

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y AMBIENTE

Folleto:

**Comportamiento del ocupante y su modelado en términos del
consumo de energía en edificaciones**



[Esta foto](#) de Autor desconocido está bajo licencia [CC BY-SA-NC](#)

Docente: Dafni Yeniveth Mora Guerra

PANAMÁ, 2021



Mora, Dafni, 2022

©2022, Folleto del Comportamiento del ocupante y su modelado en términos del consumo de energía en edificaciones por Mora, Dafni.

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Obra bajo Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver esta licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Fuente del documento ,Repositorios Institucional UTP-Ridda2

<https://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/13486>

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
1. ANTECEDENTES DEL SECTOR ENERGÉTICO EN PANAMÁ.....	4
1.1 Códigos de Eficiencia de Construcción	6
2. COMPORTAMIENTO DEL OCUPANTE EN EDIFICIOS	9
2.1 Contexto General.....	9
2.2 Definición del Comportamiento del Ocupante.....	10
2.3 Comportamiento del ocupante y el consumo de energía.....	11
2.3.1 Comportamiento de los ocupantes en edificaciones energéticamente mejoradas. Efecto Rebote.....	15
2.4 Uso de energía en edificios residenciales.....	15
2.5 Uso de energía en edificios comerciales /oficinas	19
2.6 Confort Térmico y el Comportamiento del Ocupante.....	21
3. SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES	27
4. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DEL OCUPANTE	35
4.1 Niveles del modelado	37
4.2 Edificios residenciales.....	38
4.3 Edificios comerciales/oficinas.....	38
5. CONCLUSIONES	40
Agradecimientos	41
BIBLIOGRAFÍA	42

INTRODUCCIÓN

Panamá, parte de América Central, es un país en vías de desarrollo y con una economía emergente, en donde es relevante el estudio del consumo energético. Mejorar el rendimiento energético de los edificios es un objetivo importante para lograr una sociedad más sostenible.

Un desafío importante para mejorar el rendimiento energético es conocer el impacto del comportamiento del ocupante en las edificaciones. Existen diferentes variables que pueden influir en el consumo de energía de un país tropical como Panamá. Dichas variables pueden ser las diferentes estaciones, el tipo de vivienda, métodos de construcción, el uso de diferentes aparatos electrónicos como los aires acondicionados, neveras, lavadoras, entre otros.

El estudio del comportamiento del ocupante (en inglés conocida como *Occupant Behavior* o por sus siglas OB) y el consumo de energía en edificaciones es un tema que se está estudiando en las últimas décadas y es un tema de tendencia a nivel mundial. Estudiado por importantes grupos de investigación y proyectos que incluyen a la Agencia Internacional de Energía (en inglés conocida como *International Energy Agency* o por sus siglas IEA) y el programa de energía en los edificios y comunidades (en inglés conocido como *Energy in Buildings and Communities Programme*, EBC).

Se han realizado en la última década importantes avances a nivel de país para mitigar los efectos del cambio climático y en donde las edificaciones juegan un papel importante en las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, aún queda un largo camino y que definirá el que Panamá pueda cumplir con la meta 2030 en la reducción de las emisiones y otros compromisos adquiridos en el Acuerdo de París.

Este documento aborda la influencia del comportamiento del ocupante en el consumo de energía incluyendo los siguientes aspectos en sus cuatro capítulos: inicia con algunos antecedentes del sector energético en Panamá y las iniciativas implementadas en la última década, luego en el capítulo dos se aborda la definición del OB en este tipo de investigaciones, en el capítulo tres la simulación y finalmente se desarrolla el tema del modelado.

1. ANTECEDENTES DEL SECTOR ENERGÉTICO EN PANAMÁ

En la República de Panamá, la demanda de energía se divide en cuatro sectores según el tipo de actividad a la que se dedique cada cliente: residencial, comercial, gubernamental e industrial. Considerando esta clasificación, en 2019, la mayor concentración de clientes se dio en el sector residencial, con el 90% del total. La provincia con mayor concentración de clientes es Panamá, con el 59% del total de clientes del país [1].

Las ciudades son responsables de más de dos tercios de la demanda total energética y Panamá no se escapa a esta realidad, en donde, con una población de 4.1 millones al año 2016, más del 75% de los panameños habita en áreas urbanas y la mitad habita en la ciudad de Panamá. La República de Panamá tiene un territorio de 75,845 km² y clima monzónico o subecuatorial y la ciudad de Panamá tiene un territorio de 9166 km².

El consumo del sector residencial representa más del 30% de la demanda de energía eléctrica y el aumento en la población representará un aumento en la cantidad de hogares que consumirán más energía [2], de allí la importancia de continuar aportando soluciones que permitan mejorar la eficiencia energética de las edificaciones nuevas y de las existentes (sujetas a remodelaciones).

En la última década se han realizado importantes avances en relación con la normativa nacional relacionada con el uso de energía en las edificaciones. En la Figura 1 se aprecian diferentes iniciativas que han tenido los gobiernos locales con miras al cumplimiento de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y que han llevado a la implementación de un reglamento de construcción sostenible y otras iniciativas, tanto de cumplimiento voluntario como obligatorio. Estas medidas se han implementado de manera escalonada y se sigue trabajando en la definición de nuevas regulaciones para edificaciones [3].

La Secretaria Nacional de Energía (SNE) ha establecido indicadores que miden el desempeño energético por sector [4] y recientemente la SNE anunció que impulsaran proyectos de ahorro energético en el sector público a través de la figura del Administrador Energético [5].

Panamá firmó el Acuerdo de Paris en el año 2016 asumiendo una serie de compromisos encaminados a proteger el planeta y mitigar los efectos del cambio climático. Las diferentes políticas liderizadas por entidades como SNE, Ministerio de Comercio e Industrias (MICI) y muchas otras aportan avances en lograr nuestros objetivos. En la

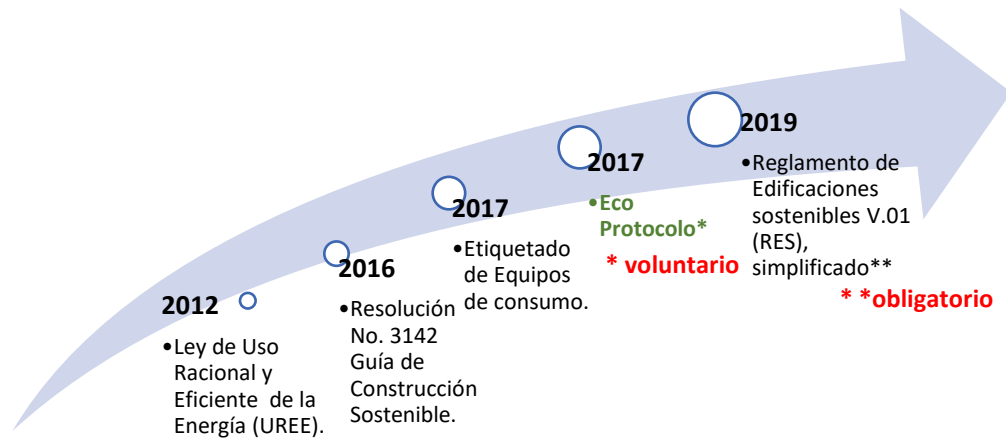


Figura 1. Iniciativas locales de la última década en relación con el uso de energía en edificaciones y la eficiencia energética [3].

Figura 2 se presenta un resumen de los responsables de las políticas energéticas locales.

Responsabilidades de la Política Energética



Figura 2. Principales actores en la ejecución de las políticas energéticas locales

La aprobación de códigos y normas de construcción es para Panamá de importancia crucial. En un país donde más del 70% de la electricidad se consume en casas y edificios se requiere que arquitectos e ingenieros aprovechen el medio natural y el diseño bioclimático con miras a reducir el consumo de energía. En la actualidad la SNE impulsa una propuesta de regulación sobre eficiencia energética y uso racional

del agua en la construcción, mediante la emisión de un código para adopción de medidas costo-eficiente en edificios; en cumplimiento con la ley 69 de UREE.

De igual manera Panamá está comprometida con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que marcan la ruta a seguir hacia el 2030. En este sentido el ODS 7 que aplica específicamente al sector energético “Energía asequible y no contaminante”. Este ODS abarca varios aspectos de manera paralela, tales como el acceso universal a servicios energéticos, cerrar la brecha de los sectores vulnerables sin acceso a energía (reducción de la pobreza energética), ampliar el uso de las energías renovables en Panamá, aumentar la investigación en este sector, entre otros.

Se desarrolló el Plan energético Nacional 2015-2050 “Panamá el futuro que queremos” [2] en donde se plantearon dos escenarios, uno de referencia y otro alternativo, que representan futuros posibles en términos energéticos. Se tomaron en cuenta datos estadísticos de crecimiento demográfico, mejores ingresos y mejoras en el acceso a la energía, la urbanización y reducción de la pobreza multidimensional y otros para realizar las proyecciones de demanda de ambos escenarios. Según la IEA las tres principales dimensiones del desarrollo energético son sostenibilidad, asequibilidad y confiabilidad y estarán estrechamente relacionadas con las políticas energéticas que logre implementar cada país [6].

Otro aspecto a tomar en cuenta es la interconexión eléctrica de la región Centroamericana y Panamá, el Sistema de Interconexión Eléctrica de los países de América Central (SIEPAC) abarca un total de 1800 Km entre Guatemala y Panamá con 20 tramos en total, en Panamá tiene una subestación nacional en Veladero [6].

Actualmente importantes iniciativas se ejecutan por parte del Gobierno central como parte de su Agenda de Transición Energética que contempla aspectos como: movilidad eléctrica, descentralización, descarbonización de la matriz energética, diagnóstico de la pobreza energética de Panamá, entre otros [3].

1.1 Códigos de Eficiencia de Construcción

El Instituto de Recursos Mundiales (IRM) es una organización mundial, no gubernamental, de investigación, que busca crear condiciones de equidad y prosperidad a través de la administración sostenible de los recursos naturales. El IRM justifica la implementación y necesidad de los códigos de eficiencia de construcción, ya que son herramientas reguladoras que establecen niveles mínimos de energía u otra

eficiencia de recursos para diferentes tipos de construcción; Pueden cubrir el diseño de cualquier tipo de sistema de construcción. Los códigos son más efectivos cuando se desarrollan en un paquete de políticas de regulaciones obligatorias y financiamiento, programas de financiamiento e incentivos para que los actores superen los requisitos mínimos de desempeño. Los códigos de energía juegan un papel fundamental en los objetivos de eficiencia energética, convirtiéndolos en una política prioritaria para las economías en desarrollo y emergentes. Los códigos de construcción se centran más comúnmente en edificios nuevos, pero también se aplican a edificios existentes, generalmente durante las renovaciones. Esos códigos de energía pueden ser una herramienta poderosa para los Estados Unidos, donde dichos códigos ahorraron más de \$ 44 mil millones en costos de energía y 300 millones de toneladas de emisiones de carbono entre 1992 y 2014. Los códigos de construcción sostenible han ayudado a muchos países a cumplir con sus metas de ahorro de energía y reducción de emisiones y van en aumento, principalmente porque son instrumentos efectivos para mejorar la eficiencia de edificios residenciales y no residenciales.

Los códigos de construcción sostenible se pueden dividir, por el tipo de obligación, en obligatorios y voluntarios. Ambos, códigos voluntarios como obligatorios requieren un procedimiento para validar su cumplimiento. De manera general, estos procedimientos pueden ser de dos tipos: por desempeño o prescriptivos [7].

El Código de construcción sostenible de Panamá (RES) [8], se basa en un procedimiento prescriptivo-simplificado que permitirá su fácil adopción a nivel nacional. Dentro de este procedimiento simplificado se debe completar el formato de Informe de Desempeño Energético o IDE, que es un documento que se compone de una hoja de información del proyecto y declaratoria firmada por el profesional habilitado, hoja de evaluación del proyecto, hojas de cálculo y certificados o fichas técnicas de los equipos y materiales que avalen los datos ingresados en los cálculos.

Este proceso requiere de la revisión de información técnica sobre las prestaciones térmicas de la edificación y evaluar el cumplimiento y se ha propuesto la figura de Verificador Energético. El verificador energético cumple un papel fundamental en el proceso de evaluación, a nivel técnico y administrativo.

