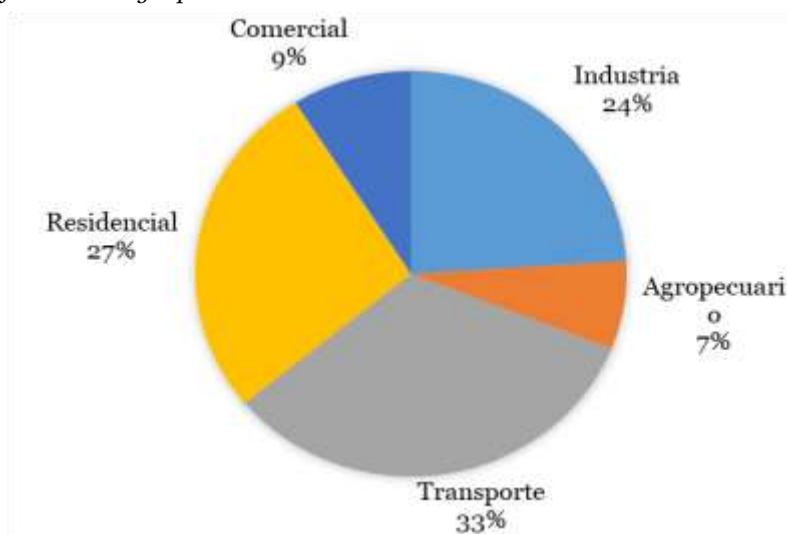
Distribución de la demanda de energía por región y segmento (2018)



Nota: Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético –SSPE- Secretaría de Energía, sobre la base de datos de COMPAÑÍA ADMINISTRADORA DEL MERCADO MAYORISTA ELECTRICO SOCIEDAD ANÓNIMA (CAMMESA)

Figura 58

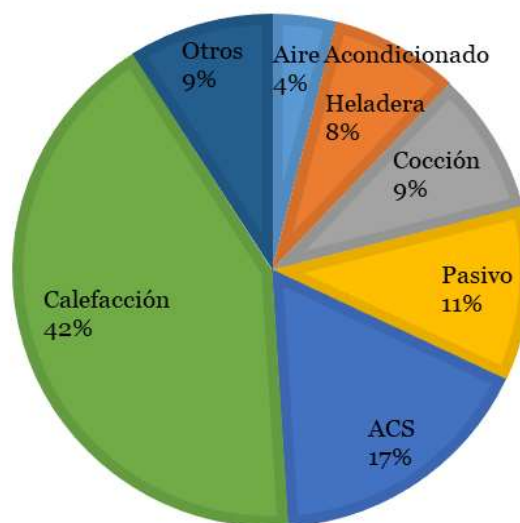
Consumo final de energía por sector



Nota: Balance energético nacional 2018

Figura 59

Consumo de energía dentro del sector residencial según actividad



Nota: Balance energético nacional 2018

Como puede verse en la figura 59, cerca de la mitad de la energía utilizada en el sector residencial se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes (calefacción, refrigeración y ventilación), y a pesar del aumento de la participación de la energía eólica y solar, el gas sigue siendo el combustible dominante en la matriz y los combustibles fósiles seguían siendo responsables del 68 % de la energía eléctrica de Argentina en el año 2020. Por lo tanto, resulta un desafío para la sociedad buscar alternativas de reducción del consumo energético en lo referente a la climatización. La Empresa Provincial de Energía de Córdoba abarca los tres eslabones del negocio de la energía eléctrica: generación, transporte y distribución. El servicio que brinda llega de manera directa o indirecta (por medio de las cooperativas eléctricas) a todos los habitantes de la provincia.

En una vivienda de familia con 4 integrantes y clase media, ubicada en el sector periurbana de la ciudad de Córdoba, con envolventes de bloque cementicio de 20 cm con buena ventilación y orientación Sur-Norte requiere un consumo de entre 250 y 300 kWh por mes en los periodos de más frío o más calor, y entre 150 y 200 kWh durante los meses de primavera y otoño. El consumo diario, en los meses de invierno es de 17.000KWh los días de mayor consumo, y en verano 15.000 kWh. Durante los meses de otoño y primavera, los consumos diarios se reducen a 6.000 kWh.

6.1.2 Posibilidad de climatización a partir de la adaptación pasiva y el resultante ahorro de energía

Se denomina adaptación pasiva a la condición donde los usuarios de los espacios interiores, en este caso residenciales, toman control del ambiente térmico y lo modifican para satisfacer sus necesidades térmicas con las posibilidades que brinda la arquitectura, el cuerpo humano y su propio comportamiento. Esta adaptación se denomina pasiva porque no utiliza medios mecánicos, es decir que no consume energía en su funcionamiento.

Las estrategias que se usan para que los espacios interiores alcancen condiciones óptimas, no se cuestionan, no se adaptan a las condiciones locales y no resuelven el problema del confort térmico interior en los climas templados. Los climas denominados intermedios tienen la gran ventaja de posibilitar el acondicionamiento a través de medios pasivos, conociendo y aprovechando al máximo las posibilidades del entorno. Las noches frescas, las

corrientes de aire, la posición y orientación del sol, la amplitud térmica diaria y estacional, etc. El acondicionamiento pasivo de los espacios interiores de climas templados, debe ser a través de mecanismos adaptativos, que utilicen las particularidades climáticas a su favor a partir del uso de las envolventes.

Las estrategias para la climatización pasiva que actualmente se conocen destinadas a climas templados son demasiado generalizadas, lo que hace que no puedan ser aprovechadas al máximo en algunos casos particulares. El clima templado cálido abarca una franja de territorio amplia, con condiciones bastante diferentes. No es lo mismo el clima de Córdoba, que el de San Luis o el de Buenos Aires, y en todos estos lugares IRAM unifica recomendaciones generales sobre el diseño como las detalladas a continuación:

- La zona IIIa, se caracteriza por grandes amplitudes térmicas, por lo que es aconsejable el uso de viviendas agrupadas y de todos los elementos y/o recursos que tiendan al mejoramiento de la inercia térmica, tanto en la faz de la orientación como en las necesidades de ventilación, por tratarse de una zona templada, las exigencias pueden ser menores.
- En las edificaciones orientadas al oeste es aconsejable prever protecciones solares adecuadas.
- Se recomienda que las aberturas estén provistas de sistemas de protección a la radiación solar. Los colores claros exteriores son altamente recomendables.

6.1.3 Aspectos adaptativos a considerar y su justificación para climas urbanos templados con grandes amplitudes térmicas constantes

Los climas templados son poco rigurosos, con veranos algo calurosos e inviernos fríos, pero sin alcanzar en ningún caso condiciones climáticas extremas que dificultan la supervivencia incluso al aire libre. En este tipo de climas, las estrategias constructivas en relación al confort térmico no son muy claras, lo que abre una amplia gama de soluciones constructivas posibles, haciendo más hincapié en la resolución de viviendas rápidas que en la capacidad de conseguir confort térmico interior. Al no ser necesario minimizar las condiciones térmicas exteriores, pasa a ser un aspecto poco tenido en cuenta.

En esta tesis se demuestra por los motivos ya descritos, que las estrategias de climatización deberían ser diferentes y adaptadas a cada territorio.

No existen normas constructivas obligatorias nacionales, aunque sí la referencia de las normas IRAM, que distingue seis zonas en el territorio argentino (muy cálida, cálida, templada cálida, templada fría, fría y muy fría). Los climas no extremos dentro de estas seis zonas serían los denominados templados fríos y templados cálidos. En estos climas denominados templados, a pesar de no ser extremos utilizan muchos recursos para conseguir y mantener temperaturas interiores confortables.

La clasificación de Köppen, cómo se desarrolló en el capítulo tres, se sustenta en que la vegetación natural de las diferentes regiones, tienen una clara relación con el tipo de clima. Por lo que se utiliza la distribución vegetativa para definir los límites entre los diferentes climas. Los climas del mundo los divide en 5 grupos: tropical, seco, templado, continental y polar. Y a cada uno de ellos en subgrupos y estos en tipos de clima. Resumiendo lo desarrollado anteriormente se puede sintetizar en algunos puntos de recomendaciones que se detallan en la tabla 20.

Resumen de estrategias según autores descritos

	IRAM	GIVONI	OLGYAY	EVANS
INERCIA	viviendas agrupadas	en verano		siempre
PROTECCIÓN SOLAR	al oeste	en verano		
VENTILACIÓN		nocturna en verano		nocturna y diurna
GANANCIA SOLAR		en invierno	radiación	
GANANCIAS INTERNAS		en invierno		
ENVOLVENTES	colores claros			
ABERTURAS	con protección solar			

Nota: Elaboración propia

En la tabla 20 se grafican las estrategias de diseño propuestas por cada autor estudiado con criterios muy diferentes entre unas y otras. Es por esta falta de claridad en estrategias que las edificaciones no logran seguir un eje de resolución constructiva para estos climas.

