

Internet of Things Platform for sustainability management concerning thermal comfort, indoor air quality and energy

Hugo O. Garcés^a, Claudia Duran^{b,*}, Eduardo Espinosa^c, Alejandro Jerez^{d,e}, Fredy Palomino^f,
Marcela Hinojosa^g, Raúl Carrasco^h

^a*Computer Science Department, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Ribera 2850, Concepción, Chile*

^b*Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile*

^c*Electrical Engineering Department, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Ribera 2850, Concepción, Chile*

^d*Universidad Andres Bello. Facultad de Ingeniería, Antonio Varas 880, Santiago, Chile*

^e*Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Casilla 110-V, Valparaíso, Chile*

^f*UNAB*

^g*Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Concepción, Edmundo Larenas 219, Concepción, Chile*

^h*Facultad de Ingeniería y Negocios, Universidad de Las Américas, Av. Manuel Montt 948, Providencia, Chile*

Abstract

- Como máximo 300 palabras.
- Graphical abstract obligatorio.
- Highlights obligatorio. 3-5 Bullets y máximo 85 caracteres cada uno.

Keywords: Air Quality, IoT, Hospitals, CORONAVIRUS

*Corresponding author

1. Introduction

Las Naciones Unidas han propuesto la necesidad de centrar los esfuerzos de los Estados, las empresas y las comunidades en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos objetivos globales tienen como fin eliminar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Para el cumplimiento de las ODS se deben generar acciones y políticas para mejorar la salud de la población, reducir la brecha de género, acceder a fuentes de energía más asequibles y limpias, mejorar la calidad del trabajo y las condiciones medioambientales, entre otras [1]. En particular el logro de los ODS en países con menor renta disponible es más difícil de cumplir, debido a que existe una relación directa entre la producción interna bruta (GDP) per cápita y el gasto del país en energía, en la cual a medida que disminuye el GPD per capita aumenta la pobreza energética, es decir, hay menos capacidad de los hogares para satisfacer las necesidades básicas relacionadas con el uso de este recurso [2]. Es importante medir la política social y la vulnerabilidad de ciertos grupos a través de una perspectiva de justicia energética [3]. A pesar de los esfuerzos que promueven las políticas energéticas renovables y limpias, faltan instituciones que tomen decisiones de inversión efectivas que disminuyan las externalidades negativas que se generan por la gran cantidad de contaminación atmosférica, las emisiones de GEI y otros factores [4].

Se observa que los sectores que más consumen energía son el comercio, las organizaciones públicas y privadas y el sector residencial principalmente, por el funcionamiento de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios que buscan alcanzar un ambiente interior confortable y una alta calidad del aire [5, 6, 7]. Es necesario que las autoridades generen políticas sostenibles que satisfagan las necesidades de energía de la población que cumplan los propósitos de reducir la pobreza energética a nivel mundial y disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que afectan las actividades humanas y al ambiente [2, 8, 9].

En respuesta a la creciente demanda en la cual los ocupantes de un edificio necesitan un entorno interior cuyo confort térmico y calidad del aire sean adecuados para sus actividades, se requiere mejorar en su instalación y funcionamiento el diseño de los sistemas de climatización, de las envolventes y del aislamiento [10, 11]. Es importante la calidad del ambiente interior ya que afecta la salud, el rendimiento cognitivo y la productividad [12, 13]. Los resultados de diferentes estudios muestran que el confort térmico es calificado como el aspecto más relevante, en comparación con la calidad del aire, el confort visual y/o auditivo [14, 15].

1.1. Confort térmico y calidad del aire en hospitales

El desarrollo energético global muestra una mayor exigencia por parte de las personas en el aspecto de calidad de servicios en los distintos sectores productivos, ya que se requiere un uso eficiente de la energía, además que su generación y conversión sea limpia y sustentable [16, 17, 18].

Hoy en día en los hospitales, la climatización es un proceso que es gran consumidor de energía eléctrica y térmica. En la climatización sólo se consideran las variables de temperatura y humedad, la cual encaja con

la definición de confort térmico dado por la norma ISO 7730 [312], la norma ASHRAE 55-2013 [313] define el confort térmico como la percepción que representa la condición térmica de satisfacción del ambiente. Ambas definiciones son bastante amplias, ya que cada persona puede tener una percepción diferente del cumplimiento térmico para el mismo ambiente. En general, la flexibilidad térmica es una condición de neutralidad que significa que la persona no siente demasiado frío y tampoco demasiado calor. Este último representa un equilibrio de energía entre el cuerpo y el medio ambiente, lo que implica que el cuerpo puede equilibrar el calor ganado con el calor eliminado.

Por otro lado, la condición no neutral es corregido por los sistemas HVAC. Lo anterior verifica la estrecha relación entre el consumo de energía en un edificio y el confort térmico; si se optimiza este último y se alcanza la neutralidad con un menor consumo energético, se consigue la eficiencia energética [314]-[316]. En [317], el trabajo desarrollado por Fanger propone el cálculo del confort térmico. El método de Fanger para el confort térmico considera las siguientes variables: (i) nivel de actividad, (ii) características de la ropa, (iii) temperatura seca, (iv) humedad relativa, (v) temperatura y (vi) velocidad del aire. A partir de estas medidas se calculan dos índices: Voto medio previsto (PMV) que estima la sensación térmica media y el Porcentaje de personas insatisfechas (PPD).

El hospital es uno de los edificios donde es más difícil realizar un control del confort térmico y la calidad del aire interior, debido a: (i) distintas tecnologías de HVAC y de climatización (ii) infraestructura interna cambiante, según requerimientos, (iii) heterogeneidad de sus ocupantes (según sus características de vestimenta, actividad física), y (iv) los sistemas de HVAC y climatización dependen de dos tipos de energía: eléctrica y térmica [19, 20]. En estas instalaciones es necesario desarrollar soluciones que permitan realizar el confort térmico adecuado en las habitaciones de los pacientes hospitalizados y ambulatorios (adultos, niños y personal médico), salas de espera, sala de procedimientos y laboratorios[19]. En particular, se deben considerar sus requisitos específicos, especialmente, si se trata de pacientes quemados o con un sistema inmunitario deteriorado debido a una enfermedad o a la medicación. Cabe decir que para controlar la temperatura, la humedad, la ventilación y reducir la proliferación tanto de bacterias como de virus en las instalaciones se usan las especificaciones de la norma ASHRAE [21].