Hoy en día, el objetivo de las regulaciones de desempeño energético es disminuir la carga ambiental impuesta por la energía consumida en el entorno construido. Es

necesario verificar la efectividad de las regulaciones energéticas para discernir si se generarán más ahorros de energía mediante regulaciones energéticas más estrictas. Se cree que el comportamiento de los ocupantes, la calidad real de la construcción y los efectos de rebote podrían estar socavando el efecto de las regulaciones. Cuanto menor es el consumo de energía de un edificio, mayor puede ser la influencia del comportamiento de los ocupantes, pero se sabe poco sobre las formas en que los ocupantes usan los edificios y cómo esto afecta el uso de la energía. Además, sin datos estadísticos precisos sobre el comportamiento de los ocupantes, es imposible predecir el efecto de las políticas futuras sobre el rendimiento del ahorro de energía en la vivienda [9].

El objetivo de las normativas sobre rendimiento energético es reducir el consumo de energía relacionado con los edificios en las nuevas viviendas. Los estudios han demostrado que las regulaciones energéticas han reducido de manera efectiva el consumo de energía, pero este efecto debe ser validado. En otras palabras, el efecto de las regulaciones de rendimiento energético sobre el consumo de energía podría girar en torno a diferentes factores. Para tomar de referencia, el gobierno holandés ha reforzado el Coeficiente de Rendimiento Energético de forma regular. En quince años se han realizado dos estudios para evaluar la eficacia de las normativas de rendimiento energético sobre la energía real consumida para calefacción [9].

En nuestro país, con la reciente implementación de normativas enfocadas en la mejora de la eficiencia energética y uso racional de la energía, se debe considerar a mediano plazo, la evaluación del impacto de estas medidas, desde una perspectiva global y tomando referencia de experiencias de gobiernos que las han evaluado.

2. COMPORTAMIENTO DEL OCUPANTE EN EDIFICIOS

2.1 Contexto General

Una de las barreras más importantes cuando se busca mejorar la eficiencia energética de los edificios, es la falta de conocimiento sobre los factores que determinan el uso final de la energía. La Agencia Internacional de Energía (IEA) y el Programa de Energía en los Edificios y Comunidades (EBC), en su proyecto Anexo 53 [10] identificó seis factores determinantes en el uso de energía en edificios: (1) clima, (2) envolvente del edificio, (3) sistemas de energía y servicios del edificio, (4) criterios de diseño interior, (5) operación y mantenimiento del edificio y (6) comportamiento de los ocupantes (Figura 3).



Figura 3. Factores que determinan el uso de energía en los edificios

Las cinco primeras áreas se han desarrollado con un progreso significativo a lo largo de los años, sin embargo, con respecto al último punto, existen fallas científicas actuales en el modelo energético relacionado con el comportamiento de los ocupantes en edificios. El consumo energético de un edificio varía considerablemente dependiendo de cada uno de estos aspectos, es por ello la importancia de contextualizar el entorno específico de estudio para realizar una adecuada gestión energética, incluyendo al detalle posible, los parámetros del sitio en estudio.

Estudios recientes concluyen que a medida que los edificios se vuelven más eficientes energéticamente, el comportamiento de los ocupantes juega un papel cada vez más importante en el consumo [11]–[14].

En términos de usos finales de energía, la cantidad de energía utilizada por los edificios residenciales se dedica a usos eléctricos como iluminación, electrodomésticos y aire acondicionado, mientras que los usos térmicos se satisfacen principalmente con fuentes fósiles como acondicionamiento térmico de espacios (mayor porcentaje), agua caliente sanitaria (ACS) y cocción [15]. Actualmente, con la implementación de nuevas tecnologías orientadas al ahorro energético y los sistemas de evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios (LEED, EDGE, BREEAM, VERDE, DGNB, entre otras), ha surgido un nuevo enfoque relacionado con ¿cómo afecta el uso de la energía debido al comportamiento de los ocupantes?, con una óptica de compartir experiencias y de unificar criterios [16]. Un aspecto a considerar es la clasificación del tipo de edificación a estudiar: residencial, comercial y uso de oficina, que son los que se consideran que tienen un impacto directo producido por los ocupantes [16]. En el caso de los edificios de uso industrial, el consumo de energía predominante es por la maquinaria utilizada y el ocupante no es protagonista, por lo cual requiere otro tipo de análisis y modelado que no se incluye en este documento.

2.2 Definición del Comportamiento del Ocupante

En el contexto de este documento y en general de las investigaciones realizadas y citadas, el término "comportamiento" se puede definir como las acciones o reacciones observables de una persona en respuesta a estímulos externos o internos, o las acciones o reacciones de una persona para adaptarse a las condiciones ambientales como la temperatura o la calidad del aire interior o la luz solar [17]. El término "objetos del comportamiento" se refiere a los elementos del edificio, como ventanas, cortinas y los electrodomésticos relacionados con el uso de energía que pueden ser controlados por los ocupantes. El comportamiento se ha definido como todas las actividades que las personas realizan en el edificio, mientras que el uso se refiere a la interacción directa entre un ocupante y una acción para lograr un objetivo.

El comportamiento se puede considerar desde dos puntos de vista, uno es cómo las personas ocupan el edificio, conocido como "ocupación", que podría verse como el nivel principal de modelado del comportamiento de los ocupantes (espacio ocupado o vacío). La otra es cómo interactúan con dispositivos, como los mencionados anteriormente (ventanas, puertas, persianas, aire acondicionado, luces y equipos) Figura 4. El modelado del comportamiento de los ocupantes es mucho más detallado

y complejo que la detección de ocupación. En cuanto al comportamiento, los ocupantes de los edificios se comportan de dos formas: la adaptación al entorno interior y los propios ocupantes. Los comportamientos relacionados con el medio ambiente pueden incluir el encendido/ apagado de la iluminación, la apertura/cierre de ventanas o el ajuste del termostato, mientras que los comportamientos personales consisten en cambiar el nivel de vestimenta, posiciones o gestos, etc. [18].

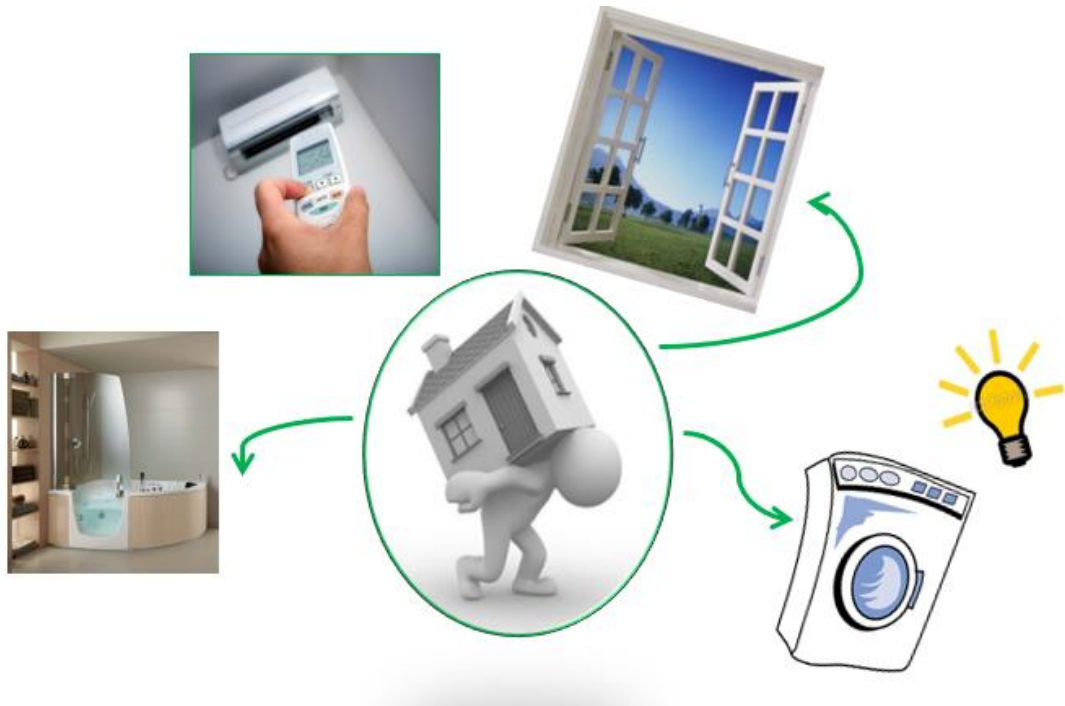


Figura 4. Comportamiento del ocupante relacionado con el consumo de energía en las edificaciones.

2.3 Comportamiento del ocupante y el consumo de energía

Hay reportes de estudios de la relación entre el comportamiento del ocupante y el consumo de energía desde 1978 [19], en donde el investigador hizo una propuesta general para identificar la contribución del efecto de los residentes en la variación del consumo de energía en residencias similares. A lo largo de los años y en los diferentes continentes se ha seguido estudiando este tópico, hasta convertirse actualmente en un tema del momento de acuerdo al incremento en las publicaciones indexadas en los últimos diez años en Scopus [20] y otras bases de datos.

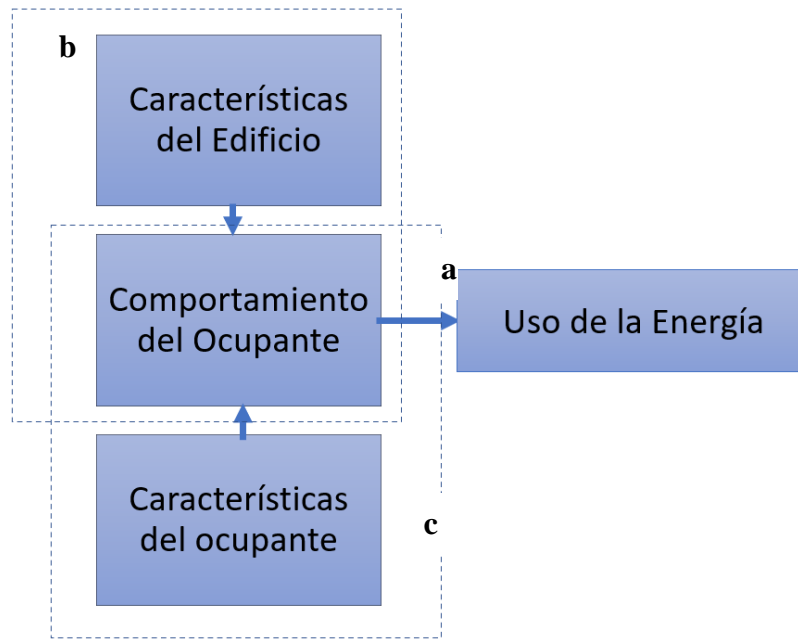


Figura 5. Marco conceptual del Estudio de los Ocupantes en relación con el consumo de energía [9].

En la Figura 5 se muestra el marco conceptual propuesto por Guerra Santín [9] y que refleja el concepto del estudio de comportamiento del ocupante en relación con el consumo de energía de manera amplia. En primer lugar, se analiza el efecto del comportamiento de los ocupantes sobre el uso de energía (a); en segundo lugar, se investiga la relación entre el comportamiento de los ocupantes (b) y las características del edificio; y, por último, se estudia la relación entre el comportamiento y las características de los hogares (c).

Este marco conceptual se aplica a las investigaciones realizadas en este tema y que también se clasifican por otros criterios, como tipología de edificación, entre otros.

Para evidenciar el impacto que tiene el comportamiento de los ocupantes en el uso de energía, se han realizado algunos estudios en diferentes áreas geográficas. La Figura 6 muestra algunos resultados obtenidos en la ciudad China de Beijing. El gráfico muestra el consumo eléctrico medido del aire acondicionado (AC) tipo split en 25 apartamentos, con una envolvente idéntica en el mismo clima, donde el consumo energético varía en un amplio rango, entre 0 a 14 kWh/m² con una media de 2,3 kWh/m² [11]. Por tanto, se concluye que el ocupante es el impulsor del uso de energía, más que el diseño de los apartamentos.