Los edificios residenciales que se monitorearon, detallados en el capítulo 4, fueron de tipología, antigüedad, materiales y sistemas constructivos variados. Todos ellos son edificaciones que fueron hechas con el fin de ser habitadas de forma permanente y cumplen con los requisitos constructivos y edilicios mínimos establecidos por la normativa local.

Las edificaciones que se construyen con el fin de ser habitadas de forma permanente, en climas no extremos, siguen criterios comunes o quizás estandarizados sugeridos por la normativa local. Las aislaciones y la calidad de las aberturas, muchas veces no son consideradas y es donde a menudo se reducen los costos de las construcciones por ser climas benévolos. La posibilidad de adaptación de la vivienda no es un requisito que se tiene en cuenta en el diseño. Es decir que las viviendas responden mejor o no según el diseño, materiales y orientación elegidos, pero si eso no es suficiente, el único remedio es el acondicionamiento mecánico.

Las múltiples recomendaciones, incluyen tanto la protección solar como la radiación solar misma. La aislación y la inercia térmica, la ganancia solar y ganancias internas pero también los aleros y colores claros en envolventes. Esto se debe en primer lugar a que es un clima intermedio y al no ser extremo en invierno ni en verano favorece a que en ambos periodos se requieran medidas adicionales de soporte para el buen funcionamiento de la arquitectura, pero medidas opuestas en cada periodo. En segundo lugar, insinúa de forma implícita que la participación de los usuarios es fundamental, ya que son quienes a partir de sensaciones pueden aprovechar las posibilidades de las envolventes para adaptarse a las diferentes demandas.

Una de las cuestiones importantes a considerar es que no son demandas absolutamente exigentes para conseguir confort en espacios interiores. En este clima donde no se cuenta con extremos climáticos, con solo atender algunas consideraciones podría ser un éxito para la demanda de energía en períodos extremos.

6.2 Aspectos a considerar para climas intermedios con mucha amplitud térmica

6.2.1 La capacidad de adaptación de las personas

La adaptación es una capacidad que puede aplicarse a los usuarios o a las construcciones. En lo referido a las personas, es una habilidad que se desarrolla naturalmente

cuando están expuestas a condiciones diferentes a lo largo de un periodo de tiempo. En el clima de Córdoba donde la temperatura fluctúa todo el año con diferencias térmicas diarias de hasta más de 20 °C, las personas se acostumbran a tolerar más diferencia térmica y no valorarlo como algo incómodo.

Se puede diferenciar entre adaptación y acostumbramiento, aunque en realidad todas las adaptaciones tienen una cuota de acostumbramiento, ya que se generan por la frecuencia de ciertas variaciones tolerables. El acostumbramiento es hacer que alguien adquiera costumbre de algo, mientras que adaptación es la acción o efecto de adaptar algo, acomodar o ajustar algo a otra cosa. A algunos parámetros o variaciones logramos acostumbrarnos y es aquí donde de la costumbre surge la adaptación, mientras que a otros las personas no se acostumbran nunca.

Se pueden definir una serie de categorías intervinientes en la adaptación térmica (Martínez, 2015):

- Factores meteorológicos: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y radiación infrarroja.
- Factores espaciales: materiales, colores, texturas, climatización artificial, adecuación al clima, vegetación.
- Factores circunstanciales: actividad, vestimenta, estado de salud, aclimatación, tiempo de permanencia en el ambiente térmico, ingesta o alimentación.
- Factores fisiológicos: sexo, edad, peso, estatura, área de la piel, índice de masa corporal, metabolismo basal y global.
- Factores psicológicos: hábitos, preferencias, expectativas y experiencias, estimulación del medio, adaptación reactiva e interactiva.
- Factores sociológicos: entorno sociocultural, modo de vida, costumbres, tipo de alimentación, condición social, nacionalidad.

El rango de confort resultante del método utilizado en esta investigación demuestra que las personas de la ciudad de Córdoba se adaptaron a las variaciones térmicas típicas y constantes de esta ciudad. Esta adaptación puede ser de los usuarios, en los que intervienen los parámetros mencionados, o también a partir de las envolventes, cuya posibilidad de adaptación juega un rol fundamental en estos climas para permitir acompañar las variaciones deseadas con las posibles. Es necesario considerar ambas capacidades y oportunidades de adaptación en las construcciones futuras.

En el estudio realizado que se llevó adelante en los espacios de estar de viviendas de la ciudad de Córdoba, el objetivo fue determinar qué sienten las personas en las condiciones dónde y cómo están acostumbradas a vivir. Estas condiciones están atravesadas por aspectos biológicos como lo son: la edad, el género, el peso y la altura; aspectos psicológicos como: la expectativa; fisiológicos; culturales como: la procedencia, el acceso a la tecnología, etc. Pero el foco de la investigación no fue definir cuáles eran estas condiciones en detalle, sino cómo valoran sentirse los usuarios en las condiciones en las que se acostumbraron a vivir. El estudio demostró justamente que hay personas que acostumbran llevar más ropa que otras en invierno y no por eso valoran sentir más calor, ni siquiera más comodidad. Hay personas que acostumbran a tener encendido el aire acondicionado en verano y no por eso valoran sentirse en confort más a menudo que aquellas que no lo encienden.

En Córdoba, Argentina, la amplitud térmica diaria es durante todo el año de más de 14 °C, y los usuarios por cuestiones de costumbre y culturales, dentro de los espacios de estar de sus viviendas suelen vestir en verano entre 0,3 y 0,7 clo y en invierno entre 1,0 y 1,3 clo (UNE-EN ISO 7730, 2006b). El nivel de actividad, en los espacios de estar residencial se

estandariza de 1 met (en reposo, sentado) hasta 1,2 met (actividad sedentaria, escuela, domicilio, oficina, laboratorio) (UNE-EN ISO 7730, 2006b).

La norma internacional ISO 7730 (UNE-EN ISO 7730, 2006b), recomienda el empleo de escalas de juicio subjetivo basadas en el estado térmico del cuerpo. En condiciones ambientales estables con personas en trabajos sedentarios ($60 \text{ W/m}^2 \leq \text{Met} \leq 70 \text{ W/m}^2$) vestidas de forma normal ($0,5 \text{ clo} \pm 0,2 \text{ clo} < \text{Icl} \leq 1,0 \text{ clo} \pm 0,2 \text{ clo}$) y después de al menos, 30 min. de permanencia, el juicio global que las personas hacen sobre su propio estado térmico y el juicio global que emiten sobre la temperatura ambiente generalmente coinciden.

6.2.2 La capacidad de adaptación de las envolventes

La posibilidad de operar envolventes es determinante en la capacidad del ambiente térmico interior para acompañar las variaciones exteriores y poder adaptarse a los usuarios y sus requerimientos. Los climas intermedios responden a los usuarios a partir de esta posibilidad y se pueden aprovechar las variaciones diarias exteriores para favorecer el bienestar interior (Figura 60).

Figura 60

Posibilidades de adaptación de la envolvente y de envolvente como espacio intermedio



Nota: Transformación de 530 viviendas en el Grand Parc de Burdeos, de Lacaton & Vassal (2019)

A partir de las encuestas realizadas se identificó que la operabilidad de las ventanas, postigos y cortinas es muy utilizada mientras las personas habitan sus viviendas. Y que, si bien no está instalado el requerimiento en las normativas locales ni en la forma de construir, ante la posibilidad existente, se prefieren. Luego de analizar los diagramas de confort y sus estrategias, la normativa local y sus estrategias y los estándares adaptativos, se detecta una falta de criterio unificado y por lo tanto una gran falta de consideración en las construcciones existentes en relación al confort térmico.

Protecciones móviles exteriores

Permiten modificar la captación de radiaciones solares directas e indirectas, pueden regular la orientación por donde entren estas radiaciones y la cantidad de las mismas. Esta variable puede favorecer radiaciones en el periodo invernal y proteger del sol en el periodo estival. Pero, permitir el sol en el periodo invernal, donde las condiciones son opuestas y requieren respuestas opuestas.

Ventanas operables

Con su ubicación, tamaño y disposición permiten favorecer la ventilación cruzada tan ventajosa para los periodos cálidos en los espacios interiores. Es la variable más utilizada según

las encuestas realizadas, por lo que es una gran posibilidad de mejora. En invierno las ventanas son de gran utilidad para permitir el ingreso de radiación solar diurna.

Cortinados interiores

Son una variable poco tenida en cuenta, pero permite variaciones de entrada de aire, pero protección solar parcial. A diferencia de los parasoles exteriores, los cortinados interiores evitan el escape de calor del interior al exterior en los periodos fríos funcionando como una piel interior. Esto permite que la misma ventana los días cálidos pueda evitar el paso del calor del exterior al interior o en días frescos evitar el escape de calor del interior al exterior.

Fachadas ventiladas

Funcionan con el concepto de doble piel, con una cámara ventilada entre el aislamiento y el revestimiento que evita los puentes térmicos y mejora la respuesta térmica de la envolvente tanto en periodos fríos como en los cálidos. Este funcionamiento, si bien no permite modificaciones de los usuarios, invierte su funcionamiento de forma natural en función de las temperaturas exteriores.