Por otra parte, se necesita desarrollar sistemas de ventilación inteligentes que hagan un uso eficiente de la energía eléctrica y que mejoren la calidad del aire interior [15, 22]. Tal es el impacto, que según la Organización Mundial de la Salud OMS alrededor de 99.000 muertes en Europa y 81.000 en Estados Unidos se atribuyen a una inadecuada calidad del aire interior en edificios residenciales($\text{CO}_2 > 500$ ppm) [22, 23].

En China y en los Países Bajos se midieron y analizaron las variables ambientales en los hospitales, concluyendo que el sistema de climatización y ventilación (HVAC) necesita alcanzar diferentes condiciones ambientales en cada una de las habitaciones ya que tienen que cumplir con requisitos de humedad, temperatura y calidad del aire interior [24, 25]. Cabe mencionar que en las ciudades inteligentes los actores públicos y privados trabajan colaborativamente, para vigilar la calidad del aire utilizan sistemas de monitoreo con

microcontroladores que conectan sensores que tienen los parámetros de entrada: temperatura, humedad relativa (RH), CO, C₂H₅OH, VOCs, entre otros [26, 27]. Es importante ejercer un control efectivo ya que una alta concentración de los contaminantes CO₂, SO₂, NO₂, NO_x o material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, puede provocar enfermedades a corto y largo plazo [28, 29].

Confort térmico, eficiencia energética y calidad del aire en hospitales son temas que están estrechamente relacionados, en una organización es relevante planificar la operación en el corto plazo de los sistemas HVAC y tomar decisiones de largo plazo con sistemas de control automático u operadores expertos, para obtener beneficios directos al disminuir el consumo de energía (térmica y eléctrica) e indirectos al mejorar: las condiciones laborales como el riesgo de propagación de enfermedades en los pacientes y en los trabajadores, así como en la planificación de inversiones energéticas (revestimientos y aislación térmica, instalación o reparación de sistemas HVAC) [19, 30, 31, 32].

En el desarrollo tecnológico aparecen los sistemas de instrumentación y control automático [33]. Para el monitoreo y control en hospitales del confort térmico y la calidad del aire, se están utilizando plataformas basadas en la Internet de las Cosas (IoT)[318][319], las cuales se caracterizan porque: (i) tienen una estructura jerarquizada donde cada capa posee funciones independientes tal que la interacción entre capas se hace a través de señales procesadas a lo largo de la plataforma hasta que la información para apoyar la toma de decisiones del usuario final es desplegada en la interfaz de operación; (ii) los sensores inteligentes que forman la capa de percepción o sensado miden las variables de interés y se construye con componentes de múltiples tecnologías junto con un sistema de cómputo embebido que permite distribuir la inteligencia y la capacidad de cómputo de la plataforma; (iii) gestiona los requerimientos de calidad del servicio manteniendo un nivel acotado de consumo de energía y transmisión de datos; (iv) es ubicuo al sistema de comunicaciones que usa la capa de sensado, pudiendo combinar múltiples formas de comunicaciones digitales (Ethernet cableado o inalámbrico, GSM, entre otros) donde los datos viajan en la red dedicada o propietaria; (v) cuenta con interfaces estables entre aplicaciones lo que permite la interacción independiente del hardware y del sistema operativo de cada dispositivo de cómputo y (vi) soporta la presencia de gemelos digitales para realizar predicción o estimación del fenómeno de interés ante diferentes cambios en su entorno [? ? ?]. Sin embargo, requiere prestar atención en el diseño y operación en cuestiones relacionadas a la privacidad y procesamiento de datos [? ?]

2. Sistema público hospitalario chileno

2.1. Classification of public hospitals

En Chile la distribución de los hospitales es complicada, por su geografía, al ser un país alargado y centralizado, es difícil satisfacer las necesidades de los habitantes y construir hospitales en cada localidad [34]. Los establecimientos de salud pública atienden a aproximadamente un 80% de la población y son

gestionados por el Ministerio de Salud [35]. En Chile, se entiende como un hospital al establecimiento destinado a proveer prestaciones de salud para la recuperación, rehabilitación y cuidados paliativos de personas enfermas y colaborar en las actividades de fomento y protección, mediante acciones ambulatorias o en atención cerrada [301] [36].

De acuerdo al decreto ley 140 los hospitales se clasifican en alta, mediana y baja complejidad [37] [302], según la función que tengan dentro de la red asistencial, los servicios de apoyo diagnóstico y terapéutico y el grado de especialización de los recursos humanos [38][39][303]. Durante el año 2021, se observa que Chile cuenta con 63 hospitales públicos de alta, 32 de mediana y 98 de baja complejidad [40].

Actualmente, los hospitales tienden a ser estructuras flexibles con características de red asistencial según el tipo de actividades, niveles de complejidad y especialidades que le asigne el gestor de Red [41]. Existen macroneces a nivel regional y nacional, en las cuales se pueden derivar los pacientes desde los de menor a alta complejidad y entre hospitales complejos. Los más complejos se distinguen por ser gestores que se autoadministran, funcionan en red, son desconcentrados, son autónomos en sus decisiones y dan cobertura a toda su población [40].

En Chile desde el punto de vista energético, no existe una caracterización muy detallada del sector hospitalario, si bien durante los años 2014-2016 la agencia de sostenibilidad energética realizó auditorías energéticas en algunos hospitales del país. Donde desde el punto de vista del confort térmico, sólo realizó una encuesta a usuarios de los hospitales, sin considerar por ej.: actividad física, ropa, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento interior y clima exterior [42] [310].

La política energética de Chile "Energía 2050" tiene como objetivo que para el año 2050 todas las edificaciones nuevas tengan estándares OCDE de construcción eficiente, cuenten con sistemas de control y gestión inteligente de la energía, contribuyendo a los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [43]. No obstante, faltan características que sigan la línea base de este tipo de instalación pública relacionada con el confort térmico, esto se observó en la aplicación de la auditoría que realizó la agencia de sostenibilidad energética durante los años 2014-2016 en la que no se consideraron factores importantes tales como: actividad física, ropa, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento [44].

2.2. Proceso de atención de un hospital público de alta complejidad

Los hospitales públicos chilenos son utilizados por personas o usuarios, quienes eligen el servicio de salud [45][304]. La ley N°20.584 regula los derechos y deberes que tienen los usuarios, los profesionales y los trabajadores que participan en el proceso de atención [46][305][306]. Como se muestra en la Figure 1, los servicios siguen protocolos de acuerdo al tipo de atención que prestan: general, a personas en situación de discapacidad según su condición (física, psicosocial, cognitiva, visual o auditiva) o a personas migrantes [45, 47][307][308].