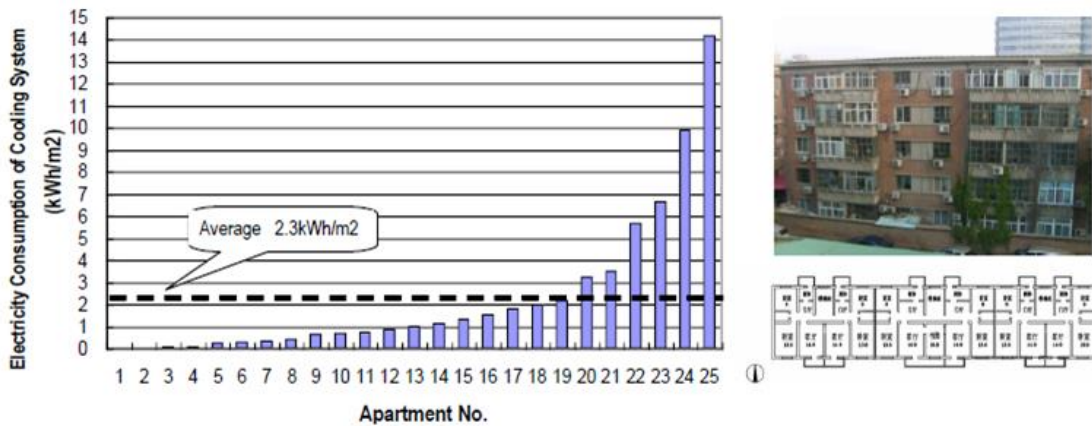


Figura 6. Mediciones del consumo de electricidad de los sistemas de aire acondicionado por unidad de área de apartamento en verano en un residencia en Beijing [11].

Para comparar las diferencias culturales entre Japón y Noruega con respecto al uso de energía, se consideraron aspectos como infraestructura, clima, precios e ingresos, tamaño de la vivienda, patrones de trabajo y roles de género. Los resultados indican que el uso de energía está relacionado con los patrones culturales y costumbres de cada región, por lo que una opción para reducir el consumo de energía es promover tecnologías que brinden el mismo servicio cultural con menos energía. Por lo tanto, el ahorro de energía se puede integrar en cada estilo de vida mientras se mantienen los patrones culturales. Además, es importante concienciar a los usuarios sobre el flujo de energía en el hogar mediante mejores prácticas de facturación y el uso de auditorías energéticas [21].

Además, un estudio en Noruega permite explicar cómo el consumidor se ve influenciado por una combinación de actividades, preferencias, valores, tecnologías y estructuras materiales, y se propone el concepto de “hogar”, bajo puntos de vista específico. Los hogares se clasificaron en: el hogar como refugio, el hogar como proyecto y el hogar como escenario de actividades, donde el concepto que una persona tiene de su hogar se relaciona con el consumo de energía, en lugar de ver al consumidor como una imagen estática [22].

Siguiendo la idea de relacionar diferentes culturas, se realizó un estudio comparando Dinamarca y Bélgica, incluyendo aspectos como las políticas energéticas de cada región y también se compararon variables individuales. Se recopilieron datos relacionados con las características del edificio (tipo de vivienda, área de piso y variables del hogar), propiedad y uso de electrodomésticos, prácticas de lavado y

secado, iluminación, computadora y televisión. Los investigadores concluyeron que a pesar de tener culturas similares, existen diferencias considerables en los patrones y estilos de vida, por lo que las diferencias en el consumo energético son importantes [23].

Hetus (Encuesta europea armonizada sobre el uso del tiempo, en inglés conocida como *Harmonised European Time Use Survey*) [24] proporciona datos estadísticos sobre el uso del tiempo por parte de las personas en diferentes países europeos. El análisis de datos muestra que existen diferencias en el tiempo dedicado a las diferentes actividades que dependen de la cultura. Además, también existe una dependencia de la zona climática. Por ejemplo, en la parte sur de Europa la gente dedica más tiempo a comer y al ocio en comparación con el norte. En diferentes países, los habitantes se comportan de manera diferente, y este aspecto debe tenerse en cuenta a la hora de predecir la demanda energética del edificio mediante herramientas de simulación. En [25] se investiga la influencia del tamaño de la familia, el control del sistema de calefacción y la gestión del área calentada en las cargas de calefacción de una vivienda estándar en Bélgica. Las simulaciones del edificio con diferentes niveles de aislamiento mostraron que el impacto de las ganancias internas (estilo de vida del ocupante) en el consumo de energía es más significativo para el caso con mejor aislamiento térmico. En [26] se analiza el efecto de la modernización de edificios teniendo en cuenta diferentes patrones de ocupación, y la brecha entre el ahorro de energía previsto y el realmente logrado se correlaciona con la recuperación de la temperatura interior.

Los estudios de comportamiento de los ocupantes presentan diferencias entre edificios residenciales y de oficinas, por ejemplo (a) diferentes actividades realizadas y quién paga las facturas de energía, (b) los controles del sistema suelen ser diferentes y, (c) el comportamiento del grupo puede ser diferente entre el entorno comercial y el doméstico [27]. En cuanto a los edificios residenciales, estas diferencias contextuales se pueden explicar con la responsabilidad del pago de las facturas de energía, necesidad de privacidad, factores sociales, tipo de actividades y otros [28]. Estas diferencias deben tenerse en cuenta durante la recopilación de datos y la selección de la metodología a seguir. Por ello, las investigaciones realizadas consideran estos aspectos.

Gracias al análisis bibliométrico y revisión de la literatura hasta la fecha se entiende como el comportamiento de ocupantes es un punto crítico para lograr mejorar el rendimiento energético en edificios. El potencial de ahorro de energía según los ocupantes en los edificios puede oscilar entre 10%-25% para edificios residenciales y 5%-30% para edificios comerciales lo que nos deja un margen de oportunidad de mejora en cuanto a mejorar políticas de eficiencia energética o vincular otras variables en futuros estudios [29].

2.3.1 Comportamiento de los ocupantes en edificaciones energéticamente mejoradas. Efecto Rebote

Se tiene evidencia que las personas tienden a usar dispositivos que consumen energía en los edificios con más frecuencia y durante periodos más largos, cuando son conscientes que son energéticamente eficientes, este fenómeno se conoce como efecto rebote y puede afectar las metas previstas de reducción de energía, que se establecen con las mejoras de las edificaciones en términos energéticos [30]. Por ejemplo, la adopción de electrodomésticos de bajo consumo no necesariamente da como resultado una reducción del consumo total de energía si la gente usa estos electrodomésticos con más frecuencia e intensidad.

Por lo tanto, un marco más completo de programas de intervención y estrategias dirigidas al comportamiento de los ocupantes debería tener en cuenta el efecto rebote para cumplir por completo el potencial de ahorro de energía del cambio de comportamiento. Mientras tanto, algunos investigadores indicaron que el efecto rebote existe en la realidad y debería ser considerado en la planificación energética estratégica.

En países donde se han implementado normativas y/o reglamentos de edificaciones sostenibles de tipo obligatorio o voluntario, se han establecido programas de evaluación del impacto de estas medidas [9], con la finalidad de obtener retroalimentación en cuanto al verdadero resultado positivo, nulo o negativo de las medidas implementadas y poder tomar acciones al respecto.

2.4 Uso de energía en edificios residenciales

En términos de usos finales de energía, la cantidad de energía utilizada por los edificios residenciales se dedica a usos eléctricos como iluminación, electrodomésticos y aire acondicionado, y los usos térmicos principalmente cubiertos por fuentes fósiles para

acondicionamiento térmico de los espacios (mayor porcentaje), agua caliente sanitaria (ACS) y cocción [15]. Los edificios residenciales representan un comportamiento de los ocupantes más variado en relación con las horas de ocupación y la gama de actividades, en comparación con los edificios de oficinas. Esta mayor diversidad representa desafíos en el monitoreo del comportamiento de los ocupantes, especialmente cuando se combina con una mayor preocupación por la privacidad. Los edificios residenciales han mejorado continuamente en eficiencia. Como se mencionó anteriormente, el comportamiento de los ocupantes está relacionado con acciones o reacciones observables de una persona para adaptarse a las condiciones ambientales. Estos factores de influencia pueden ser internos y externos y generalmente se denominan "impulsores". La Figura 7 muestra un esquema de las fuerzas impulsoras del comportamiento de los ocupantes relacionado con la energía identificadas en el Proyecto: Anexo 53 Uso total de energía en edificios: Métodos de análisis y evaluación [10]. Estos impulsores incluyen fuerzas impulsoras internas de los ocupantes que incluyen factores biológicos, psicológicos y sociales, como se muestra en el lado izquierdo de la Figura 7. Por otro lado, el equipo, el entorno físico y el tiempo se muestran en el lado derecho de la Figura 7.

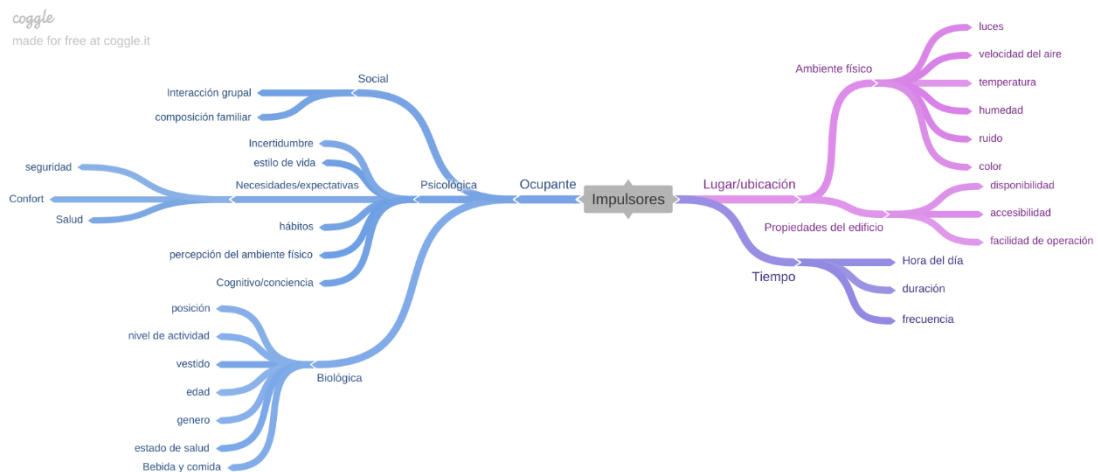


Figura 7. Fuerzas impulsoras relacionadas con el consumo de energía y los ocupantes [10].

La relación entre el consumo de energía residencial se puede clasificar en cuatro grupos principales: condiciones externas (por ejemplo, clima y ubicación), características físicas del edificio, electrodomésticos y material electrónico, ocupación y ocupante. Los autores Nemry y Uihlein [31], identificaron las opciones más importantes para mejorar la eficiencia energética de los edificios existentes: reemplazo

de ventanas, aislamiento adicional de la fachada, aislamiento adicional del techo y un nuevo sellado para reducir las pérdidas de ventilación, pero ahora el comportamiento de los ocupantes representa un papel crítico, ya que se ha demostrado que el consumo de energía en edificios con cerramiento y equipamiento idénticos tiene resultados muy diferentes debido a esto [16], [32]. Este hecho se ha verificado en [33], donde los resultados de las proyecciones de la demanda de energía muestran que la tecnología puede sobrepasar las prácticas de comportamiento y los cambios de estilo de vida para algunos usos finales, como la calefacción y la iluminación de espacios. Sin embargo, se debe dar el punto focal a los parámetros relacionados con el comportamiento de los ocupantes.

Wei et al. [13], han evaluado la literatura actual sobre el acondicionamiento de espacios de ocupantes en edificios residenciales de acuerdo con estudios de simulación y monitoreo. Se han evaluado al menos 27 factores posibles (Tabla 2.1) como impulsores del comportamiento de calefacción de espacios, y solo cinco de esos 27 factores se han utilizado para modelar el comportamiento de calefacción de espacios en la simulación de desempeño de edificios (en inglés conocida como *Building Performance Simulation* o por sus siglas BPS): tipo de habitación, ocupación, interior humedad relativa, clima exterior y hora del día según los horarios operativos típicos. En el BPS se ignoran regularmente diez factores: grado social, nivel de educación de los ocupantes, ingresos familiares, tipo de vivienda anterior, salud, propiedad de la vivienda, precio de la calefacción, calidad del aire interior percibida (en inglés conocida como *Indoor air quality* o por sus siglas IAQ) y ruido, conciencia del uso de energía y sensación térmica.

Según la revisión de literatura de Frontczak y Wargocki [34], es necesario comprender cómo se comportan las personas en interiores y cómo operan los sistemas para controlar el ambiente interior (térmico, visual, acústico y calidad del aire) y las condiciones de confort.

El OB en edificios residenciales incluye tres categorías principales: la ocupación, el funcionamiento de los servicios del edificio y los sistemas de energía, y la apertura de ventanas, cortinas y persianas [17].