Durante el invierno aportan estabilidad térmica actuando como acumulador de calor ayudado por la capa de aislante térmico del sistema. De esta forma evitan el escape de calor desde el interior con su correspondiente ahorro energético. Durante los meses de verano el aumento de la temperatura en el interior de la cavidad genera un “efecto chimenea” que empuja el aire hacia arriba, reduciendo así la temperatura de la pared que da al interior del edificio. Es decir, lo mantiene más fresco.

Dobles pieles vegetales y vegetación caduca

Es una variable poco tenida en cuenta en estos climas, pero es una gran estrategia para favorecer la protección solar en los meses más cálidos y permitir la radiación solar en los meses más frescos. Esta opción tampoco permite la operación de los usuarios, pero lo hace de forma natural según los periodos de follaje (Figura 61).

Figura 61

Posibilidades de aplicación de vegetación caduca

Nota: Apartamentos en Buenos Aires (Argentina). Estudio JR (2009)

Espacios intermedios

Los climas templados y de grandes amplitudes térmicas se ven muy favorecidos cuando la envolvente deja de ser una sucesión de materiales en capas de diferentes espesores y se transforma en un espacio entre el exterior y el interior que permiten regular las condiciones térmicas como un amortiguador. Estos espacios pueden ser interiores o exteriores dependiendo de la época del año y los requerimientos y permite también fluctuar sus usos (Figuras 62 y 63).

Figura 62

Posibilidades de aplicación en la envolvente como espacio intermedio.



Nota: Centro cultural "La Taller", Cuernavaca (Mexico). Arq. Frida Escobedo (2010)

Figura 63

Posibilidades de aplicación en la envolvente como espacio intermedio.



Nota: "Tol-Haru, la Nave Tierra del Fin del Mundo", Ushuaia (Argentina). Arq. Michael Reynold (2014)

Conclusiones y verificaciones

La arquitectura mundial se preparó a lo largo de la historia para responder a las muy variadas adversidades climáticas, pero los climas extremos son los que se llevaron la mayor parte de los resultados, por ser lugares de dificultosa supervivencia en los espacios construidos. Los climas intermedios son aquellos que por ser benignos tuvieron siempre menos consideraciones al momento del diseño y la construcción de espacios habitables. Lo cierto es que los climas intermedios con amplitudes térmicas grandes son difíciles de resolver con recetas de envolventes fijas, estáticas o generalizadas. Necesitan de la interacción de los usuarios para poder aprovechar las variaciones exteriores a favor de las condiciones interiores y lograr el confort térmico prolongado en el tiempo a través de las diferentes estaciones del año y horas del día.

Los rangos de confort están establecidos por la normativa de referencia y el diseño de las construcciones considera cumplir parcial o totalmente con estos parámetros. La arquitectura adaptada al clima es mayormente implementada en climas cálidos, donde las corrientes de aire pueden favorecer notablemente la calidad del ambiente interior. Pero los climas en esta tesis denominados intermedios y sobre todo aquellos como la ciudad de estudio, Córdoba, con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales, no cuentan con estrategias claras para el diseño amigable con el entorno.

Las orientaciones al diseño que recomienda la normativa local, no es específica para esta ciudad y ciertamente tampoco responde de forma particular, por lo que las viviendas y su capacidad de la buena respuesta al medio, solo dependen de unos pocos factores como la calidad y tipo de materiales, aberturas y protecciones solares, para luego caer indefectiblemente en el uso de acondicionamiento mecánico adicional.

La climatización adaptativa

Es un recurso del diseño y la arquitectura que se considera de forma inequívoca en climas cálidos y tropicales. Los climas templados, en cambio, ofrecen una flexibilidad que puede no ser tenida en cuenta desde el diseño, pero que podría ser de mucha utilidad para reducir los consumos de energía si se considerara desde el punto de partida.

Si las viviendas tuvieran más posibilidad de adaptación y priorizaran la calidad de los materiales y elementos constructivos de las envolventes, convirtiéndolas en una sucesión de posibilidades de adaptación desde el interior al exterior, los usuarios acudirían mucho menos a los mecanismos de acondicionamiento. Justamente la amplitud térmica es una característica poco estudiada en cuanto al diseño arquitectónico para su aprovechamiento. Pero se demuestra que, si se conocen las variaciones térmicas y se aprovechan criteriosamente, podría conseguirse confort constante, sin dejar de recurrir de forma permanente a la adaptación de las viviendas y de sus usuarios.

La clave para lograr confort térmico interior en climas de grandes amplitudes térmicas, lejos de las estrategias estandarizadas que proponen los diferentes autores, es la posibilidad constante de adaptación.

Nivel óptimo de confort interior adaptado a las variaciones exteriores

Las normativas tenidas en cuenta en la actualidad consideran condiciones óptimas que poco tienen que ver con las variaciones características del clima de la ciudad de Córdoba. Una de las variables que no se tiene en cuenta es la variación térmica exterior constante. El nivel óptimo de confort en situaciones tan variables como el caso de estudio, debería ser un rango que permita tanto a las viviendas acomodarse a la condición deseada como al usuario adaptarse a sus necesidades.

Esta capacidad de adaptación, como se analiza a lo largo del documento, se fue perdiendo a lo largo de los años y con el avance y facilidad de adquirir tecnologías de acondicionamiento, al punto de que las viviendas se construyen con envolventes simples pero se instalan las cañerías para el acondicionamiento mecánico que sin ninguna duda hará falta. Se concluye al respecto que, si se aumentaran las posibilidades de adaptación en las envolventes de los espacios residenciales, se mejoraría notablemente la necesidad de acondicionamiento mecánico adicional.

La hipótesis planteada inicialmente fue que “en climas de grandes amplitudes térmicas es necesario reconsiderar los niveles óptimos de confort higrotérmico que se pretenden alcanzar, considerando tanto la influencia en la valoración de confort interior de los usuarios como su capacidad de adaptación. Particularmente en la arquitectura residencial, direccionando los criterios y estrategias de acondicionamiento pasivo en función de las variaciones térmicas exteriores y las sensaciones subjetivas de sus habitantes”, lo que fue demostrado a lo largo de toda la investigación.

Por un lado, las consideraciones en el diseño y en el cálculo de acondicionamientos adicionales tanto los de refrigeración como los de calefacción, deben cambiar en función de las características climáticas locales, ya que las actualmente consideradas son imposibles de sostener con las variaciones térmicas locales. Además, se deben considerar las valoraciones de los usuarios, ya que como consecuencia de habitar climas templados y con diferencias térmicas constantes, desarrollan una capacidad de adaptación mucho más marcada que los usuarios de otros climas.

En estos climas la adaptación es la clave para la convivencia entre el confort, la eficiencia energética y el clima local. Por lo tanto, se debe promover el uso de las envolventes y de todas las posibilidades que permitiría la arquitectura para alcanzar el equilibrio necesario. Algunas conclusiones a considerar:

- En la ciudad de Córdoba con un clima de grandes amplitudes térmicas, las personas toleran variaciones térmicas constantes sin salir de la sensación de confort. Esto se debe al acostumbramiento de las variaciones constantes exteriores.

Los aspectos psicológicos descritos que intervienen en la sensación de confort es un punto poco considerado. Pero es el responsable de que los usuarios valoren como confortable un rango más amplio de temperatura que aquellos acostumbrados a situaciones estáticas. Lo mismo sucede con los edificios naturalmente ventilados en comparación con los acondicionados mecánicamente, en el primer caso los usuarios se notifican más a gusto con las condiciones interiores que aquellos que mantienen siempre condiciones constantes de temperatura interior y que demuestran disconformidad ante la mínima variación. A mayor variación de temperaturas interiores, mayor rango de confort valorado, es decir mayor adaptación.

- Uno de los aportes más representativos de esta investigación es la redefinición de las condiciones de confort para la ciudad de Córdoba, basándose en las valoraciones subjetivas de los usuarios residenciales a través del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica, logrando dos puntos importantes; en primer lugar que en la ciudad de Córdoba se debería empezar a considerar un rango de confort en invierno y uno en verano; pero además, y como segundo punto, que la temperatura óptima de confort, varía en función de las consideradas hasta la actualidad en las normativas de referencia, planteando

temperaturas óptimas para invierno de 19,6 °C en lugar de 21 °C y para verano 27,4 °C en lugar de 24 °C.

- La climatización mecánica no es indispensable para sentir confort en climas templados de grandes amplitudes térmicas si se considera el diseño de viviendas adaptadas al clima.
- Las temperaturas de confort consideradas hasta la actualidad son mucho más exigentes que el rango obtenido con el método MIST, las cuales se adaptan más a las condiciones locales y la capacidad de adaptación de los usuarios. Posibilitando la utilización de mecanismos pasivos como potencial para un ahorro significativo de energía en climatización residencial.