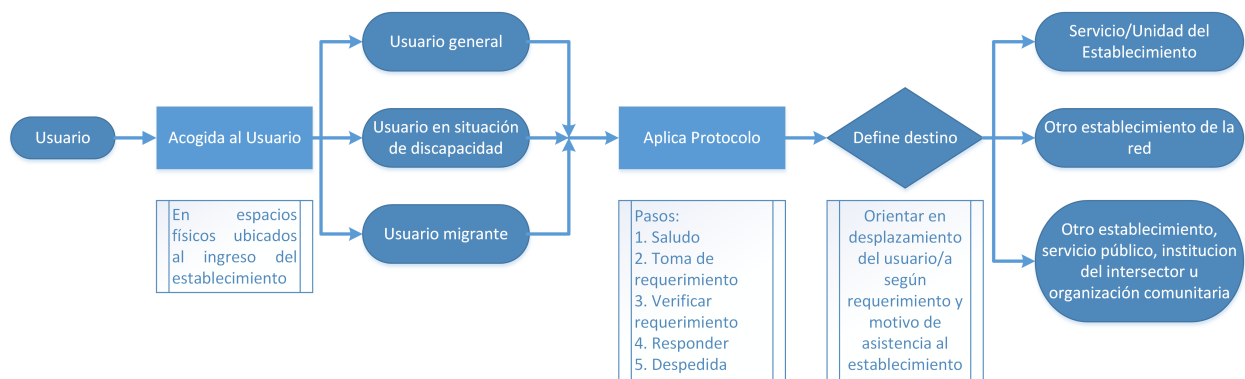


Figure 1: Protocolos usados en el proceso de atención

2.3. Caracterización de la matriz energética en un sistema de salud de alta complejidad

Para seleccionar las fuentes energéticas en un hospital de alta complejidad que utilizará a lo largo de su vida útil, se requiere conocer el origen de esa energía. Según [48][309], si se obtiene por combustión de un combustible fósil, se generan gases de efecto invernadero (GEI); si es biomasa proveniente de los pellets de bosques se usa un plan de manejo con un ciclo de carbono normal sin tala de árboles donde el CO₂ producido de una combustión eficiente se puede equiparar con la absorción del material vegetal durante su vida, no así si proviene de un proceso de deforestación. El uso directo de la energía solar, eólica o hidráulica no produce emisiones durante su producción, pero en ellas, así como en otras formas de energía no convencionales, es necesario tener en cuenta la energía consumida durante de fabricación de las instalaciones que la aprovechan. Por su parte, la energía eléctrica proveniente del sistema eléctrico nacional (SEN) en Chile, se está diversificando y cada vez se vuelve más sustentable mediante la producción por centrales de energías renovables no convencionales que se van implementando progresivamente [49][311].

La elección de la matriz energética se basa en el análisis de las condiciones climáticas y de la disponibilidad de energías en el lugar. Así, el estudio de la matriz energética del lugar en Chile considera evaluar distintas fuentes de suministro: (i) petróleo, (ii) gas, (iii) pellets, (iv) biomasa u otra, (v) energías renovables no convencionales, y (vi) estudio tarifario eléctrico y otras fuentes energéticas disponibles en el lugar y sus costos. Seleccionar las fuentes energéticas para un hospital determina la necesidad de los recintos para el almacenamiento de combustibles, su disposición y dimensionamiento en la edificación.

Dentro de un hospital conviven diversos sistemas que consumen energía, estos son: (i) sistemas de iluminación, (ii) sistemas de calefacción, (iii) sistemas informáticos, (iv) sistemas de refrigeración, (v) sistemas auxiliares. Dentro de este último tipo de sistema existen diversos equipos asociados tales como: motores eléctricos, bombas, etc.

A partir de una caracterización histórica energética de un hospital, se pueden recurrir a diversos indicadores [320], para obtener una relación entre el consumo energético y las variables que influyen en el

recinto hospitalario, estos pueden ser: (i) Consumo de energía por cama ocupada, (ii) consumo de energía por ventas, y (iii) consumo de energía por metro cuadrado. Si bien la producción u ocupación de camas es relevante para una consideración de medición de consumo, existen otras variables que influyen en el consumo de energía, siendo la más relevante la relacionada con la climatización y HVAC, debido a que consume energía eléctrica y térmica, sujeto a las condiciones climáticas externas.

3. Motivación

Actualmente, se observa que a los hospitales de alta complejidad en Chile les falta monitorear en línea el consumo de energía en sus actividades y procesos para que así la toma de decisiones sea más eficiente y sustentable a lo largo de su vida útil, considerando aspectos tales como el registro del confort térmico y la calidad del aire interior. La integración de nuevas tecnologías y mayores estándares de habitabilidad en la infraestructura hospitalaria hace necesario el control y monitoreo de los consumos energéticos.

En el diseño integrado de un hospital en Chile, se invita a tener en consideración los siguientes puntos: (i) Certificación Edificio Sustentable (CES) versión hospital: esta certificación es desarrollada por el instituto de la construcción y es voluntaria en el proceso de diseño del hospital. El objetivo de esta certificación es evaluar, calificar y certificar el grado de sostenibilidad ambiental del edificio, entendiendo ésta como la capacidad de un edificio de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior, con un uso eficiente de recursos y baja generación de residuos y emisiones. (ii) Guía de Eficiencia energética para establecimiento de Salud: documento desarrollado por la agencia de sostenibilidad energética, en el cual se entregan lineamientos por zona climática en Chile, además de entregar indicaciones para lograr una operación eficiente del punto de vista energético. (iii) Smart Hospital: desarrollado por la OPS/OMS, es una guía práctica para administradores de hospitales, coordinadores de desastres en salud, diseñadores de instalaciones de salud, ingenieros y personal de mantenimiento para lograr instalaciones de salud inteligentes al conservar recursos, reducir costos, aumentar la eficiencia en las operaciones y reducir las emisiones de carbono.

Los puntos anteriormente indicados son recomendaciones para los procesos de construcción y operación de un Hospital de alta y mediana complejidad. Pero se debe recordar que desde el punto de vista operacional y estructural un Hospital esta en constante cambio, desde su puesta en marcha. Se realizan adecuación de nuevos espacios tanto para la atención de usuarios, como para instalación de espacios de oficina o laboratorios, lo anterior se vio reflejado en los primeros meses de la pandemia COVID-19. Haciendo que los sistemas originales de climatización y calidad de aire queden obsoletos, ya que comúnmente se diseñan y operan para una espacio que no será alterado en el tiempo.

Es así como la instalación de un sistema de nodos sensores que permita la medición de la calidad del aire y del confort térmico en hospitales, puede ayudar al gestor energético u operador de climatización a mejorar el desempeño energético y la calidad del aire al interior de este tipo de edificio.