En varios estudios se ha investigado el comportamiento de las personas en edificios residenciales, considerando la interacción con un solo aparato o componente del

edificio (ventana, ventilación, iluminación, alfombras y termostato) [35]–[37], utilizando mediciones o estudios de campo para obtener datos.

Tabla 2.1. Factores y su influencia en comportamiento del ocupante en los espacios acondicionado [13].

Categoría de la influencia	Impulsor
Se supone que influye en el comportamiento de calefacción de espacios	Clima exterior, tipo de residencia, tipo de habitación, aislamiento, tipo de control de temperatura, edad del ocupante, hora del día, ocupación
Un pequeño número de estudios existentes y ningún artículo rechaza su influencia	Humedad relativa interna, tipo de Sistema de calefacción, genero del ocupante, cultura/etnia del ocupante, grado social, tipo de vivienda previa, percepción de la calidad de aire interior y ruido, salud
Ha sido confirmado y rechazado en un número casi igual de estudios existentes.	Edad de la vivienda, tipo de combustible para calefacción, nivel de educación de los ocupantes, tamaño del hogar, ingresos familiares, propiedad de la casa, sensación térmica, época del año, precio de la calefacción, conciencia del uso de energía
Ha sido rechazado en un pequeño número de estudios existentes y ningún artículo confirma la influencia	Tamaño de la residencia

Los análisis de cuestionarios (con preguntas de opción múltiple) se han logrado en investigaciones recientes. En China, Chen et al. [38], encontró una correlación negativa entre la edad de los ocupantes y el consumo de energía de calefacción / refrigeración, para explicar esta relación es necesario observar la percepción del confort térmico y la historia de desarrollo distintiva de este país. En contraste, investigaciones desarrolladas en países como Australia, Dinamarca, Brasil y China [39], encontraron una correlación positiva entre la edad y el consumo de energía, mientras que Steemers and Yun (2009) [40], encontraron que el parámetro más significativo que determina el uso de energía es el clima y el segundo más importante es el uso de sistemas de calefacción y refrigeración y su control. Guerra Santín (2010) [41], estableció que las características y el comportamiento de los ocupantes afectan al 4.2% y las características de los edificios afectan al 42% de la variación en el uso de energía para calefacción en Holanda.

Es importante comprender que las personas pueden conocer las políticas gubernamentales y la información sobre los roles que pueden desempeñar en el ahorro

de energía, pero sacrificar los niveles de comodidad para lograr ahorros de energía no es una opción creíble, especialmente para los más jóvenes [42].

Kashif et al. [43], afirmaron que el comportamiento dinámico es fundamental para una simulación energética precisa, para predecir tendencias energéticas y reducir el consumo de energía residual.

2.5 Uso de energía en edificios comerciales /oficinas

Los estándares y agencias nacionales clasifican los edificios comerciales de acuerdo con diferentes criterios. La Encuesta de Consumo de Energía de Edificios Comerciales (CBECS) proporciona una clasificación importante: oficinas, educación, salud, hospedaje, servicio de alimentación, venta de alimentos, mercantil y servicios, montaje público y depósito y almacenamiento. Por otro lado, el proyecto ASHRAE 1093-RP se centró únicamente en la categoría de edificios de oficinas, dividida en tres subcategorías, según CBECS: pequeño (1001-10 000 pies²), mediano (10,001-100 000 pies²) y grande (> 100 000 pies²) [44].

El consumo de energía en un edificio no doméstico es un problema complejo debido a una amplia variedad de usos y servicios energéticos y, en consecuencia, es necesario comprender la demanda energética de los edificios individuales.

Según la IEA, el sector de la construcción puede reducir el consumo de energía con un ahorro energético estimado de 1509 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo) para el 2050. Además, mediante el diseño de edificios energéticamente eficientes, se pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que posiblemente pueda mitigar 12,6 Gt (gigatoneladas) de emisiones de CO₂ del nivel del escenario de referencia en 2050 [45].

En los edificios comerciales, el consumo de energía se puede dividir en dos categorías: el primero es el consumo del edificio causado directamente por las demandas del trabajo, principalmente el consumo de energía de los equipos, el otro es la energía consumida para brindar confort térmico interior a los ocupantes, como consumo de energía del edificio de los sistemas de HVAC y de iluminación. El comportamiento de los ocupantes influye en el uso de energía del edificio tanto directa como indirectamente al abrir / cerrar ventanas, encender / apagar o atenuar las luces, encender / apagar el equipo de oficina, encender / apagar los sistemas de calefacción,

ventilación y aire acondicionado (HVAC), y el establecimiento de criterios de confort térmico, acústico y visual en interiores [46].

Los autores en [47], estudiaron la energía desperdiciada durante las horas no ocupadas en edificios comerciales y encontraron que se usa más energía durante las horas no laborales (56%) que durante las horas laborales (44%). A pesar de los esfuerzos de reducción de energía, como el uso de iluminación y equipos más eficientes, aislamiento, arquitectura pasiva, ventilación nocturna, materiales de cambio de fase (en inglés conocida como *phase change materials* o por sus siglas PCM), etc., todas estas medidas son en su mayoría tecnológicas, en contraste con el comportamiento y la falla del sistema.

Tomando lo expuesto en este capítulo se puede concluir que se han identificado cuatro áreas de investigación principales:

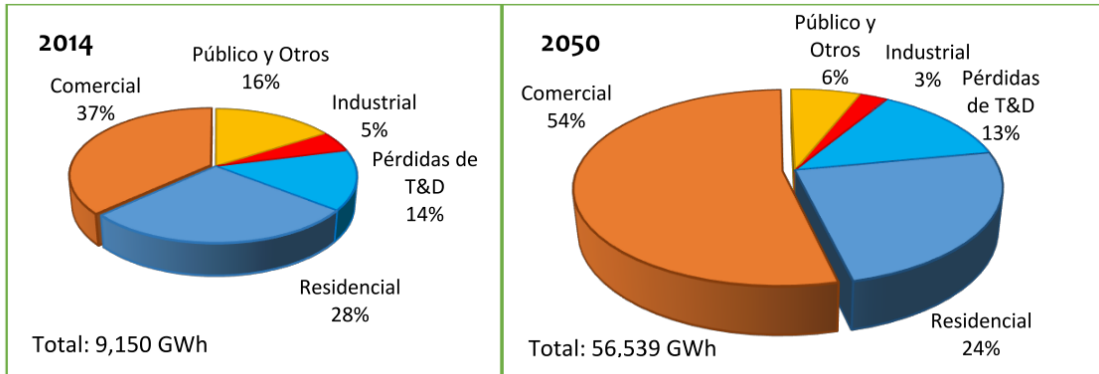
1. Comprensión del comportamiento de los ocupantes, especialmente comportamientos específicos que afectan el confort térmico interior, como el comportamiento de apertura de ventanas, el comportamiento de control de iluminación y el comportamiento de calefacción / enfriamiento de espacios.
2. Métodos de investigación y recopilación de datos energéticos.
3. Modelización cuantitativa del comportamiento de los ocupantes y el rendimiento energético del edificio.
4. Potencial de ahorro de energía y estrategias de comportamiento.

En cuanto a las principales limitaciones de los modelos OB se debe a que no pueden extrapolarse debido a la relación directa con los datos de seguimiento. La información oculta y los parámetros inexplorados impiden el uso de estos modelos en diferentes contextos. Las características culturales y socioeconómicas de los ocupantes están impresas en el modelo. Además, el modelo representa el comportamiento en una tipología de edificio y un clima específicos.

En Panamá según el Plan Estratégico Nacional [2], y en vista de que Panamá no es un país industrializado, las industrias existentes son de baja intensidad de consumo de energía.

Según la Figura 8 la demanda de los sectores comerciales y residenciales aumentarán en el escenario 2050, mientras que en sector comercial y público el aumento será en menor proporción. Esto es importante destacarlos debido a que las políticas a

implementar deben tomar en cuenta estos patrones estimados de cambio en cuanto al consumo.



Fuente: Elaboración SNE

Figura 8. Distribución de la Demanda por Sector consumo 2014 y Proyección a 2050 [2]

2.6 Confort Térmico y el Comportamiento del Ocupante

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) en el estándar 55 define el confort como la condición mental de satisfacción con el ambiente térmico, por evaluación subjetiva. Las variables que afectan el confort térmico se clasifican en tres grupos según [48]: ambientales (temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad relativa), personales (tasa de metabolismo y vestimenta) y factores contribuyentes (ingesta de alimentos y bebidas, aclimatación, peso, edad, género y estado de salud). Los factores personales están bajo su control: la tasa metabólica y el aislamiento de la ropa. Los factores ambientales medibles son las herramientas estándar del diseñador: temperatura del aire, temperatura de la superficie, velocidad del aire y humedad relativa. Los factores psicológicos son difíciles de cuantificar para la comodidad: color, textura, sonido, luz, movimiento y aroma. Estos factores a menudo se pasan por alto mientras nos esforzamos por cumplir con los criterios físicos numéricos para el confort térmico [49]. En ese sentido, hay varios modelos en la literatura para relacionar la sensación humana de comodidad con esos factores.

Los modelos de comportamiento humano se basan en algoritmos estadísticos y probabilísticos que predicen la probabilidad de una acción o evento [8].

Para este propósito, se pueden utilizar dos modelos principales diferentes: los modelos de voto medio previsto (PMV, por sus siglas en inglés Predicted mean vote) y el modelo adaptativo.

Modelo Voto medio previsto (PMV) y porcentaje de no satisfacción previsto (PPD)

El modelo PMV o estático fue desarrollado por P.O. Fanger, también se denomina modelo estándar. Se desarrolló utilizando dos ecuaciones empíricas que relacionan la pérdida de calor por evaporación y la temperatura de la piel con la tasa metabólica en condiciones de confort y datos experimentales recopilados en una cámara de clima controlado durante el invierno con 1396 sujetos estadounidenses en edad universitaria [50]. Es un modelo estacionario, por lo que no tiene en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del día y solo es aplicable a humanos expuestos a un largo período en condiciones constantes y con tasa metabólica constante.

Este modelo se basa en una escala de siete puntos para mejorar la sensación térmica (TS), que se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Escalas de respuestas térmicas utilizadas para el cálculo del PMV

T S	Thermal Sensation Scale	Cold -3	Cool -2	Slightly cool -1	Neutral 0	Slightly warm +1	Warm +2	Hot +3
T P	Thermal Preference Scale	Much cooler -3	Cooler -2	Slightly cooler -1	No change 0	Slightly warmer +1	Warm +2	Much warmer +3
T C	Thermal Comfort Scale	Comfortable 1	Slightly uncomfortable 2	Uncomfortable 3	Very uncomfortable 4	Unbearable 5		

Hay seis variables que afectan el cálculo del PMV y el porcentaje de insatisfechos pronosticado (PPD), cada una de ellas debe evaluarse por separado. Hay una combinación de datos personales del ocupante y condiciones higrotérmicas:

1. Tasa metabólica (M en W/m^2), la tasa de transformación de energía química en calor y trabajo mecánico por actividades metabólicas dentro de un organismo, generalmente expresada en términos de unidad de área de la superficie corporal total. En la norma ANSI /ASRHAE 55-2004, esta tasa se expresa en unidades met, donde una unidad met utilizada para describir la

energía generada dentro del cuerpo debido a la actividad metabólica, definida como 58.2W/m^2 , que es igual a la energía producida por unidad de superficie de una persona promedio, sentada en reposo [10].

2. Aislamiento de la ropa (I_{cl} en CLO), el valor de aislamiento de la ropa y las prendas se mide en unidades CLO, donde 1 CLO es igual a $0,155\text{ m}^2\text{K/W}$, y es equivalente al traje de negocios típico de un hombre estadounidense en 1941, cuando él desarrolló el concepto de CLO. El CLO total de lo que está usando ahora se puede estimar asumiendo 0.35 CLO / kg de peso de la ropa. ASHRAE (1997) proporciona valores de aislamiento típicos para conjuntos de ropa y se puede calcular el CLO total de la vestimenta. El ajuste de la ropa es un comportamiento que afecta directamente el equilibrio térmico. Schiavon y Lee [51] examinaron modelos predictivos de aislamiento de ropa que suelen utilizar los ocupantes de oficinas; los datos para desarrollar los modelos se tomaron de las bases de datos ASHRAE RP-884 y ASHRAE RP-921. Estas bases de datos de dominio público contienen datos de calidad controlada de estudios de campo de confort térmico realizados en diferentes países (California, Canadá, Australia y Michigan) y zonas climáticas de todo el mundo. Encontraron algunas correlaciones entre el aislamiento de la ropa y la temperatura del aire exterior medida a las 6 de la mañana, la temperatura operativa, la humedad relativa y solo se correlacionan ligeramente con la velocidad del aire y la actividad metabólica [11].
3. La temperatura del aire (t_a en $^{\circ}\text{C}$), es la temperatura promedio del aire circundante y ocupante. El promedio es con respecto a la ubicación y la hora.
4. La temperatura radiante media (t_{mrt} en $^{\circ}\text{C}$) se define como la temperatura de un recinto negro uniforme que intercambia la misma cantidad de radiación térmica con los ocupantes que el recinto real.
5. Velocidad del aire (v en m/s), es la velocidad promedio del aire al que está expuesto el cuerpo. El promedio es con respecto a la ubicación y la hora. El promedio de tiempo y el promedio espacial son los mismos que para la temperatura del aire.
6. La humedad relativa (es decir, presión de vapor, P_a en kPa) es una referencia general al contenido de humedad del aire.