Bibliografía

- Abrahão Alves, C., Teixeira Gonçalves, F. L., & Silva Duarte, D. H. (2021). The recent residential apartment buildings ' thermal performance under the combined effect of global and local warming. *Energy & Buildings*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110828>
- Al-Atrash, F., Hellwig, R. T., & Wagner, A. (2020). The degree of adaptive thermal comfort in office workers in a hot-summer Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 223, 110147. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110147>
- Alchapar, N., Correa, E., & Cantón, M. (2011). Comportamiento térmico de revestimientos verticales, en la mitigación de la isla de calor urbana. índice de reflectancia solar. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15(0329–5184), 55–64.
- Al-Azri, N., Zurigat, Y., & Al-Rawahi, N. Z. (2013). Development of bioclimatic chart for passive building design. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(6), 713–723. <https://doi.org/10.1080/14786451.2013.813026>
- Arballo, B., Kuchen, E., Scientific, N., & Naranjo, Y. A. (2016). Evaluación de modelos de confort térmico para interiores, (October).
- Arrieta, G., & Maristany, A. (2018). Cambiando los paradigmas: Revisión del concepto de confort higrotérmico desde los 60' hasta la actualidad. *Averma*, 22(2314–1433), 01.01-01.12.
- Arrieta, G., Maristany, A. (2019). Revisión de los rangos de confort invernal de viviendas en Córdoba, como condición para el acondicionamiento natural. *Averma*, 23(2314–1433), 103–113.
- ASHRAE Standard 55. (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Balter, J., Ganem, C., & Discoli, C. (2013). Auditoría térmico-energética y percepción de confort en edificios en altura máxicos 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.
- Bellia, L., d'Ambrrosio Alfano, R. F., Fragliasso, F., Palella, B. I., & Riccio, G. (2021). On the interaction between lighting and thermal comfort: An integrated approach to IEQ. *Energy & Buildings*, 231, 110570. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110570>
- Bojórquez, G., Gómez-Azpeitia, G., García-Cueto, R., Luna, A., & Romero, R. (2010). Confort Higrotérmico para actividades en espacios exteriores: Período cálido. *6CTV Mexicali 2010*, 1–15. Retrieved from http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/12847/1/07_Bojorquez_Gomez-A_Garcia-C_Luna_Romero.pdf
- Bojórquez, Gonzalo, Gómez-Azpeitia, L. G., García-Cueto, O. R., Ruiz-Torres, R. P., & Luna, A. (2010). Temperatura neutral y rangos de confort térmico para exteriores, período cálido en clima cálido seco. *Ambiente Construído*, 10(2), 133–146. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000200009>
- Bojórquez Morales, G. (2010). *Universidad de Colima. Ucol.Mx*. Retrieved from http://www.ucol.mx/interpretextos/pdfs/909_inpret1009.pdf
- Brache, S., & Bischof, W. (2005). Daily time spent indoors in German Homes.pdf. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*.
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de Las Naciones Unidas. Asamblea General, 416. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Chávez del Valle, F. J. (2002). Zona variable de confort térmico (Tesis doctoral). *Capítulo 2*, 36. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/6104>

- Citadini De Oliveira, C., Forgiarini Rupp, R., & Ghisi, E. (2021). Influence of environmental variables on thermal comfort and air quality perception in office buildings in the humid subtropical climate zone of Brazil. *Energy & Buildings*, 243, 110982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110982>
- Confort térmico en bioclima semifrío: Estimación a partir de los enfoques de estudio. Julio César Rincón Martínez. (2015).
- 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.
- Daemei, A. B., Eghbali, S. R., & Khotbehsara, E. M. (2019). Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones. *Journal of Building Engineering*, 25(April), 100758. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100758>
- Darteville, O., Van Moeseke, G., Mlecnik, E., & Altomonte, S. (2021). Long-term evaluation of residential summer thermal comfort : Measured vs . perceived thermal conditions in nZEB houses in Wallonia. *Building and Environment*, 190(December 2020), 107531. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107531>
- Daza, A. N., Puche Berroca, J. D., & Urrea Ceferino, G. (2021). Estrategias de diseño arquitectónico de bajo impacto ambiental como aporte a la eficiencia energética en el clima cálido húmedo. *Tercer Congreso Internacional de Distritos Térmicos. Una Alternativa Ambiental y de Desarrollo Sostenible.*, 8–18.
- de Dear, R., Xiong, J., Kim, J., & Cao, B. (2020). A review of adaptive thermal comfort research since 1998. *Energy and Buildings*, 214, 109893. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109893>
- de Dear, Richard, Kim, J., & Parkinson, T. (2018). Residential adaptive comfort in a humid subtropical climate—Sydney Australia. *Energy and Buildings*, 158, 1296–1305. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.028>
- Du, H., Lian, Z., Lai, D., Liu, W., Duanmu, L., Zhai, Y., ... Zhang, X. (2021). Method of determining acceptable air temperature thresholds in Chinese HVAC buildings based on a data-driven model. *Energy & Buildings*, 241, 110920. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110920>
- Evans, J. M. (2007). The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design.
- Gao, N., Shao, W., Saiedur Rahaman, M., Zhai, J., David, K., & Salim, F. D. (2021). Transfer learning for thermal comfort prediction in multiple cities. *Building and Environment*, 195(November 2020), 107725. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107725>
- García Gomez, C., Bojórquez Morales, G., & Ruiz Torres, P. (2011). Sensación térmica percibida en vivienda económica y auto-producida, en periodo cálido, para clima cálido húmedo. *Ambiente Construido*, 11(4), 099–111. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212011000400008>
- Givoni, B. (1981). Building Bioclimatic Chart.
- 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.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., & Torres, R. P. R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados/Thermal comfort: two confronted theoretical focuses. *Palapa*, 2(1), 45–57. Retrieved from <http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- He, Y., Li, N., Lu, J., Li, N., Deng, Q., Tan, C., & Yan, J. (2021). Meeting thermal needs of occupants in shared space with an adjustable thermostat and local heating in winter : An experimental study. *Energy & Buildings*, 236.