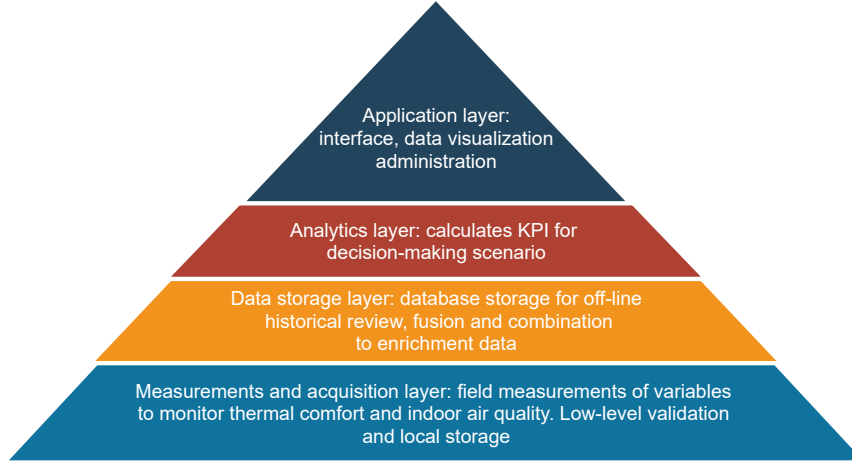


Figure 2: Iot Platform as a hierarchical structure

3.1. IoT Platform as a cyber-physical system

Con la irrupción de las plataformas o sistemas de Internet de las cosas (IoT:Internet-of-things), se establece un puente entre las dimensiones virtual y física desde el punto de vista de la arquitectura de sistemas. En este sentido, se puede inferir que los procesos de atención hospitalaria con la presencia de los smart sensors forman un sistema ciber físico desde la perspectiva del monitoreo (CPS: Cyber-physical-system). Los CPS son de un amplio interés de investigación como tema transdisciplinar, incluyendo las tecnologías de comunicación, la informática, la ingeniería eléctrica-electrónica, los sistemas de instrumentación y control, la instrumentación, entre otros. Desde la perspectiva de CPS, la figura 3 muestra los componentes principales del CPS, donde es factible apoyar la toma de decisiones de corto y de largo plazo considerando la información disponible desde la plataforma IoT, a través del cálculo de indicadores de desempeño KPI basados en los datos multidimensionales disponibles en la base de datos de la plataforma de monitoreo (los componentes en morado están fuera del alcance del presente estudio, ya que no se ejecutan acciones de ajuste en el proceso de atención hospitalaria). Con este tipo de estructura, se facilita la gestión de datos y su modelación, dado que no es necesario tener almacenados todos los KPI, sino que se almacena la información que habilita su cálculo dependiendo de los requerimientos del usuario final. Además, este modelo de gestión de los datos permite tener una estructura flexible en cuanto a los KPI por calcular en la plataforma, los cuales pueden ir variando en su formulación en el tiempo, a medida que en la plataforma se cuenta con mayor cantidad de información desde los smart sensors