PMV ha sido desarrollado en base a la formulación matemática propuesta por Fanger, que aplica un balance energético para un humano utilizando los diferentes mecanismos de intercambio de energía junto con parámetros fisiológicos derivados experimentalmente para predecir la sensación térmica y la respuesta fisiológica de una persona debido su medio ambiente.

$$PMV = f(t_a, t_{mrt}, v, p_a, M, I_{cl}) \quad (2.1)$$

PMV representa el voto de sensación térmica media en una escala estándar para un grupo de ocupantes de un edificio para cualquier combinación dada de variables en la ecuación 2.1. Es importante conocer el porcentaje de personas que estarían insatisfechas con el medio ambiente, porque estas son las que con mayor probabilidad presentarían quejas.

Según este modelo, el PMV se da en la escala de sensación térmica (TS) ASHRAE, que se muestra en la Tabla 2.2, y se correlaciona con la carga térmica personal (TL) por:

$$PMV = (\alpha \times e^{-\beta \times M} + \gamma) \times TL / A_{du} \quad (2.2)$$

donde $\alpha = 0.303$, $\beta = -0.036$ y $\gamma = 0.028$ son parámetros derivados estadísticamente, obtenidos por Fanger en sus experimentos en cámaras climáticas. A_{du} es el área de superficie del cuerpo (m^2) y TL denota el calor acumulado en el cuerpo o retirado de él.

$$TL = M \times (1 - \eta) \times A_{du} - [L + E_{re} + (E_d - E_{sw}) \times A_{du}] - (C + R) \times I_{cl} \times A_{du} \quad (2.3)$$

donde L y E_{re} son las tasas de eliminación de calor latente y sensible por respiración, respectivamente, E_d es la tasa de eliminación de calor por difusión de vapor a través de la piel, E_{sw} es la tasa de eliminación de calor latente por evaporación del sudor, y C y R son las tasas de eliminación de calor de la superficie de la ropa por convección y radiación, respectivamente.

El supuesto principal del modelo es que una carga de calor positiva o negativa implica una sensación térmica y una respuesta en el lado positivo o negativo de la escala de calificación, respectivamente, mientras que una carga prácticamente nula implica una respuesta neutra, $TS = 0$, que representa la óptima comodidad.

Se propuso el PPD basado en estudios experimentales, una relación empírica entre PMV y el porcentaje predicho de insatisfechos (PPD) para predecir el número de personas que es probable que se sientan incómodas con calor o frío, estableciendo una predicción cuantitativa para el porcentaje de insatisfechos térmicamente personas determinadas a partir del PMV de acuerdo con la ecuación (2.4) indica que incluso con neutralidad térmica (es decir, $PMV = 0$), alrededor del 5% de las personas aún pueden estar insatisfechas. El modelo asume que la satisfacción térmica se identifica con una respuesta PMV que está dentro del rango de -1 a +1, y produce la siguiente ecuación para predecir la PPD:

$$PPD = 100 - 95 \times \exp[-(\delta \times PMV^4 + \zeta \times PMV^2)] \quad (2.4)$$

donde $\delta = 0.03353$ y $\zeta = 0.2179$ son parámetros derivados estadísticamente obtenidos por Fanger.

Una de las conclusiones de este modelo, por su espíritu determinista y universal, es la diferencia en los resultados debido a que variables como nacionalidad, sexo, edad y hora del día, no son significativas. Es por esta razón que el modelo PMV-PPD ha sido adoptado por varias normas / directrices nacionales e internacionales (ASHRAE 55 e ISO 7730).

Debido al modelo matemático con el que se desarrollaron estas ecuaciones, este modelo ha sido validado para el ambiente climatizado, sin embargo, se encontraron fallas al intentar implementarlo en lugares con ventilación natural y donde el comportamiento humano no está controlado.

Se han desarrollado diversas investigaciones para validar si este modelo se puede utilizar con otras condiciones diferentes a las encontradas en los experimentos de cámaras climáticas, como tipo de población, antecedentes climáticos, hábitos culturales y sociales y control disponible sobre las condiciones térmicas.

Modelos Adaptativos

El modelo adaptativo se desarrolló en base a cientos de estudios de campo con la idea de que los ocupantes interactúan dinámicamente con su entorno. En el estudio de campo, los investigadores recopilan datos sobre el ambiente y la respuesta térmica simultánea de los sujetos en su vida cotidiana. Los ocupantes controlan su entorno térmico por medio de ropa, ventanas operables, ventiladores, calentadores personales

y parasoles. El objetivo es obtener la temperatura o combinación de variables térmicas (temperatura, humedad y velocidad del aire) que los sujetos consideran neutrales o confortables [52].

El principio adaptativo relatado por Nicol y Humphreys [52], una situación en la que: Si se produce un cambio que produzca malestar, las personas reaccionan de manera que tienden a restablecer su comodidad.

3. SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

Las interacciones de los ocupantes con los sistemas del edificio provocan el impacto del ocupante en el rendimiento del sistema del edificio (por ejemplo, entorno interior, consumo de energía, etc.) Figura 9.

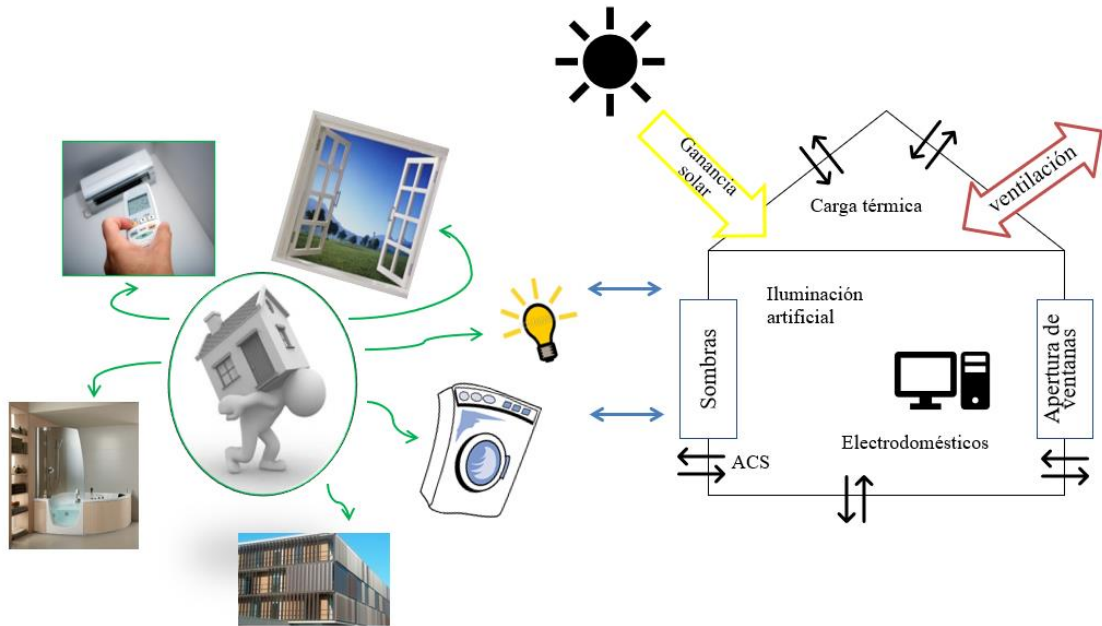


Figura 9. Interacciones entre los ocupantes y los sistemas de la edificación.

Los términos del balance energético influenciados por los comportamientos de los ocupantes y los perfiles de los usuarios son:

- | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Perdidas térmicas por vidrio | ↔ | Uso de persianas |
| Calor cedido por ventilación natural | ↔ | Apertura de ventanas |
| Ganancias solares | ↔ | Uso de persianas |
| Ganancias internas | ↔ | Ocupación, equipamiento, iluminación |

Para mantener el confort térmico, es necesario agregar o eliminar una cierta cantidad de energía (calefacción/refrigeración) hacia o desde el espacio del edificio. Esta energía depende en gran medida de las condiciones climáticas exteriores, como la temperatura del aire exterior, la humedad relativa, velocidad y dirección del viento y de las condiciones de ocupación en el interior, el flujo de calor y humedad a través de las paredes y los interiores, etc. y del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) (para el calor y la humedad) instalado para acondicionar el espacio del edificio. Matemáticamente, la carga térmica no es más que la tasa (tasa de

ganancia de calor) a la que se agrega (calefacción) o se elimina (enfriamiento) energía hacia o desde el espacio del edificio para mantener la temperatura y humedad relativa del espacio en los niveles deseados. El objetivo principal del sistema HVAC es mantener la temperatura y contenido de humedad del espacio del edificio de acuerdo con los valores umbral deseados, prestando la debida consideración al movimiento y calidad del aire y al ruido. Los cálculos de carga de refrigeración y calefacción son la base de diseño principal para la mayoría de los sistemas y componentes de HVAC. La razón detrás de realizar cálculos de carga de refrigeración y calefacción es asegurar que el sistema HVAC diseñado sirva para el propósito previsto de mantener las condiciones de confort requeridas dentro del espacio del edificio.

Matemáticamente, la energía neta requerida en el edificio para mantener la temperatura del aire del espacio en los niveles de comodidad deseados se puede escribir como:

$$Q_{CE} = Q_{per} - Q_{gan} \quad (3.1)$$

Donde:

Q_{CE} = Carga del edificio, W

Q_{per} = Tasa de pérdida de calor, W

Q_{gan} = Suma de todas las ganancias de calor responsables de calentar el espacio del edificio, excepto el sistema HVAC, W

Para realizar los cálculos de carga térmica se requiere tener conocimiento de las diversas transferencias de energía que tienen lugar a través del espacio acondicionado, que influirán en la capacidad requerida del equipo de aire acondicionado. Los cálculos de la carga de refrigeración y calefacción implican un procedimiento sistemático escalonado mediante el cual se pueden estimar los distintos flujos de energía individuales y, finalmente, el flujo de energía total a través de un edificio con aire acondicionado.

Los elementos de construcción de la habitación que son responsables de los procesos de transferencia de calor y masa se detallan en Tabla 3.1.

Las herramientas de simulación energética se basan en la transferencia de calor y en las leyes fundamentales de la Termodinámica, y típicamente modelan las acciones humanas (por ejemplo, la ocupación, el funcionamiento de luces, persianas y ventanas) empleando horarios predefinidos [53].

La influencia de los perfiles y preferencias de los ocupantes, por ejemplo, el tamaño de la familia, la ventilación, las temperaturas de referencia y la gestión del área climatizada sobre las condiciones interiores son relevantes para el uso final de energía. Por esta razón,

Tabla 3.1. Elementos constructivos y modos de procesos de transferencia de calor y masa.

Procesos de transferencia de calor y masa	Elementos del edificio
Transferencia de calor por conducción/convección	Envolvente (paredes externas, techo, piso, losas, puertas, ventanas)
Transferencia de calor por conducción y por radiación	Superficies acristaladas
Transferencia de calor por conducción y/o radiación y disipación de humedad	Ocupantes, luces y otros equipos
Transferencia de calor por convección y transferencia de masa	Infiltración desde el exterior y habitaciones contiguas/vestíbulos

deben introducirse perfiles de uso adecuados en los cálculos energéticos para ofrecer un rendimiento energético más preciso de los edificios [25], [54], [55]. Los regímenes de calor y flujo másico en los edificios dependen de algunos aspectos relacionados con las características físicas y de comportamiento.