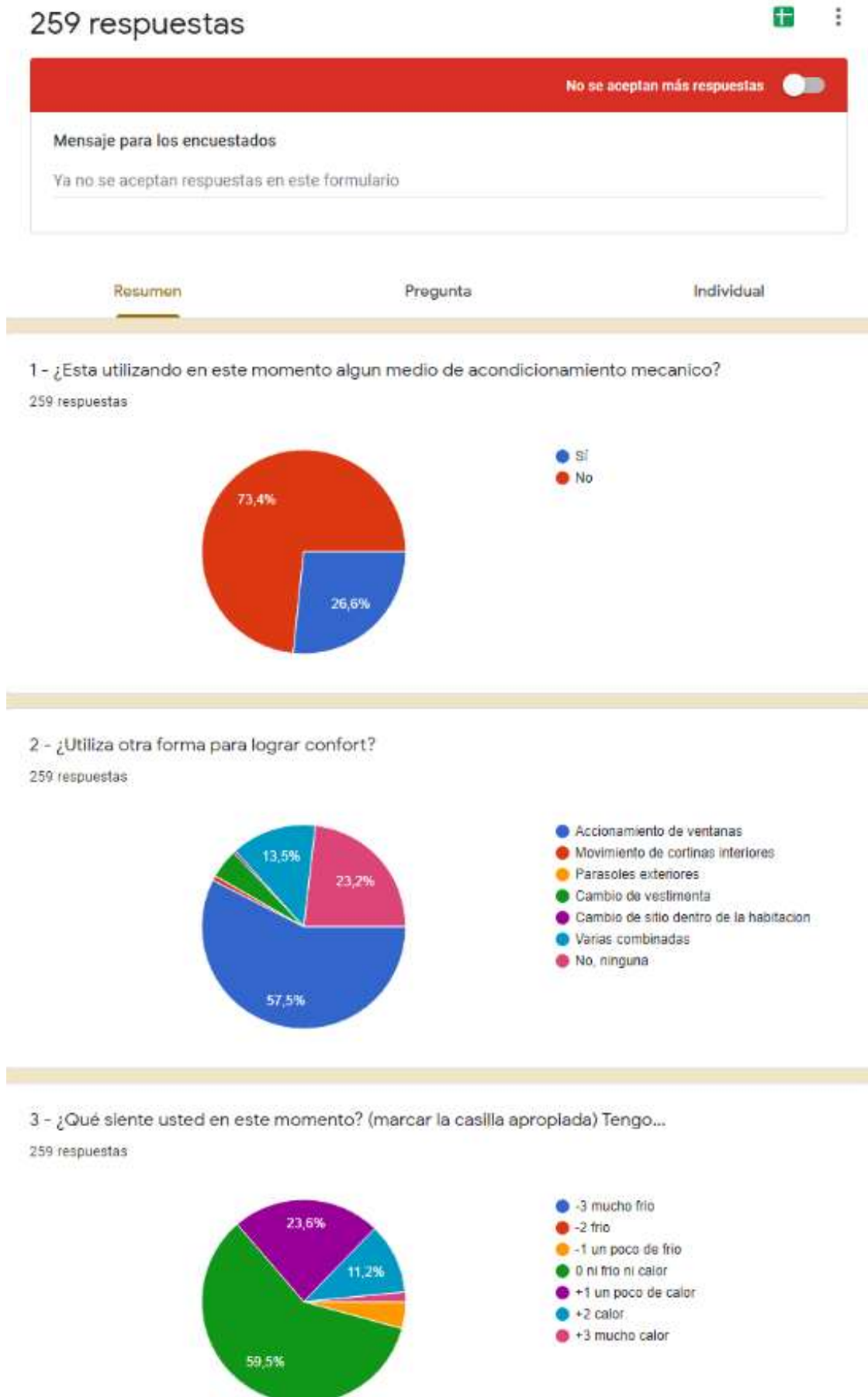
- <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110776>
- Herrera Sosa, L. (2013). Temperatura y rangos de confort térmico en viviendas de bajo costo en clima árido seco. *Hábitat Sustentable*, 3(1), 26–36.
- IRAM 11603. (1996a). IRAM 11603: Acondicionamiento térmico en edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. *Norma Argentina*.
- IRAM 11605. (1996). IRAM 11605: Acondicionamiento térmico en edificios. Condiciones de habitabilidad. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Norma Argentina.
- IRAM 11659-1. (2004). Aislamiento térmico de edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas Ahorro de energía en refrigeración. *Norma Argentina*.
- IRAM 11900. (2009). Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.
- Jara, P. (2015). Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio interior. *UTOPIATEORIARAXIS*, 7(0719–4374), 106–121. Retrieved from <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/view/2529>
- Jiang, J., Wang, D., Liu, Y., Di, Y., & Liu, J. (2021). A holistic approach to the evaluation of the indoor temperature based on thermal comfort and learning performance. *Building and Environment*, 196(19), 107803. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107803>
- Jiao, Y., Yu, H., Yu, Y., Wang, Z., & Wei, Q. (2020). Adaptive thermal comfort models for homes for older people in. *Energy & Buildings*, 215, 109918. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109918>
- Katafygiotou, M. C., & Serghides, D. K. (2015). Bioclimatic chart analysis in three climate zones in Cyprus. *Indoor and Built Environment*, 24(6), 746–760. <https://doi.org/10.1177/1420326X14526909>
- Kim, Jimin, Hong, T., Kong, M., & Jeong, K. (2020). Building occupants' psycho-physiological response to indoor climate and CO₂ concentration changes in office buildings. *Building and Environment*, 169(October 2019), 106596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106596>
- Kim, Joyce, 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>
- Kim, Jungsoo, Tartarini, F., Parkinson, T., Cooper, P., & de Dear, R. (2019). Thermal comfort in a mixed-mode building: Are occupants more adaptive? *Energy and Buildings*, 203, 109436. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109436>
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11, 231–252.
- Kuchen, E. (2008). *Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäuden*. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- Kumar, S., Mathur, A., Singh, M. K., & Rana, K. B. (2021). Adaptive thermal comfort study of workers in a mini-industrial unit during summer and winter season in a tropical country, India. *Building and Environment*, 197(December 2020), 107874. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107874>
- Ledo Gomis, L., Fiorentini, M., & Daly, D. (2021). Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings. *Energy & Buildings*, 231, 110597. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110597>
- Luis Armando Canul Euan. (2018). *Método para determinar el rango de confort térmico estándar en espacios interiores para climas de México*. Universidad de Colima.
- Maristany A.R. (2000). *Regionalización bioclimática de la provincia de Córdoba, Argentina. Pautas para la optimización energética de los edificios*. Universidad internacional de Andalucía. Santa María de La Rábida. España.

- 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.
- Martínez, J. C. R. (2015). Confort térmico en bioclima semifrío: Estimación a partir de los enfoques de estudio.
- Mercado, M., Esteves, A., & Filippín, C. (2008). Estrategias bioclimáticas para viviendas de índoles social en la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 129–136.
- Mercado, M., Esteves, A., & Filippín, C. (2008). Estrategias bioclimáticas para viviendas de índoles social en la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 129–136.
- Mesa, N. A., Arboit, M., & de Rosa, C. (2009). Modelos de cálculo de los rangos del confort térmico. verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 61–68.
- Moreira, D. (2022). Análisis del confort humano (Confort térmico, luminoso y acústico) en viviendas de interés social. Caso de estudio: Virgen de Guadalupe, Picoaza. USGB.
- Müller, E. (2002). Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva. Kassel, Alemania.
- Muñoz Godoy, A. (2012). *El confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación en España*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Narváez Jimbo, E. S. (2019). Repositorio Universidad Católica de Cuenca: Estrategias bioclimáticas para el diseño de viviendas unifamiliares en el clima tropical mega térmico semi húmedo, ubicado en el cantón naranjal. Retrieved from <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8474>
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- O' Donovan, A., Murphy, M. D., & O' Sullivan, P. D. (2021). Passive control strategies for cooling a non-residential nearly zero energy office : Simulated comfort resilience now and in the future. *Energy & Buildings*, 231, 110607. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110607>
- Olgyay. (1963). Diagrama bioclimático de Olgyay. Retrieved from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EOMoOOkeTNgJ:editorial.cd a.ulpgc.es/ftp/ambiente/03-MasterUrb%2BPaisaje/2002-Acond-Ambiental-urbano/2-Comodo%2BClima/Comodidad/Diagrama%2520bioclimatico%2520de%2520Olgyay-2p.doc+&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Parkinson, T., de Dear, R., & Brager, G. (2020b). Nudging the adaptive thermal comfort model. *Energy and Buildings*, 206(03787788), 0–29. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109559>
- Pérez De Ciriza, P. A. (2018). Evaluación del Bienestar Térmico en Locales de Trabajo Cerrados Mediante los Índices Térmicos PMV y PPD. Centro Nacional de Nuevas *Tecnologías*, 2–16.
- 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.
- Rijal, H. B., Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings. *Energy and Buildings*, 202, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109371>
- Rijal, Hom B. (2021). Thermal adaptation of buildings and people for energy saving in the

- extreme cold climate of Nepal. *Energy & Buildings*, 230, 110551. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110551>
- Rissetto, R., Schweiker, M., & Wagner, A. (2021). Personalized ceiling fans : Effects of air motion , air direction and personal control on thermal comfort. *Energy & Buildings*, 235, 110721. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110721>
- Rojas, S. E. C. (2011). Condiciones de aplicación de las estrategias bioclimáticas. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 0(69), 88–100.
- 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>
- Thapa, S., & Indraganti, M. (2020). Evaluation of thermal comfort in two neighboring climatic zones in Eastern India—an adaptive approach. *Energy and Buildings*, 213, 109767. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109767>
- 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.
- 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 10551.1995. (2002). ISO 10551 - Ergonomía del ambiente térmico Enero 2002 Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo.
- Vakalis, D., Diaz Lozano Patino, E., Opher, T., Touchie, M. F., Burrows, K., Maclean, H. L., & Siegel, J. A. (2021). Quantifying thermal comfort and carbon savings from energy-retrofits in social housing. *Energy & Buildings*, 241, 110950. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110950>
- 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.
- Wei, W., Yan, C., Sun, L., Ip, D. Y. K., Lee, H., Chao, C. Y. H., & Lau, A. K. H. (2019). Energy & Buildings Energy consumption , indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat , ventilation and air conditioning (HVAC) system. *Energy & Buildings*, 201, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.029>
- Williamson, T., & Daniel, L. (2020). A new adaptive thermal comfort model for homes in temperate climates of Australia. *Energy & Buildings*, 210, 109728. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109728>
- Wu, Z., Li, N., Wargocki, P., Peng, J., Li, J., & Cui, H. (2019). Adaptive thermal comfort in naturally ventilated dormitory buildings in Changsha, China. *Energy and Buildings*, 186(January), 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.029>
- Yan, S., Liu, N., Wang, W., Han, S., & Zhang, J. (2021). An adaptive predicted percentage dissatisfied model based on the air-conditioner turning-on behaviors in the residential buildings of China. *Building and Environment*, 191(January), 107571. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107571>
- 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>

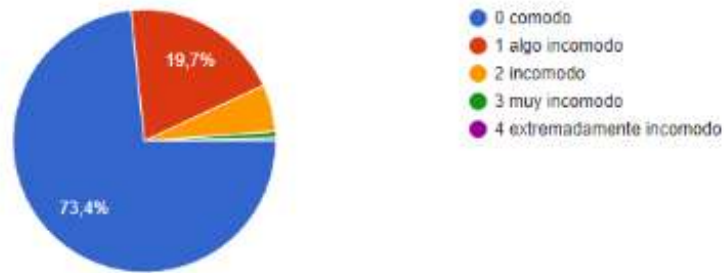
Anexo 1

Resumen de las encuestas realizadas en el verano del 2019.