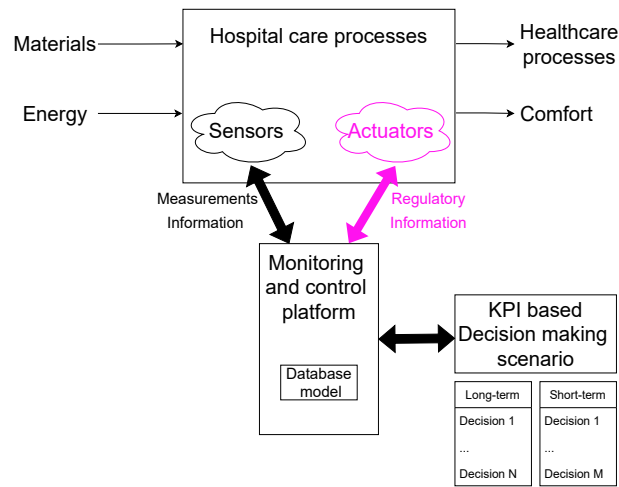


Figure 3: Proceso de atención hospitalaria como CPS

La urgencia puede ser: Adulto, Pediátrica y Gineco-obstétrica

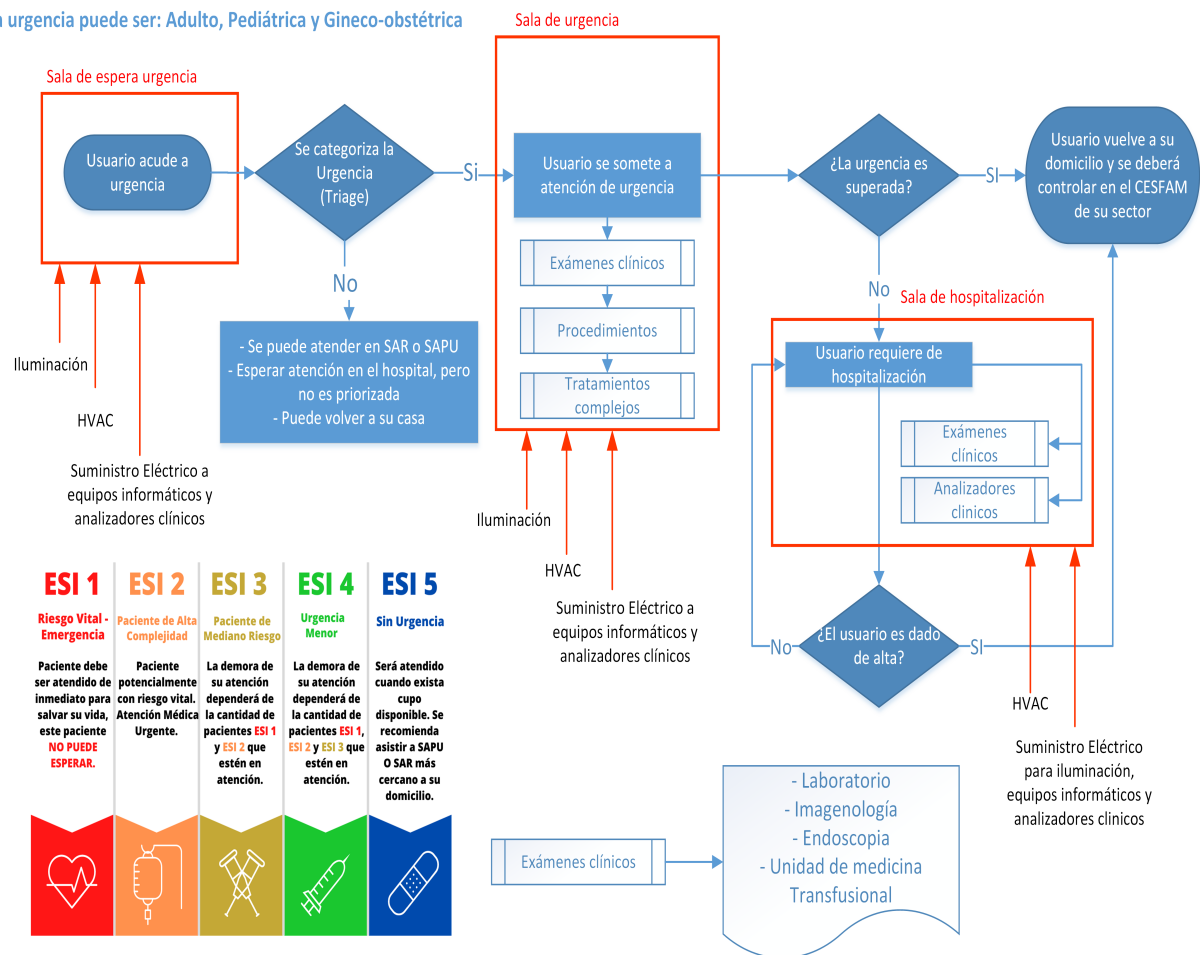


Figure 4: Process schematic.

- 3.2. Bases de datos multidimensionales
- 3.3. Descripción del proceso de obtención de datos y comparación.
- 3.4. Diseño del sistema

Diagrama del sistema, y diagrama de flujo de la información recopilada por los nodos. Descripción del flujo de información junto con los protocolos utilizados para la comunicación.

El flujo de datos de la plataforma comienza con la adquisición de datos de temperatura, humedad, material particulado y gases de calidad del aire interior; los cuales se miden a través de los componentes que integran el sensor inteligente. La lectura de los sensores se realiza a través de la conexión con una development board Arduino UNO cada 60 segundos. La lectura de los sensores se realiza junto a su respectiva marca de tiempo (timestamp), la cual establece el instante de la medición. Dicha adquisición de datos ejecutada por la development board Arduino UNO es transmitida a una tarjeta de bajo costo Raspberry PI, a través de una conexión serial directa dentro del smart sensor. The Raspberry runs a OPC UA Server that saves the data obtained from the Arduino, verifying first that it has a timestamp and the quality of the data, which in this case is defined by two possible states (‘GOOD’ or ‘BAD’)

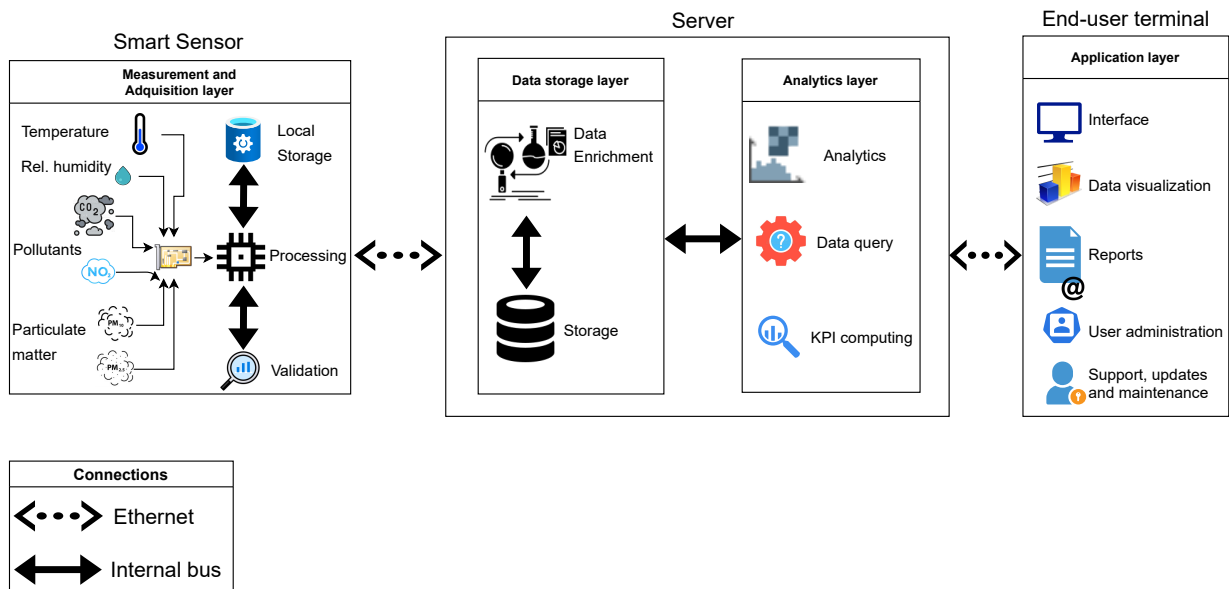


Figure 5: Flowchart

4. Sistema de monitoreo para confort térmico y calidad del aire interior en hospital

4.1. Main IoT Platform components

Desde una perspectiva tecnológica, la definición de internet de las cosas o Internet of things no es única. Sin embargo, multiples autores coinciden en que las plataformas o sistemas IoT se caracterizan

por la conectividad de multiples dispositivos que poseen un switch o dispositivo de comunicación, para estar conectados a internet y a través de ella enviar la información medida en terreno hacia la plataforma, En este sentido, se forma un escenario donde se produce una comunicación autónoma entre maquinas, incluyendo a smart sensors. Por otro lado, multiples autores también coinciden en que las plataformas o sistemas IoT son diseñados y operados como una estructura jerarquizada, donde cada capa posee funciones independientes junto a sus respectivos módulos funcionales y que se transmiten información a través de señales de interconexion (tipicamente digitales). Para el presente trabajo, la estructura jerarquizada con sus funciones basica se describe en la Figura 2, donde se nombran las principales funciones de cada una de las cuatro capas de la estructura Iot para monitoreo de confort térmico y caldiad del aire interior en hospitales. En el tope de la piramide invertida se encuentran los smart sensors, los cuales proveen de la información de la energía y la calidad del aire interior requerida para llevar a cabo los diferentes procesos hospitalarios. Esots smart sensor se caracterizan por poseer un bajo costo por unidad, por realizar tareas de almacenamiento temporal y validación de los datos medidos junto con el encapsulamiento y transmisión via Ethernet de las multiples mediciones de las variables de interés para ejecutar el monitoreo hospitalario en la plataforma (para mayores detalles, ver Figura 6 sobre la estructura elemental del smart sensor)

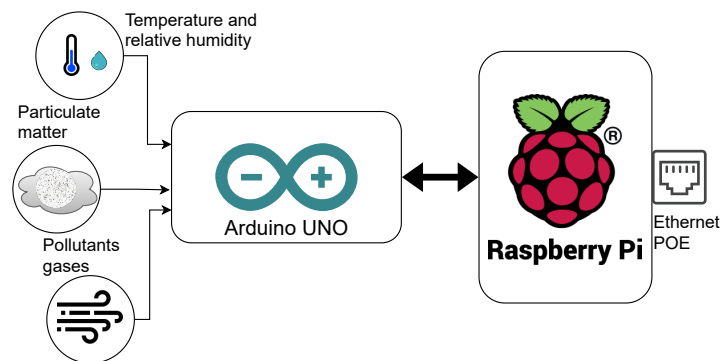


Figure 6: Iot smart sensor basic structure

En la Tabla 1 se muestran los principales atributos de los diferentes componentes

tabla resumen con principales características de cada sensor: nombre, variables que mide, resolución y rango.