Existe una amplia gama de software de simulación energética (en inglés conocidos como *building simulation software* o por sus siglas BSS) de edificios disponibles y algunos han sido desarrollados desde finales de la década de 1970, y en la actualidad son ampliamente utilizados (ESP-r, TRNSYS, Autodesk Green Building Studio, BSim, COMSOL Multiphysics, ECOTECT, Equest, EnerCAD, Designer’s Simulation Toolkit (DEST), Pvcad, ParaSol, HEAT2, RIUSKA, SPARK, DOE-2, Energy Plus, IDA ICE, etc.). Estas herramientas pueden analizar y predecir patrones de consumo de energía en edificios mediante conjuntos de datos específicos. Cada uno de ellos tiene horarios y perfiles de ocupantes estáticos y determinísticos simplificados que se utilizan como entradas directas. Para estos softwares, el comportamiento de los ocupantes se describe como diferentes horarios de ocupación, calefacción, refrigeración, ventilación y apertura de ventanas, uso de ACS, electrodomésticos / iluminación, cocina y protección solar, basadas en normativas internacionales o locales.

Estos perfiles se basan en factores de diversidad predeterminados y se utilizan cuando se desconocen los valores reales del uso en la etapa de diseño. Algunos se basan en

normativas internacionales como La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado-ASHRAE 90.1, que proporciona varios de estos factores de diversidad de ocupación estandarizados en tablas y gráficas para diferentes tipos de edificios y zonas por horas del día. En la Figura 10 se muestra el factor de diversidad recomendado por ASHRAE 90.1 2004 para un perfil de ocupación de “oficina” que no se conocen sus horarios reales.

Si bien se han definido los factores de diversidad de varios tipos de edificios, los factores de diversidad de los edificios universitarios se han descuidado en comparación con los edificios de tipo de oficinas, los edificios comerciales o los edificios escolares K-12. La ocupación también ha sido un área descuidada en los modelos energéticos de construcción [56].

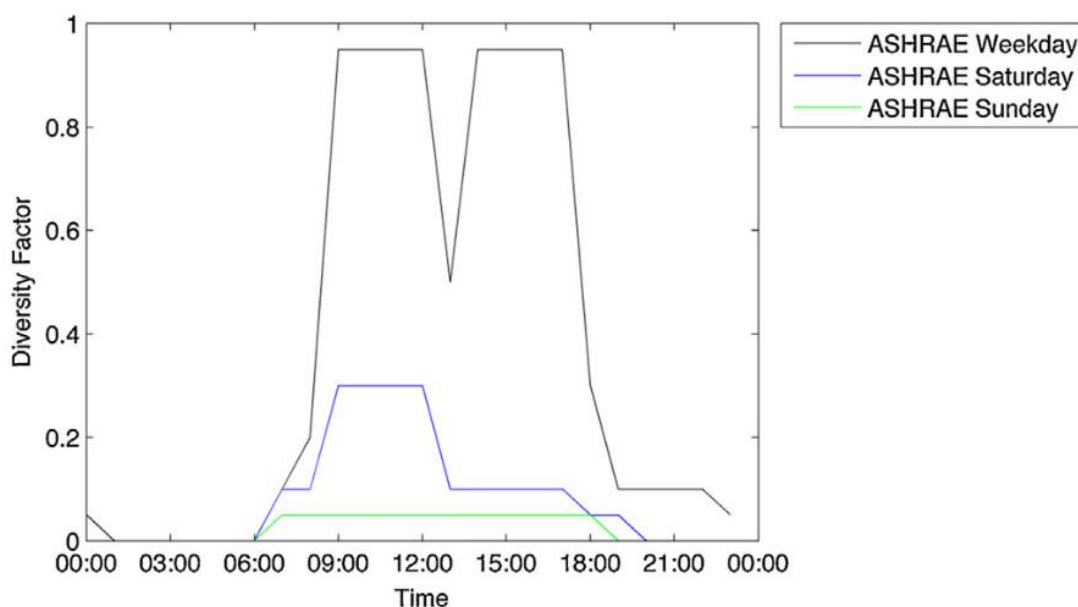


Figura 10. ASHRAE 90.1-2004 Factor de diversidad recomendado por día de la semana [57].

En [58] se presentó una lista de programas de simulación energética de edificios con sus aplicaciones, motores de simulación y limitaciones. Para incluir el comportamiento de los ocupantes en los BSS se han utilizado cuatro enfoques principales:

- 1) Perfiles y reglas definidos por el usuario (incluyen reglas determinísticas específicas),
- 2) Código personalizado por el usuario (el usuario puede escribirlo para implementar nuevos o sobrescribir los existentes),
- 3) Herramientas personalizadas por el usuario (para código abierto, los usuarios pueden agregar nuevo código y cambiar el código existente) y

4) Co-simulación (a través de módulos desarrollados por diferentes lenguajes de programación que se pueden ejecutar de manera integrada). ESP-r utilizó los enfoques 1 y 3, y tiene un módulo de comportamiento integrado, TRNSYS permite los enfoques 1 y 3, DOE-2 permite los enfoques 1 y 2, Energy Plus permite los cuatro enfoques de integración e IDA ICE permite los enfoques 1 a 3 [11] .

Las interacciones de los ocupantes con los sistemas del edificio provocan el impacto del ocupante en el rendimiento del sistema del edificio (por ejemplo, entorno interior, consumo de energía, etc.). Estas interacciones ocupante-edificio se dividen en interacciones pasivas y activas. El efecto pasivo se refiere a la ganancia de calor metabólico producido por los ocupantes, y el efecto activo se refiere al uso u operación de los objetos del dispositivo del edificio (persianas, ventanas, luces, aire acondicionado, electrodomésticos, etc.).

Los modelos de comportamiento humano se basan en algoritmos estadísticos y probabilísticos que predicen la probabilidad de una acción o evento.

Los modelos de comportamiento del usuario y las simulaciones de energía se basan en dos enfoques diferentes, determinístico y probabilístico. En el enfoque determinista, el comportamiento humano se trata como un programa fijo o se basa en el supuesto de un comportamiento puramente racional. Por otro lado, los modelos probabilísticos suelen utilizar datos estadísticos para predecir la probabilidad de que se produzca cierta actividad.

Los sistemas de energía de los edificios se pueden definir como aquellos que son responsables del consumo de energía en los edificios (espacio del edificio, sistemas HVAC, sistemas de iluminación y ocupación y confort). Estos pueden ser cualquier equipo físico o maquinaria o pueden ser un proceso o una combinación de ellos [58]. En la Figura 11 se muestra un esquema general de operación de un software de simulación energética en donde en la parte izquierda se encuentran los diferentes tipos de entrada y a la derecha las salidas del modelo.

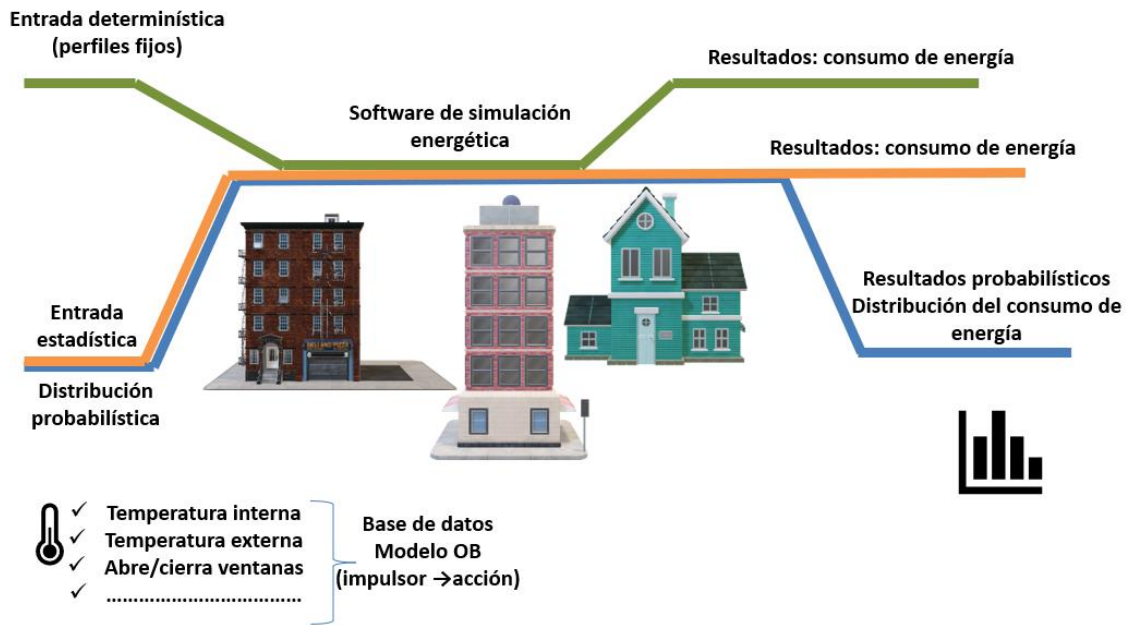


Figura 11. Flujo de datos en los softwares de simulación energética.

Como resultado del Proyecto Anexo 66 “Definición y simulación del comportamiento del ocupante en edificios “ [59] se estudiaron las funcionalidades actualmente disponibles de los software de más uso, reconociendo ciertas inconsistencias entre ellas. La información se recopiló en forma de cuestionario, diferenciando de manera estricta entre modelos determinísticos (o prescritos) y estocásticos. Las preguntas se dividieron en seis categorías de modelos:

1. Movimiento y/o presencia de los ocupantes,
2. Uso de luces,
3. Uso de ventanas,
4. Uso de HVAC,
5. Otras ganancias ocasionales y
6. Cualquier otro comportamiento del ocupante (ejemplo, sombreado).

Se hicieron preguntas para cada una de estas áreas. Se recopilaron datos para los siguientes programas BPS: DeST v2.0, DOE-2.1E v124, EnergyPlus v8.3, ESP-r v12.3, IDA ICE v4.6, IES-VE 2016, Pleiades + Comfie v3.5.8. 1 y TRNSYS 17 v5.3.0.

Se encontró que la funcionalidad de modelado de ocupantes determinista era bastante consistente entre las herramientas BPS analizadas. Los horarios prescritos y el control basado en reglas se utilizan generalmente para representar a los ocupantes del edificio y su comportamiento; por ejemplo, generalmente se utilizan programas de ganancias

ocasionales de los ocupantes, o se puede aplicar un control de apertura de ventanas basado en puntos de ajuste de temperatura. Si bien existen variaciones menores entre los programas, por ejemplo, algunos se limitan a la resolución por hora mientras que otros pueden manejar la resolución por debajo de la hora y algunos tienen una disposición para el control en aspectos que otros no, los requisitos de entrada y el impacto de la funcionalidad son muy similares. La Tabla 3.2 proporciona una descripción general de las capacidades de modelado de ocupantes estocásticos en los programas BPS. En esta tabla, el término "definido por el usuario" representa la funcionalidad o las características del programa que permiten a los usuarios implementar modelos personalizados. Los programas BPS de código abierto brindan a los usuarios la capacidad de programar modelos directamente en el código fuente del programa. Todos estos métodos se pueden utilizar para implementar modelos de comportamiento de ocupantes tanto estocásticos como deterministas [60].

En general, la representación estocástica de los ocupantes es mucho menos presente que las capacidades de modelado determinista. Hay dos amplios tipos de funcionalidad disponibles: 1) Modelos definidos de comportamiento de los ocupantes implementados en el programa BPS y 2) Características para permitir la entrada de modelos definidos por el usuario.

La mitad de los programas revisados por el autor incluyen alguna capacidad de modelado estocástico incorporada, pero la funcionalidad está lejos de ser consistente.

Tabla 3.2. Descripción general de la funcionalidad estocástica en algunos BPS [60].

Software	Presencia/ movimiento	Operación luces	Operación ventanas	Operación HVAC	Otros
DeST	Cadena de Markow	Control probabilístico	Control probabilístico	Control probabilístico	Ninguno
DOE-2.1 E	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Control probabilístico persianas, definido por el usuario
EnergyPlus	Definido por el usuario	Definido por el usuario, probabilidad programada	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario
ESP-r	Definido por el usuario, entrada y salida probabilística	Definido por el usuario, control probabilístico	Definido por el usuario, control probabilístico	Definido por el usuario	Definido por el usuario, control probabilístico ventilación
IDA-ICE	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario
IES-VE	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario
Pleiades+ Confie	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
TRNSYS	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario	Definido por el usuario

4. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DEL OCUPANTE

El propósito del modelado en términos generales es representar un fenómeno físico y los efectos de cambios en los sistemas. La simplificación o extensión y la cantidad de elementos incluidos son dos importantes criterios para definir el éxito del modelo (en términos de predecir el valor real). Los modelos de OB se dividen comúnmente en modelos de presencia y movimiento de los ocupantes y modelos de acción. Los modelos de acción comprenden varios tipos de comportamiento (adaptativo), como ajustar cortinas y ventanas, encender y apagar luces, usar electrodomésticos, ajustar el termostato, etc. Un modelo integral de comportamiento de los ocupantes incluye una serie de submodelos. Las salidas o resultados de estos modelos se enfocan en dos aspectos fundamentales que van de la mano en toda gestión energética de edificaciones, que son el rendimiento energético y el confort interior.