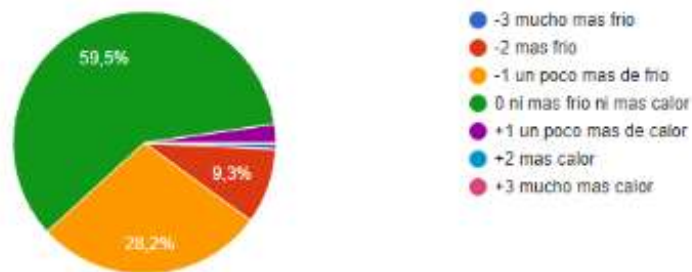
4 - Se encuentra usted...

259 respuestas



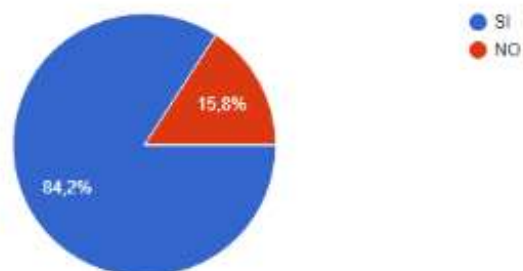
5 - En este momento preferiría tener...

259 respuestas



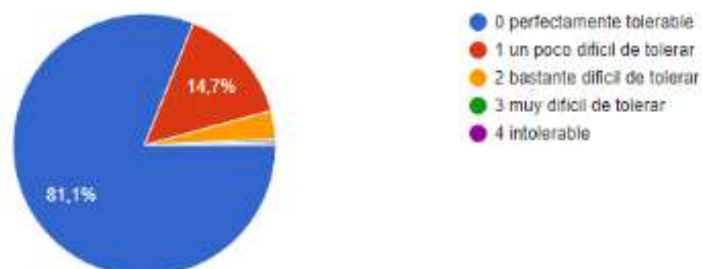
6 - Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?

259 respuestas

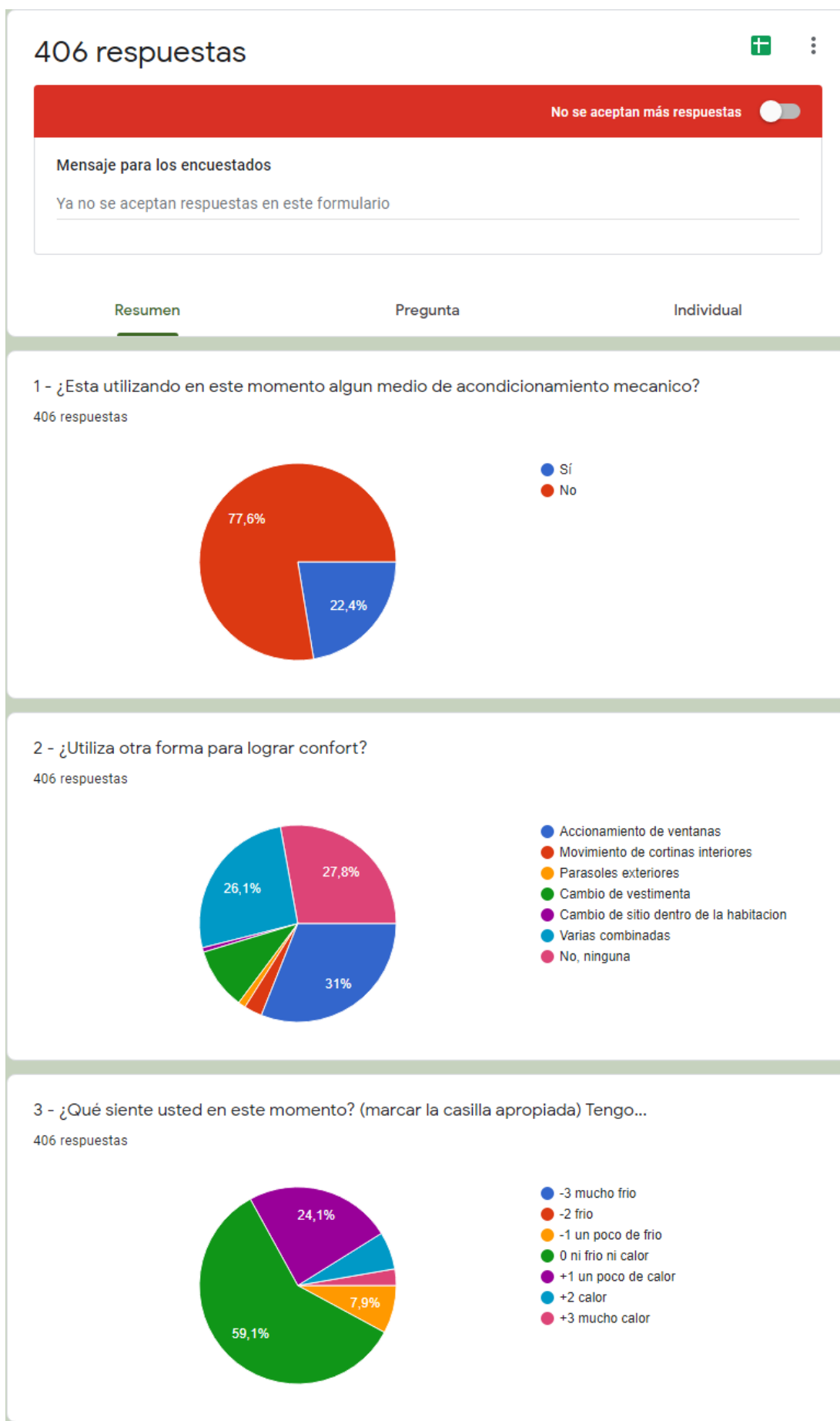


7 - En su opinión, este ambiente térmico es...

259 respuestas

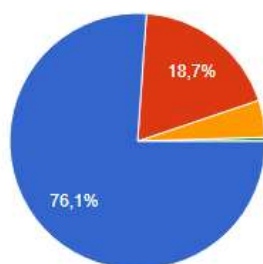


Resumen de las encuestas realizadas en el verano del 2020.



4 - Se encuentra usted...

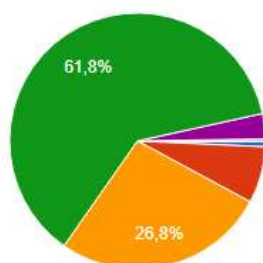
406 respuestas



- 0 comodo
- 1 algo incomodo
- 2 incomodo
- 3 muy incomodo
- 4 extremadamente incomodo

5 - En este momento preferiría tener...

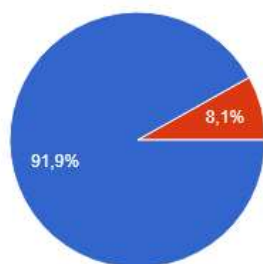
406 respuestas



- -3 mucho mas frio
- -2 mas frio
- -1 un poco mas de frio
- 0 ni mas frio ni mas calor
- +1 un poco mas de calor
- +2 mas calor
- +3 mucho mas calor

6 - Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?

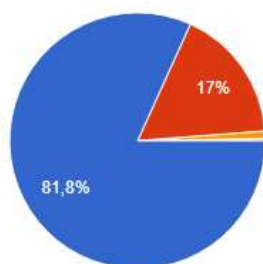
406 respuestas



- SI
- NO

7 - En su opinión, este ambiente térmico es...

406 respuestas



- 0 perfectamente tolerable
- 1 un poco difícil de tolerar
- 2 bastante difícil de tolerar
- 3 muy difícil de tolerar
- 4 intolerable

Resumen de las encuestas realizadas en el invierno del 2019.

416 respuestas



No se aceptan más respuestas

Mensaje para los encuestados

Ya no se aceptan respuestas en este formulario

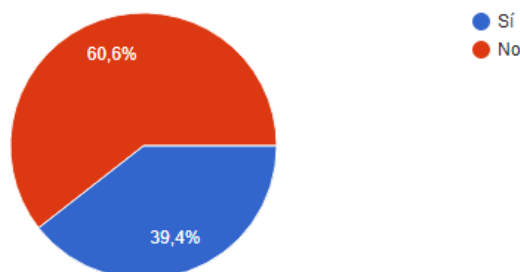
Resumen

Pregunta

Individual

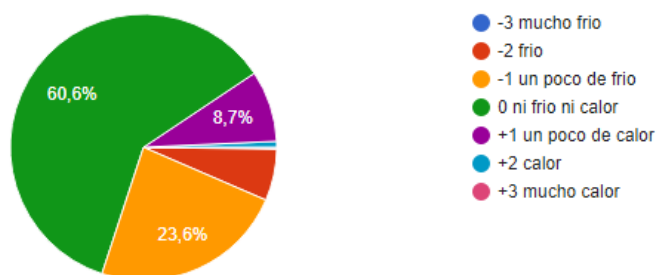
1 - ¿Esta utilizando en este momento algun medio de acondicionamiento mecanico?