Key Performance Indexes for Energy Management

4.2. Sub-sistema de tratamiento de datos y gestión de indicadores

Considerando las diferentes necesidades de los diferentes actores que intervienen en el control o en los procesos de mejoramientos de las condiciones ambientales en recintos de uso público, es necesario mantener un registro de indicadores clave para medir diversos tipos de variables ambientales relacionadas con la sensación de bienestar de las personas y el estado de los diferentes factores que constituyen los espacios

Table 1: Specifications smart sensor components.

Sensor	MG - 811	SDS - 011	Grove - Sensor 6814	Grove - Sensor 6814	DHT - 22
Measurement	CO_2	PM2.5 & PM10	NO_2 & CO	CO	Temperature & Relative humidity
Operation voltage	[3.7 ; 5.0] V	[4.7 ; 5.3] V	[4.9 ; 5.1] V	[4.9 ; 5.1] V	5.0 V
Power consumption	Less than 1 W	350 mW	150 mW	150 mW	25 mW
Range	[0.0 ; 10.000] ppm	CO: [0.0 ; 999.9] $\mu g/m^3$	NO2: [0.05; 10] ppm	CO: 1-1000 ppm, NO2: [0.05; 500] ppm	Temperature: [0.0 ; 50] C, RH = [20.0; 90.0] %
Response time	< 20 s	1 s	Sin Información	Sin Información	Sin Información
Output	Analog: [2.7 ; 4.1] V	Analog, RX of UART (TTL) @3.3V	Analog	Analog	Analog [0.0; 5.0] V
Operational range	[-20.0; 50.0] C	[-10.0; 50.0] C	Temp: [-30.0; 85.0] C ,RH: [-5.0; 95.0] %	Temp: [-30.0; 85.0] C ,RH: [-5.0; 95.0] %	[-40.0; 80.0] C
Accuracy	± 100 ppm @400ppm	15% & $\pm 10 \mu g/m^3$	No Informada	No Informada	Temp: $\pm 0.5^\circ C$, RH: $\pm 2\%$
Cost per unit US\$	80	50	80	80	10

públicos, dentro de los que tiene un rol preponderante, todos los aspectos que se relacionan con la calidad del aire. Debido a que este conjunto de indicadores es diverso en cuanto a las características de las mediciones: discretas o continuas, objetividad o subjetividad, instrumental o mecanismos de medición y registro, etc., es necesario generar una organización de la información que refleje todos estos factores y sus interrelaciones, así como que tenga la capacidad de acceder o procesar esta información en los momentos oportunos y con tiempos acordes a las necesidades.

A tal efecto en este trabajo se propone la implementación de un sistema de información de características multidimensionales, que permita responder a las necesidades previamente descritas. El sistema consiste en una herramienta tecnológica que provee indicadores de información ambiental disponibles en línea y con acceso directo, que permite visualizar u obtener secuencias históricas de valores relativos a recintos específicos o a conjuntos de recintos, en espacios cerrados de infraestructura urbana pública o privada, con la finalidad de ayudar a los gestores o investigadores, a alcanzar condiciones de confort ambiental estables, proponer planes de mejoramiento y el uso racional de recursos de climatización, evaluar iniciativas relacionadas con el confort y el uso eficiente de recursos de energía relacionados los usuarios y los trabajadores en recintos públicos o privados.

El sistema comprende . . . indicadores que aportan información relacionada con el confort ambiental y el consumo de energía, en las siguientes dimensiones:

- **Recintos físicos:** Se refiere a edificaciones comprendidas en límites bien delimitados, las cuales están compuestas por múltiples y diferentes tipos de dependencias, que están destinadas a proveer servicios de uso público para diferentes tipos de personas.
- **Espacios:** Son dependencias específicas perteneciente y contenidas dentro de un recinto, que son utilizadas por determinados tipos de personas (usuarios). Habitualmente, cada espacio tiene una o más funciones específicas destinadas a satisfacer todas o partes de las necesidades de los usuarios directos o indirectos del recinto.
- **Actividades:** Son funciones específicas que están dentro de la labores o servicio, que son desarrolladas por personas o máquinas bajo la supervisión de personal especializado, que tiene la finalidad de proveer un servicio directo o indirecto en beneficio de los usuarios a los que está dedicado el recinto.
- **Información temporal (Tiempo):** Aporta información de anclaje temporal que permite situar con exactitud toda la información contenida en el sistema, para permitir reflejar distintos estados de la realidad de los recintos, en función de las diferentes necesidades a de análisis temporal requeridos por los diferentes procedimientos de monitoreo y seguimiento.

En la Figura 7 se representa la estructura general del sistema. La generación de la información se produce en una red de sensores o procedimientos de captura de información, todos adecuadamente formalizados.

Dichos datos RAW son capturados por procedimientos específicos los cuales con la ayuda de herramientas informáticas conocidas como ETL [501] pre procesan los datos para la posterior carga en el subsistema multidimensional. El soporte del subsistema multidimensional es una base de datos multidimensional compuesta por dos tipos de variables multidimensionales. Los datos RAW que han sido pre procesados en el proceso de carga son almacenados en uno de los tipos de cubos, que contienen información agregada cuya característica es que todas sus medidas (indicadores) corresponden a funciones aditivas como las utilizadas en [502]. El siguiente tipo de variables multidimensionales, las cuales generalmente no serán almacenadas en el sistema, corresponde a medidas basadas en funciones no aditivas que se generan a partir de los indicadores provenientes de las variables multidimensionales que contiene funciones aditivas, lo cual genera un entorno significativamente eficiente y rápido para la gestión en línea de este tipo de información.