La identificación del problema del modelo debe preceder al desarrollo de los modelos del OB, con el fin de ajustar adecuadamente la complejidad del modelo.

Los modelos de OB son complejos debido a la naturaleza estocástica y complejidad del ser humano. El impacto del OB en su entorno diario se puede dividir en varios métodos de interacción y se puede representar según el autor [61] en la Figura 12.

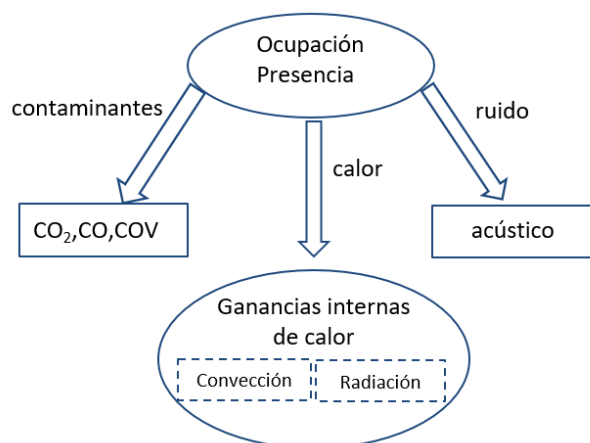


Figura 12. Interacciones entre el ocupante y el ambiente interior [61].

Cada interacción puede describirse o definirse como un proceso estocástico. Los ocupantes emiten calor, contaminantes (Dióxido de carbono CO_2 , monóxido de carbono CO y compuestos orgánicos volátiles VOC), olores y generan sonido en el espacio. Estas interacciones y su efecto en el ambiente interior se pueden medir

mediante los sensores ambientales pertinentes [61]. Como la presencia humana emite calor y contaminantes, está relacionada con el ambiente interior.

Diferentes modelos se han desarrollado en las últimas décadas para predecir los siguientes aspectos relacionados con la presencia y las acciones en las edificaciones:

- Presencia y actividad
- Operación de las ventanas
- Operación de las cortinas
- Operación de las luces
- Ajuste del termóstato
- Uso de los electrodomésticos
- Ajuste de la ropa

Según el autor [30], las técnicas de modelado del OB, tanto para edificios residenciales como comerciales, se pueden clasificar en cuatro categorías:

1. Modelos estocásticos/probabilísticos
2. Modelos basados en los agentes
3. Enfoque de minería de datos
4. Métodos estadísticos

Con un poco más de detalle, los autores Kjærgaard y Sangogboye [62] clasifican las estrategias de modelado como se presenta en la Figura 13.

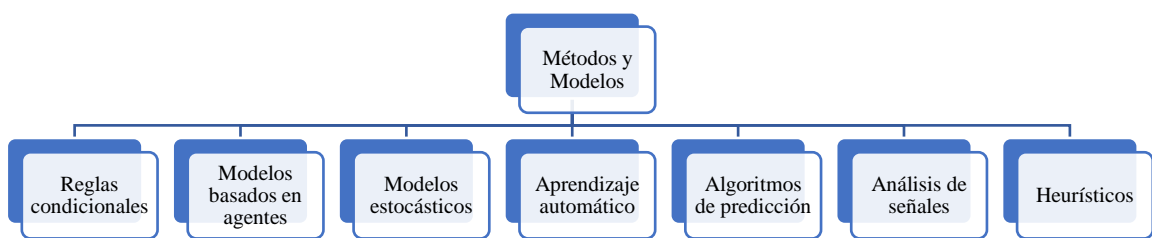


Figura 13. Clasificación de estrategias de modelado del OB [62].

Reglas condicionales, modelan la relación entre la entrada del sensor como reglas condicionales; por ejemplo, que un evento de apertura de puerta indica que la ocupación de una habitación cambia.

Modelos basados en agentes, modelan a los ocupantes como agentes cuyo comportamiento se define, entre otros, modelando su itinerario, elecciones de ruta y comportamiento al caminar.

Modelos estocásticos, modelan la probabilidad y correlación entre eventos de comportamiento de ocupación y otros la probabilidad de cambios en la presencia de ocupantes.

El aprendizaje automático aprende modelos de información de ocupación a partir de datos, incluido el aprendizaje del mapeo entre la entrada del sensor y los niveles de ocupación.

Los algoritmos de predicción permiten la predicción de estados futuros, por ejemplo, a partir del rastreo por GPS, predicen el momento más temprano en el que un ocupante puede regresar a casa.

El análisis de señales cubre el uso de métodos de análisis de señales, incluidos los métodos para la descomposición de señales y el procesamiento de imágenes.

Los heurísticos cubren una amplia gama de pasos de algoritmos simples que no se incluyen en ninguna de las otras categorías. Por ejemplo, un simple umbral de valores. Para la determinación de la cantidad adecuada de parámetros a medir, para lograr una detección óptima de la ocupación y las preferencias de los ocupantes con respecto al consumo energético, se realiza un análisis de los diferentes sistemas que componen una edificación de manera general y la interacción entre estos sistemas y el ocupante.

4.1 Niveles del modelado

La resolución de la ocupación se puede representar gráficamente en tres dimensiones: temporal, espacial y conocimiento del ocupante, como se presenta en la Figura 14. Siendo las dos primeras las más simples de identificar [63].

- La resolución temporal es el período de tiempo más pequeño en el que un sensor determinado puede informar de los cambios en la resolución espacial y de los ocupantes. Esta resolución responde a preguntas sobre el tiempo o duración de la ocupación de dicha habitación y por cuánto tiempo alguna actividad fue realizada.
- La resolución espacial de la ocupación se puede definir en términos de estructuras de edificios (por ejemplo, por pisos, áreas y habitaciones).

Responde a preguntas sobre dónde se encuentran las personas dentro de la habitación.

- El tercer tipo de resolución puede dar respuesta a preguntas como: ¿La habitación está ocupada (ocupación)? ¿Cuántas personas hay (cantidad)? ¿Quiénes están (identidad)? Y ¿Qué están haciendo (actividad)?

Por otro lado, el comportamiento del ocupante depende de las propiedades mostradas en la Figura 15.

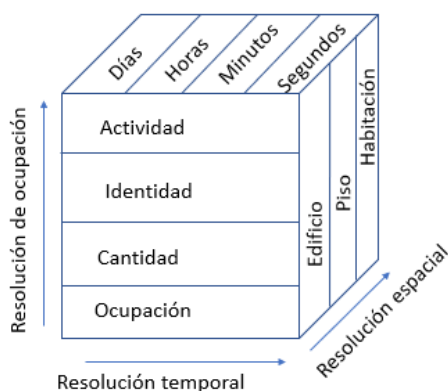


Figura 14. Niveles de Resolución de ocupación [63].



Figura 15. Propiedades espacio-temporal, fisiológicas y de comportamiento de medida de ocupación [64].

4.2 Edificios residenciales

En los edificios residenciales el OB y la presencia tienen un impacto significativo en la variación del consumo de energía, considerando otros parámetros similares (envolvente, electrodomésticos, equipos entre otros). La ASHRAE en su Estándar 90.1 recomienda un horario de ocupación uniforme para la evaluación de energía de los edificios, los patrones de comportamiento y horarios de los ocupantes podrían ser diferentes para cada edificio debido a los estilos de vida, preferencias, ocupaciones, y otras diferencias.

Modelado de

4.3 Edificios comerciales/oficinas

Los edificios de oficina pueden ser clasificados en tres diferentes niveles desde una perspectiva de abajo hacia arriba como se presenta en la Figura 16 [65].

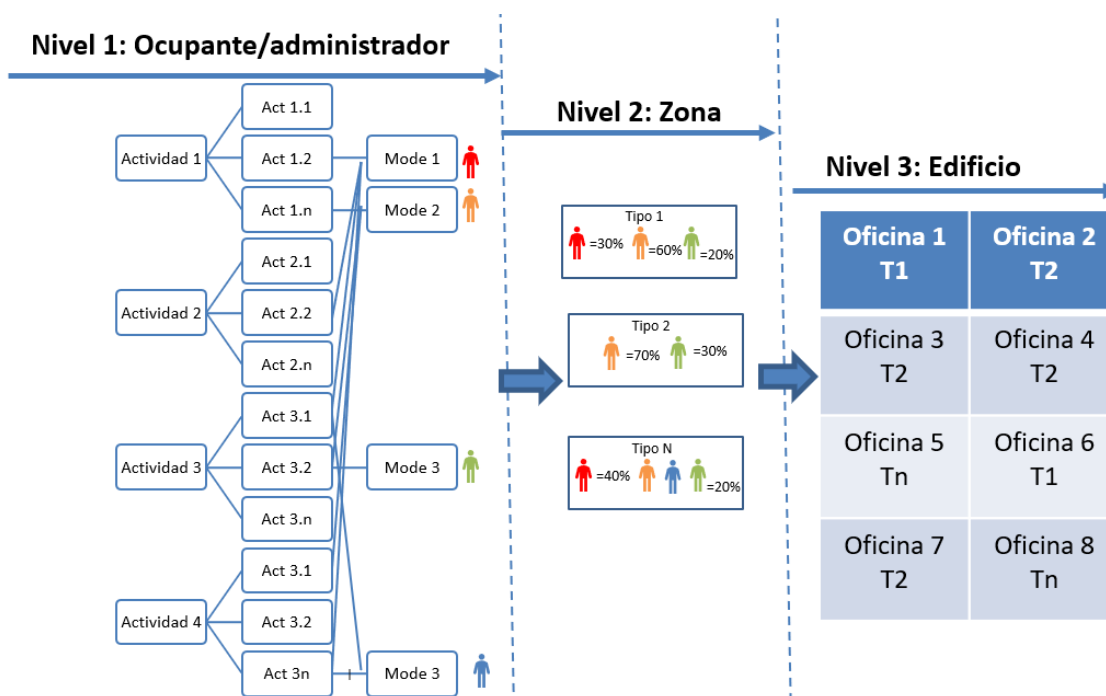


Figura 16. Metodología para la definición del comportamiento del ocupante en edificios de oficinas [65]

Se desarrolló un modelo de cálculo simplificado del uso de energía para un determinado equipo o sistema en una determinada zona, basado en la combinación de diferentes tipos de comportamiento de diferentes tipos de ocupantes y sus equivalentes de tiempo de ocupación, que se puede utilizar para la evaluación aproximada del consumo de energía para los sistemas en edificios de oficinas.

Los sistemas de recolección de datos para la gestión de los sistemas energéticos de los edificios son fundamentales cuando se pretende obtener un mejor conocimiento y comprensión del rendimiento energético de los edificios.

5. CONCLUSIONES

Las políticas relacionadas con el uso racional de energía van de la mano con la investigación y los avances en cuanto a la reducción del uso de energía y procurar el bienestar térmico de las personas que ocupan los diferentes espacios.

En relación con este aspecto y para encontrar mejoras en cuanto al uso de la energía en nuestro país, se requiere la investigación aplicada a casos de estudio específicos, que permitan valorar las condiciones reales en nuestro contexto. Herramientas de simulación dinámica son requeridas para tal fin.

Sin embargo, no solo el uso de las herramientas nos garantizará un buen desempeño energético de la nueva edificación, sino los conocimientos en cuanto a los factores que definen el uso de la energía en las edificaciones y las normativas locales.

Para los profesionales en áreas de la Ingeniería mecánica y afines se requiere la generación de capacidades en cuanto al uso de software y las metodologías para un mejor diseño, desde el proceso de concepción de la obra, a lo largo de las diferentes etapas como diseño y construcción, operación y mantenimiento y finalmente cuando la edificación llega al final de su vida útil.