416 respuestas



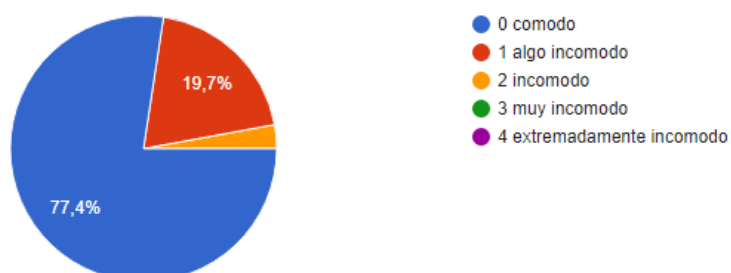
2 - ¿Qué siente usted en este momento? (marcar la casilla apropiada) Tengo...

416 respuestas



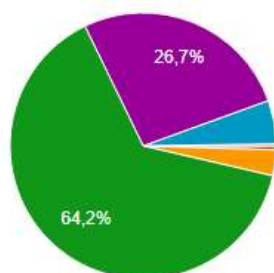
3 - Se encuentra usted...

416 respuestas



4 - En este momento preferiría tener...

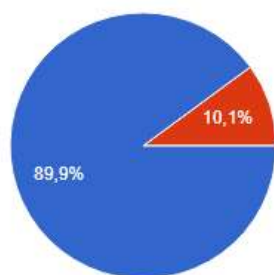
416 respuestas



- -3 mucho mas frio
- -2 mas frio
- -1 un poco mas de frio
- 0 ni mas frio ni mas calor
- +1 un poco mas de calor
- +2 mas calor
- +3 mucho mas calor

5 - Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?

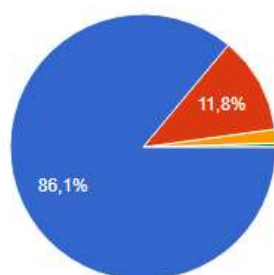
416 respuestas



- SI
- NO

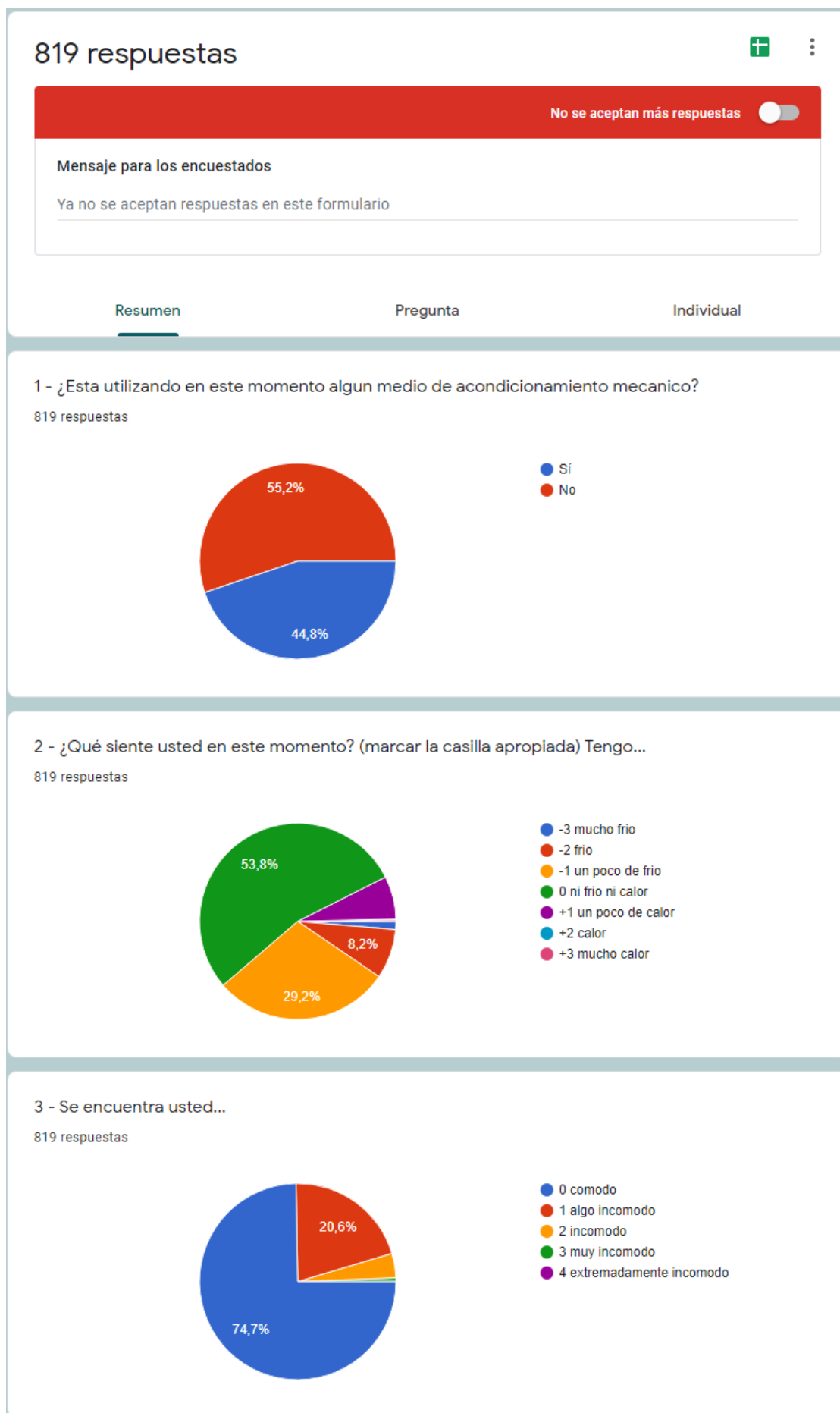
6 - En su opinión, este ambiente térmico es...

416 respuestas



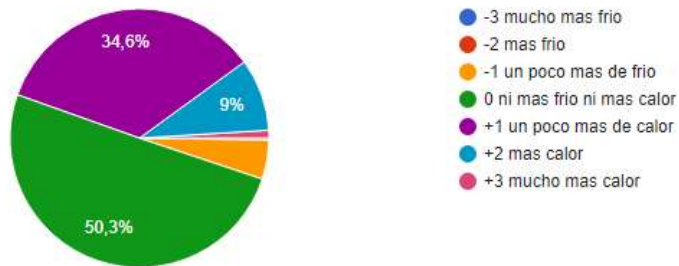
- 0 perfectamente tolerable
- 1 un poco difícil de tolerar
- 2 bastante difícil de tolerar
- 3 muy difícil de tolerar
- 4 intolerable

Resumen de las encuestas realizadas en el invierno del 2020.



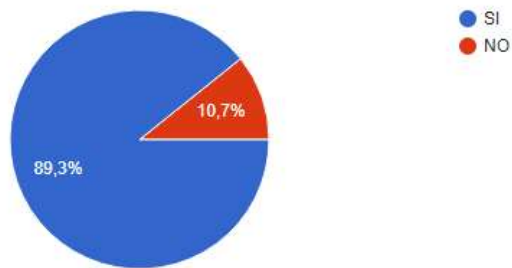
4 - En este momento preferiría tener...

819 respuestas



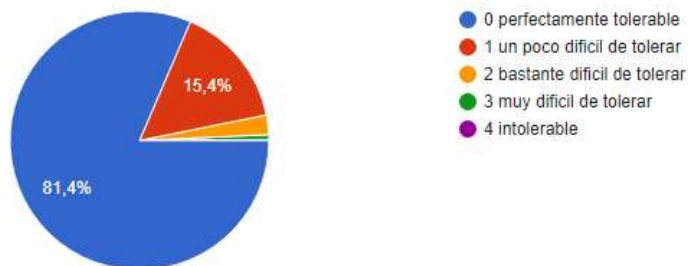
5 - Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿aceptaría usted este ambiente térmico en lugar de rechazarlo?

819 respuestas



6 - En su opinión, este ambiente térmico es...