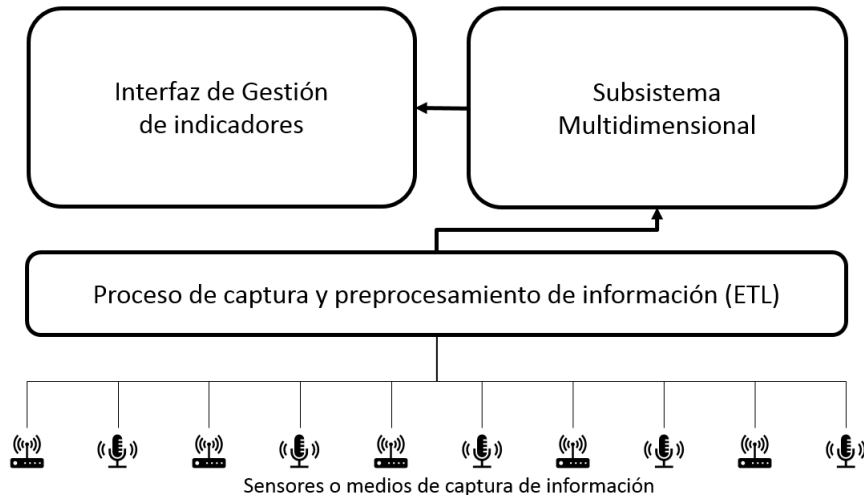


Figure 7: Esquema del sistema en línea para el monitoreo y evaluación de planes de mejoramiento ambiental.

La que se denomina Interfaz de Gestión de Indicadores corresponde a un software destinado a los gestores e investigadores, que proporcionará acceso a la información incorporando funcionalidades gráficas y analíticas, incorporando el enfoque conocido en el ámbito de la gestión como Panel de Control [503].

4.3. Subsistema Multidimensional y Estructura de la Base de Datos Multidimensional

Como se ha explicado previamente, los indicadores de bienestar ambiental corresponden mayoritariamente a variables numéricas discretas, que se registran con una periodicidad que varía según el tipo de medio de medición que se utiliza. La mayoría son mediciones instrumentales que se obtienen a través de los sensores y que se registran en la forma de números reales en secuencias de datos medidos en intervalos de tiempos regulares. Conjuntamente, generan una gran cantidad de información que involucra el tipo de instrumento utilizado y se relaciona con los espacios físicos, las personas o usuarios y las actividades que en dichos espacios se realizan.

En líneas generales, el subsistema, como parte del sistema de monitoreo en línea, recibe peticiones de la interfaz de gestión de indicadores. Dependiendo de la complejidad del indicador y sus características aditivas, es posible clasificarlos en dos tipos:

- **Indicadores aditivos (o fraccionables):** Se trata de aquellos en que la fórmula de cómputo es posible descomponerla en expresiones más simples, debido a que cumplen con la propiedad de aditividad [504]. Esto favorece a que se pueden obtenerse directamente de un cubo multidimensional a través de una única operación OLAP típica.
- **Indicadores no aditivos:** Son aquellos indicadores cuya formula no admite una descomposición en componentes aditivos. No obstante, de este grupo nos interesará en particular aquellos indicadores que es posible su computo en dos etapas, donde en la primera se calculen desde la base de datos algunos componentes aditivos y en una segunda etapa los resultados parciales puedan utilizarse para obtener el valor final del indicador. Considerando lo anterior, la respuesta a una consulta dependerá del tipo de indicador involucrado.

Las consultas sobre indicadores aditivos se realizarán directamente sobre un cubo OLAP que contiene la descomposición en partes aditivas que constituyen cada indicador, permitiendo un incremento muy significativo en la eficiencia de las consultas debido a que da la capacidad de utilizar las propiedades aditivas de las diferentes partes componentes.

Las conductas sobre indicadores no aditivos tendrán distintos grados de complejidad. En los casos más sencillos, donde es posible introducir una mayor eficiencia, se podrá obtener su valor a partir indicadores fraccionables que formen parte de la fórmula del indicador. Por ejemplo, es el caso de $e^{\bar{x}}$ donde claramente el promedio es un indicador fraccionable.

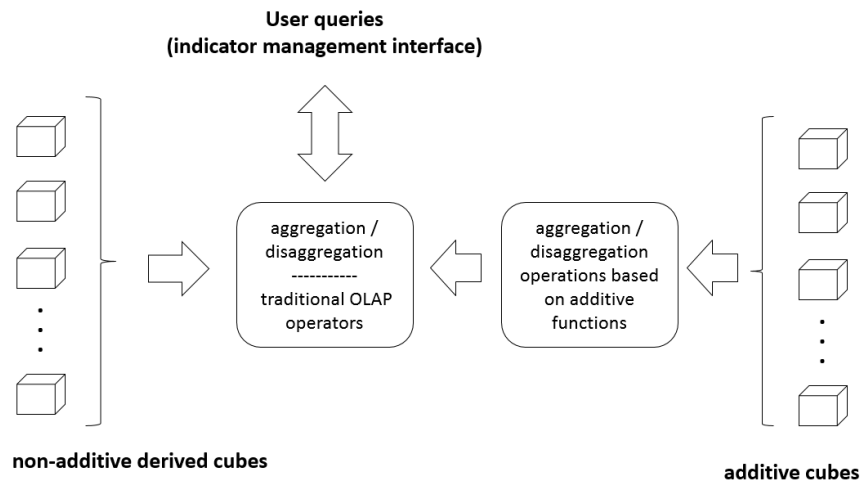


Figure 8: Multidimensional subsystem.

El sistema contempla la gestión de los indicadores contenidos en la Tabla 2, los cuales son, desde el punto de vista de los datos, son total y funcionalmente dependientes de las dimensiones Tiempo, Recinto, 330 Actividad y Espacio, cuyas jerarquías de atributos, son las siguientes:

Table 2: Indicadores del sistema

Indicador	Descripción	Aditividad
Ind_1	Consumo de energía MT2	Si
Ind_2	Consumo de energía por usuario	Si
Ind_3	Potencia instalada	Si
Ind_4	CO2	Si
Ind_5	Estimación de generación CO2 por persona	No
Ind_6	Nivel de confort térmico	No
Ind_7	Nivel de cumplimiento Norma ASHRAE 62.1 2013 y 170. 2017	No
Ind_8	Nivel de cumplimiento norma MP 2.5	No
Ind_9	Nivel de cumplimiento norma MP 10	No
Ind_{10}	Temperatura ambiente interior	Si
Ind_{11}	Temperatura ambiente exterior	Si
Ind_{12}	Percepción del confort térmico v/s cantidad de patologías	No
Ind_{13}	Cantidad de contagios COVID	Si
Ind_{14}	Cantidad de contagios Influenza	Si
Ind_{15}	Relación entre CO2 y transmisión viral COVID	Si
Ind_{16}	Relación entre CO2 y transmisión viral influenza	Si