Conocer cómo influye el comportamiento del ocupante y herramientas de modelado son importantes.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo del Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos (IFARHU) y el Sistema Nacional de Investigación (SIN) de la SENACYT.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, “Demanda,” 2017. https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/electricidad/estadisticas/2017/II_semestre/DEMANDA.pdf (accessed Feb. 18, 2021).
- [2] Secretaria Nacional de Energía, “Plan energético Nacional 2015-2050: ‘Panamá, el futuro que queremos,’” Panamá, 2017. [Online]. Available: <http://www.energia.gob.pa/energia/wp-content/uploads/sites/2/2017/06/Plan-Energetico-Nacional-2015-2050-1.pdf>.
- [3] Ministerio de la Presidencia, “Secretaria Nacional de Energía,” 2020. <http://www.energia.gob.pa/> (accessed Dec. 01, 2020).
- [4] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Panamá, 2020,” 2020.
- [5] Secretaria Nacional de Energía, “Ahorro energético en instituciones para reducir gasto público,” 2021. <https://www.energia.gob.pa/ahorro-energetico-en-instituciones-para-reducir-gasto-publico/> (accessed Jan. 15, 2021).
- [6] CEPAL, “Estrategia Energética Sustentable 2030 de los países del SICA,” 2018.
- [7] R. Becqué *et al.*, “Accelerating Building Efficiency: Eight Actions for Urban Leaders,” 2015. [Online]. Available: <http://publications.wri.org/buildingefficiency/#sec1>.
- [8] Secretaría Nacional de Energía, *Resolución N° 3142 del 17 de noviembre de 2016, que adopta la guía de construcción sostenible para el ahorro de energía en edificaciones y medidas para el uso racional y eficiente de la energía, para la construcción de nuevas edificaciones en la República*, vol. 3142, no. 28165. Panama, 2016, pp. 1–66.
- [9] O. Guerra Santín, *Actual Energy Consumption in Dwellings: The Effect of Energy Performance Regulations and Occupant Behaviour*, Delft Cent. The Netherlands: IOS Press under the imprint Delft University Press, 2010.
- [10] H. Polinder *et al.*, “Occupant behavior and modeling. Total energy use in buildings, analysis and evaluation methods. Final report annex 53.,” 2013. [Online]. Available: http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/images/Pictures/EBC_Annex_53_Appendix_Volume_2.pdf.
- [11] D. Yan *et al.*, “Occupant behavior modeling for building performance simulation: current state and future challenges,” *Energy and Buildings*, vol. 107, pp. 264–278, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.08.032.
- [12] P. de Wilde, “The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation,” *Automation in Construction*, vol. 41, pp. 40–49, May 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.02.009.
- [13] S. Wei, R. Jones, and P. de Wilde, “Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 70, pp. 36–44, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.001.
- [14] Y. Laaroussi, M. Bahrar, M. El Mankibi, A. Draoui, and A. Si-Larbi, “Occupant presence and behavior: a major issue for building energy performance simulation and assessment,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 63, no. 102420, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102420.
- [15] G. V. Fracastoro and M. Serraino, “A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications,” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 4, pp. 844–852, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.12.004.
- [16] International energy agency energy in buildings and communities programme, “Annex 66: definition and simulation of occupant behavior in buildings,” 2013. [Online]. Available: www.annex66.org.
- [17] S. Chen, W. Yang, H. Yoshino, M. D. Levine, K. Newhouse, and A. Hinge, “Definition of occupant behavior in residential buildings and its application to behavior analysis in case studies,” *Energy and Buildings*, vol. 104, pp. 1–13, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.075.
- [18] M. Jia, R. S. Srinivasan, and A. A. Raheem, “From occupancy to occupant behavior: an analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, no. October 2016, pp. 525–540, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.011.
- [19] R. C. Sonderegger, “Movers and stayers: The resident’s contribution to variation across houses in energy consumption for space heating,” *Energy and Buildings*, vol. 1, no. 3, pp. 313–324, 1978.
- [20] B. F. Balvedi, E. Ghisi, and R. Lamberts, “A review of occupant behaviour in residential

- buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 174, pp. 495–505, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.06.049.
- [21] H. Wilhite, H. Nakagami, T. Masuda, Y. Yamaga, and H. Haneda, “A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway,” *Energy Policy*, vol. 24, no. 9, pp. 795–803, 1996, doi: 10.1016/0301-4215(96)00061-4.
- [22] M. Aune, “Energy comes home,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, pp. 5457–5465, 2007, doi: 10.1016/j.enpol.2007.05.007.
- [23] F. Bartiaux and K. Gram-Hanssen, “Socio-political factors influencing household electricity consumption: a comparison between Denmark and Belgium,” in *ECEEE Summer Study proceedings*, 2005, pp. 1313–1325, [Online]. Available: http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2005c/Panel_6/6131bartiaux/paper.
- [24] “Hetus (Harmonised European Time Use Survey),” *interactive*. <https://www.h2.scb.se/tus/tus/Default.htm>.
- [25] T. de Meester, A.-F. Marique, A. De Herde, and S. Reiter, “Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe,” *Energy and Buildings*, vol. 57, pp. 313–323, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.11.005.
- [26] M. Deurinck, D. Saelens, and S. Roels, “Assessment of the physical part of the temperature takeback for residential retrofits,” *Energy and Buildings*, vol. 52, pp. 112–121, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.05.024.
- [27] T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D’Oca, D. Yan, and S. P. Corgnati, “Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 116, pp. 694–702, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.052.
- [28] H. B. Gunay, W. O’Brien, and I. Beausoleil-Morrison, “A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices,” *Building and Environment*, vol. 70, pp. 31–47, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.07.020.
- [29] Y. Zhang, X. Bai, F. P. Mills, and J. C. V. Pezzey, “Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review,” *Energy & Buildings*, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.017.
- [30] Y. Zhang, X. Bai, F. P. Mills, and J. C. V. Pezzey, “Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review,” *Energy and Buildings*, vol. 172, pp. 279–294, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.017.
- [31] F. Nemry and A. Uihlein, *Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)*. 2008.
- [32] R. Andersen, “The influence of occupants’ behaviour on energy consumption investigated in 290 identical dwellings and in 35 apartments,” 2012.
- [33] J. P. Gouveia, P. Fortes, and J. Seixas, “Projections of energy services demand for residential buildings: Insights from a bottom-up methodology,” *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 430–442, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.09.042.
- [34] M. Frontczak and P. Wargocki, “Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments,” *Building and Environment*, vol. 46, no. 4, pp. 922–937, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.10.021.
- [35] H. B. Rijal, P. Tuohy, M. A. Humphreys, J. F. Nicol, A. Samuel, and J. Clarke, “Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 7, pp. 823–836, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.02.003.
- [36] V. Fabi, R. V. Andersen, S. Corgnati, and B. W. Olesen, “Occupants’ window opening behaviour: a literature review of factors influencing occupant behaviour and models,” *Building and Environment*, vol. 58, pp. 188–198, 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.07.009.
- [37] G. Iwashita and H. Akasaka, “The effects of human behavior on natural ventilation rate and indoor air environment in summer - a field study in southern Japan,” *Energy and Buildings*, vol. 25, pp. 195–205, 1997.
- [38] S. Chen *et al.*, “Statistical analyses on summer energy consumption characteristics of residential buildings in some cities of China,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 1, pp. 136–146, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.07.003.
- [39] M. Lenzen, M. Wier, C. Cohen, H. Hayami, S. Pachauri, and R. Schaeffer, “A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India

- and Japan,” *Energy*, vol. 31, no. 2–3, pp. 181–207, 2006, doi: 10.1016/j.energy.2005.01.009.
- [40] K. Steemers and G. Y. Yun, “Household energy consumption: a study of the role of occupants,” *Building Research & Information*, vol. 37, no. 5–6, pp. 625–637, 2009, doi: 10.1080/09613210903186661.
- [41] O. Guerra-Santin, *Actual energy consumption in dwellings -the effect of energy performance regulations and occupant behaviour*. IOS Press under the imprint Delft University Press, 2010.
- [42] G. Ma, P. Andrews-Speed, and J. D. Zhang, “Study on Chinese consumer attitudes on energy-saving household appliances and government policies: based on a questionnaire survey of residents in Chongqing, China,” *Energy Procedia*, vol. 5, pp. 445–451, 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.03.077.
- [43] A. Kashif, S. Ploix, J. Dugdale, and X. H. B. Le, “Simulating the dynamics of occupant behaviour for power management in residential buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 56, pp. 85–93, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.09.042.
- [44] B. Abushakra, J. S. Haberl, and D. E. Claridge, “Overview of existing literature on diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations,” *ASHRAE Transactions*, vol. 110 PART 1, pp. 164–176, 2004.
- [45] International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies To 2050*. Paris, 2010.
- [46] T. Labeodan *et al.*, “Occupancy measurement in commercial office buildings for demand-driven control applications - A survey and detection system evaluation,” *Energy and Buildings*, vol. 93, pp. 303–314, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.028.
- [47] O. T. Masoso and L. J. Grobler, “The dark side of occupants’ behaviour on building energy use,” *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 173–177, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.08.009.
- [48] A. M. Papadopoulos, “Active solar heating and cooling of buildings,” *Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art*, pp. 17–36, 2014, doi: 10.4324/9781315074467.
- [49] W. T. Grondzik, A. G. Kwok, B. Stein, and J. S. Reynolds, *Mechanical and electrical equipment for buildings*. Wiley, 2011.
- [50] I. M. Budaiwi, “An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings,” *Building and Environment*, vol. 42, no. 5, pp. 2124–2131, May 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.03.010.
- [51] S. Schiavon and K. H. Lee, “Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures,” *Building and Environment*, vol. 59, pp. 250–260, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.08.024.
- [52] J. F. Nicol and M. A. Humphreys, “Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 6, pp. 563–572, 2002.
- [53] V. Fabi, R. V. Andersen, S. P. Corgnati, and B. W. Olesen, “A methodology for modelling energy-related human behaviour: application to window opening behaviour in residential buildings,” *Building Simulation*, vol. 6, no. 4, pp. 415–427, Apr. 2013, doi: 10.1007/s12273-013-0119-6.
- [54] V. Martinaitis, E. K. Zavadskas, V. Motuziene, and T. Vilutiene, “Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A Case study,” *Energy and Buildings*, vol. 101, pp. 64–75, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.031.
- [55] V. Motuziene and T. Vilutiene, “Modelling the effect of the domestic occupancy profiles on predicted energy demand of the energy efficient house,” *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 798–807, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.04.101.
- [56] J. a. Davis and D. W. Nutter, “Occupancy diversity factors for common university building types,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 9, pp. 1543–1551, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.03.025.
- [57] C. Duarte, K. Van Den Wymelenberg, and C. Rieger, “Revealing occupancy patterns in an office building through the use of occupancy sensor data,” *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 587–595, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.08.062.
- [58] V. S. K. V. Harish and A. Kumar, “A review on modeling and simulation of building energy systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 1272–1292, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.040.
- [59] IEA, “IEA-EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings,” 2015. www.annex66.org.
- [60] A. Cowie, T. Hong, X. Feng, and Q. Darakdjian, “Usefulness of the obFMU Module Examined

-
- through a Review of Occupant Modelling Functionality in Building Performance Simulation Programs Usefulness,” in *IBPSA Building Simulation 2017*, 2017, no. August.
- [61] B. Dong *et al.*, “An information technology enabled sustainability test-bed (ITEST) for occupancy detection through an environmental sensing network,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 7, pp. 1038–1046, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.01.016.
- [62] M. B. Kjærgaard and F. C. Sangogboye, “Categorization framework and survey of occupancy sensing systems,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 38, pp. 1–13, 2017, doi: 10.1016/j.pmcj.2016.09.019.
- [63] K. Christensen, R. Melfi, B. Nordman, B. Rosenblum, and R. Viera, “Using existing network infrastructure to estimate building occupancy and control plugged-in devices in user workspaces,” *International Journal Communication Networks and Distributed systems*, vol. 12, no. 1, pp. 4–29, 2014.
- [64] T. Teixeira, G. Dublon, and A. Savvides, “A survey of human-sensing: methods for detecting presence, count, location, track, and identity,” *ACM Computing Surveys*, vol. 5, pp. 1–35, 2010, [Online]. Available: http://www.eng.yale.edu/enalab/publications/human_sensing_enalabWIP.pdf.
- [65] International energy agency (IEA) and Energy in buildings and communities programme (EBC), “Total Energy Use in Buildings: Analysis and Evaluation Methods (Annex 53) Project Summary Report,” 2016.