819 respuestas

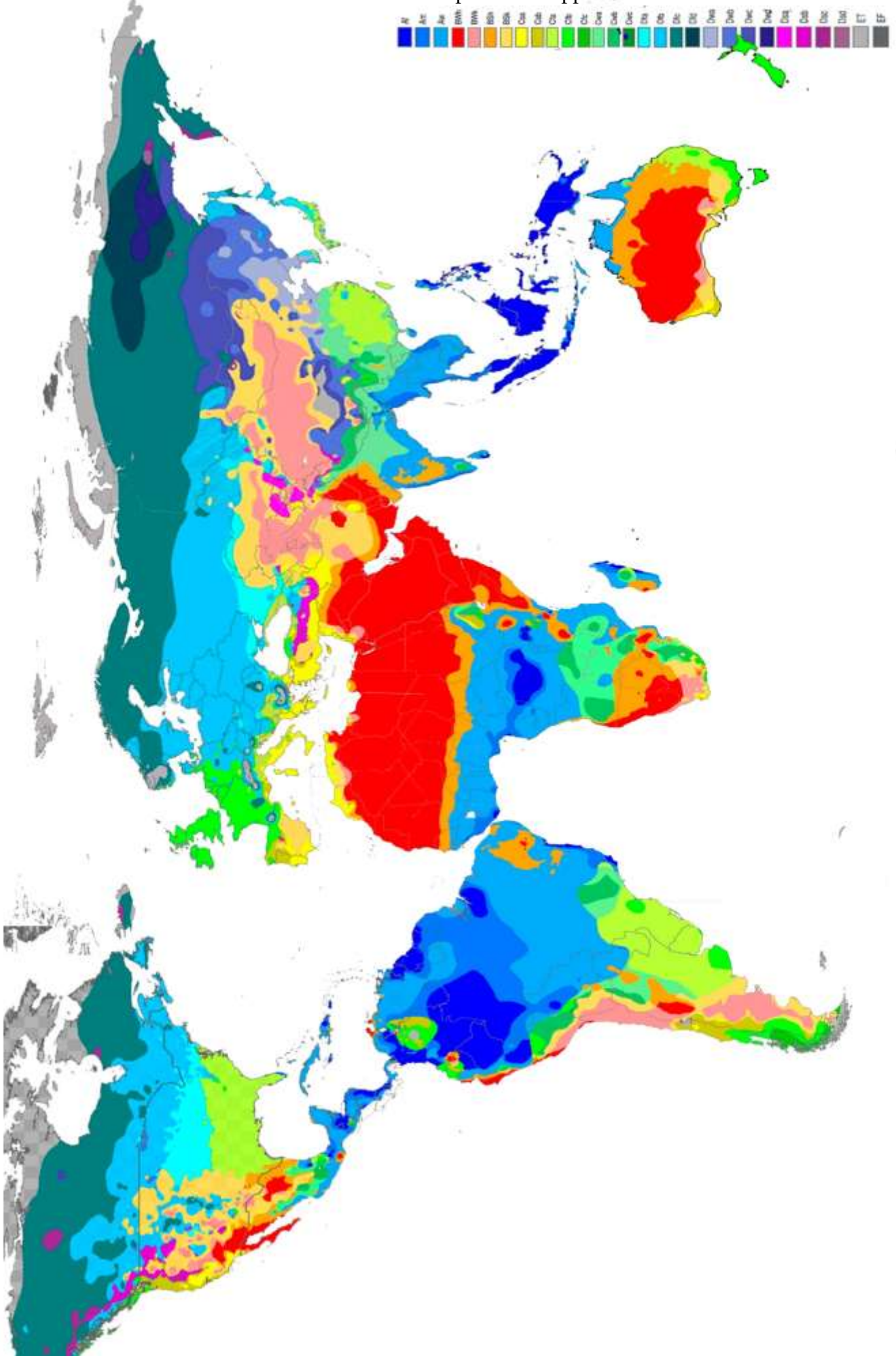


Anexo 2

Tabla de clasificación climática según de Köppen. Elaborado a partir de Esquemas y mapas conceptuales de Geografía | Docsity

Letra	Umbral térmico	Clima	Grupos climáticos secundarios y régimen pluviométrico		Régimen térmico	
A	Temperatura media mensual $>18^{\circ}\text{C}$	CLIMA CÁLIDO	f	Mes más seco $>60\text{mm}$	i	Régimen isotérmico, cuya amplitud térmica anual no es $>5^{\circ}\text{C}$
			m	Mes más seco $<60\text{mm}$ e $\geq 100\text{mm}$ - (Precipitación media anual en mm)		
			w	Mes más seco es $<60\text{mm}$ y también $<100\text{mm}$ - (Precipitación media anual en mm)		
B	Evaporación supera a la precipitación	CLIMAS SECOS (áridos y semiáridos)	BS (Estepa/Semiárido)	LLueve en invierno $P(\text{cm}) \leq 2T$	h	La temperatura media anual es $>18^{\circ}\text{C}$
				LLueve en verano $P(\text{cm}) \leq 2T+28$		
			BW (Desértico/Árido)	LLluvias irregulares $P(\text{cm}) \leq 2T+14$	k	La temperatura media anual es $>18^{\circ}\text{C}$
				LLueve en invierno $P(\text{cm}) \leq T$		
			La precipitación se presenta en mm, por lo que es necesario convertir las unidades esto es $\text{cm}=\text{mm}/10$	LLueve en verano $P(\text{cm}) \leq T+14$	k''	La temperatura media anual y media mensual del mes más cálido es $<18^{\circ}\text{C}$
				LLueve en invierno $P(\text{cm}) \leq T+7$		
C	Temperatura media del mes más frío es $<18^{\circ}\text{C}$ y $>-3^{\circ}\text{C}$	CLIMAS TEMPLADOS	s	Mes más seco en verano es inferior a 1/3 de la del mes más lluvioso de invierno.	a	La temperatura media del mes más cálido es $>22^{\circ}\text{C}$
			w	Mes más lluvioso en verano es, al menos, 10 veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.	b	La temperatura media del mes más cálido $<22^{\circ}\text{C}$, al menos, 4 meses con T medias $>10^{\circ}\text{C}$
D	Temperatura media del mes más frío es $<-3^{\circ}\text{C}$ y la del mes más cálido $>10^{\circ}\text{C}$	CLIMAS TEMPLADOS (con inviernos rigurosos)			c	La T media del mes más frío es $>-38^{\circ}\text{C}$ y el mes más cálido es $<22^{\circ}\text{C}$ y menos de 4 meses T media $>10^{\circ}\text{C}$
			f	No hay una estación seca. El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre 3 y 10 veces la precipitación del mes más seco.	d	La temperatura media mensual del mes más frío es $<-38^{\circ}\text{C}$
E	Ningún mes con temperatura media $>10^{\circ}\text{C}$	CLIMAS FRÍOS	ET (Tundra)	Temperatura media del mes más cálido debe estar entre 0°C y 10°C		
			EF (Hielo)	Temperatura media del mes más cálido debe ser $>0^{\circ}\text{C}$		

Clasificación climática mundial elaborada a partir de Köppen.



En la presente investigación se identifica la evolución contextual del paradigma de confort desde los años 60 hasta la actualidad y la influencia de la tecnología en la forma de vida de las personas y sus pretensiones. Durante los últimos cinco años de investigaciones específicas sobre confort térmico se identifican diferentes conceptualizaciones, definiciones y fórmulas consideradas.

Actualmente coexisten dos modelos que predicen su cuantificación con puntos de vista diferentes. El modelo de balance térmico (basado en estudios de laboratorio), donde las variables personales como la vestimenta, el aislamiento y el metabolismo, están determinadas por la tarea y normalmente se suponen fijas. Y el modelo denominado adaptativo (basado en estudios de campo) cuyo objetivo es estudiar el confort térmico en el contexto real mientras los sujetos encuestados desarrollan normalmente su trabajo, las personas pueden controlar su ambiente intentando alcanzar la comodidad térmica, por lo tanto, también el comportamiento y las posibilidades que brinda el edificio juegan un papel importante. Recientemente, fue desarrollado por Guillermo Küchen el modelo adaptativo-variable, en el que cada usuario con su comportamiento representa un factor de eficiencia potencial para el edificio.

El confort térmico, es una condición psicofísica; esto explica que ante iguales condiciones térmicas de vestimenta y de actividad, las personas valoran sentirse diferente. Son conocidos y ya estudiados los distintos parámetros que intervienen en la percepción del confort, las variables son muchas y muy amplias. De aquí se desprenden diversas fórmulas para obtener el rango de confort según diferentes autores de alcance internacional como ASHRAE: 55 y la norma europea EN UNE. En el marco local no hay normativas obligatorias para utilizar en la construcción, pero sí hay algunas que se recomiendan como referencia, tanto en el área académica como profesional, las conocidas normas IRAM que definen al confort térmico como las condiciones dadas de temperatura y humedad relativa con las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos.

Con el objetivo de determinar el rango de confort en viviendas de Córdoba para invierno y verano según valoraciones subjetivas de los habitantes, se aplica el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST). Este método permite establecer un rango de confort teniendo en cuenta no solo las condiciones locales de temperatura, sino también las valoraciones de las personas que habitan los espacios monitoreados, tomando todos los niveles de sensación térmica y no solo el de confort. Se desarrolla el estudio durante los años 2019, 2020 y 2021, se concluye un rango de confort para invierno y verano según este método.

Pero los climas intermedios con amplitudes térmicas grandes son difíciles de resolver con envolventes fijas, estáticas o generalizadas, necesitan de la interacción de los usuarios para poder aprovechar las variaciones exteriores a favor de las condiciones interiores y lograr el confort térmico prolongado en el tiempo. La clave para lograr confort térmico interior en climas de grandes amplitudes térmicas, lejos de las estrategias estandarizadas que proponen los diferentes autores, es la posibilidad constante de adaptación.

ISBN 978-987-8486-44-4



9 789878 486444