Dimensión Espacio: Aporta información sobre los espacios físicos de los recintos. Está compuesta por los los siguientes atributos:

$$E_{espacio} = \{\text{Id, Mt2, Tipo, Capacidad, Planta}\} \quad (1)$$

En una relación de orden sobre $E_{espacio}$ conformada por:

$$\{(\text{Id, Mt2}), (\text{Mt2, Tipo}), (\text{Tipo, Capacidad}), (\text{Capacidad, Planta})\}$$

El espacio dimensional de la dimensión espacio, de grado cinco, será el producto cartesiano:

$$ED_{espacio} = \prod_{i=1}^5 \text{Dom}(E_j), \quad E_j \in E_{espacio} \quad (2)$$

335 A efectos de simplificar la descripción forma y representación de cada dimensión, así como su jerarquía ($J_{espacio}$), se denota por:

$$\text{Id} \rightarrow \text{Mt2} \rightarrow \text{Tipo} \rightarrow \text{Capacidad} \rightarrow \text{Planta}$$

Análogamente, las dimensiones Actividad, Recinto y Tiempo, sumadas a la dimensión Espacio, estarán conformadas por las siguientes jerarquías de atributos (Tabla 3):

Table 3: dimensiones y Jerarquias.

Dimensión	Grado	Jerarquía
Tiempo	5	$J_{tiempo} : \text{Hora} \rightarrow \text{Dia} \rightarrow \text{Mes} \rightarrow \text{Año}; \text{Hora} \rightarrow \text{Semana} \rightarrow \text{Año}$
Recinto	2	$J_{recinto} : \text{Num} \rightarrow \text{Tipo} \rightarrow \text{Ciudad}$
Actividad	3	$J_{actividad} : \text{Id} \rightarrow \text{Tipo} \rightarrow \text{Estado}; \text{Id} \rightarrow \text{Tipo} \rightarrow \text{Especialidad}$
Espacio	5	$J_{espacio} : \text{Id} \rightarrow \text{Mt2} \rightarrow \text{Tipo} \rightarrow \text{Capacidad} \rightarrow \text{Planta}$

De esta forma, el espacio dimensional de la variable multidimensional estará conformado por el siguiente
340 producto cartesiano:

$$ED = \prod_{j \in D} \prod_{i=1}^{g(ED_j)} \text{Dom}(C_{ij}) \quad (3)$$

Donde $g(ED_j)$ corresponde al grado de la dimensión j -ésima, $\text{Dom}(C_{ij})$ es el dominio del atributo j -ésimo de la dimensión i -ésima y D es el conjunto de todas las dimensiones:

$$D = \{\text{Tiempo}, \text{Recinto}, \text{Actividad}, \text{Espacio}\}$$

Por su parte, el espacio escalar correspondiente a la variable multidimensional estará conformado por el siguiente producto cartesiano:

$$ED = \prod_{i \in I} \text{Dom}(i) \quad (4)$$

345 Dónde I es el conjunto de todos los indicadores o medidas consideradas en la variable multidimensional.

En consecuencia, la variable multidimensional destinada al monitoreo de las condiciones ambientales será una función entre el espacio dimensional y el espacio escalar ($h : ED \sim EE$), sobre la que será posible realizar actividades analíticas utilizando los operadores OLAP clásicos conforme se definen en [X] y herramientas estadísticas ad hoc.

350 Dado que en el presente diseño se contemplan dos tipos de indicadores, el cómputo de estos requerirá también la utilización de dos tipos diferentes de Funciones de Agregación Múltiples (FAM).

Como es explico anteriormente, para el caso del cómputo de los indicadores aditivos o fraccionables, será posible hacer un cómputo directo utilizando una función de agregación que compute los indicadores necesarios valiéndose de las componentes aditivas de los indicadores almacenados en la variable multidimensional.

Representaremos esta función de agregación de la siguiente manera:

$$F(H) = (F_1(H), F_2(H), \dots, F_n(H)) \quad (5)$$

Para el cómputo de los indicadores no aditivos, en aquellos casos en que su resultado pueda sustentarse en parte en los resultados parciales de una función de agregación múltiple aditiva, se definirá una función de tabulación la cual se construirá partir de los resultados de una consulta que utiliza función de agregación múltiple aditiva, de la siguiente forma:

$$F^{\circ} N(H) = N(F(H)) = (N_1(F(H)), N_2(F(H)), \dots, N_n(F(H))) \quad (6)$$

Si bien esta consulta requerirá un doble cómputo, en la medida de lo posible aprovechará la eficiencia de la función de agregación aditiva utilizada en la construcción de la variable multidimensional.

El modelo conceptual de la variable, expresado conforme a la representación propuesta en [Gotfarelli], corresponde a la Figura 9. En ella se aprecian claramente las dimensiones y las diferentes jerarquías de atributos que constituyen el espacio dimensional, que permitirá implementar diferentes criterios de clasificación de datos en base a la selección o transformación de los atributos componentes de las jerarquías.

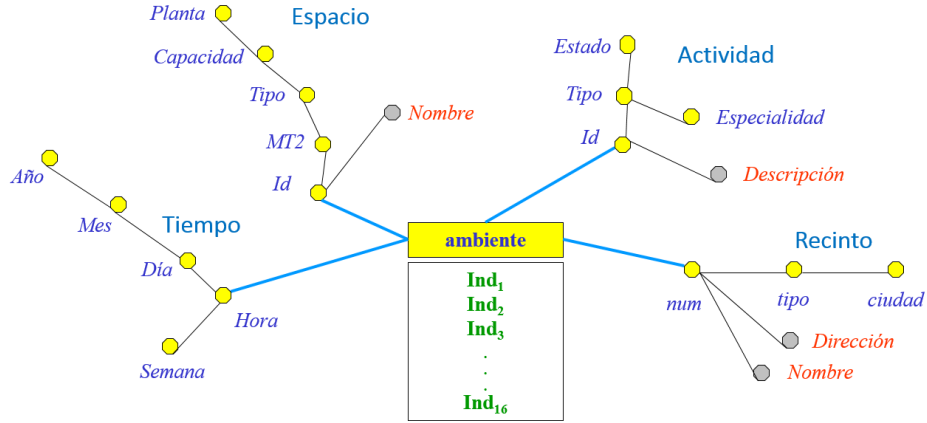


Figure 9: Variable multidimensional ambiente.

La estructura multidimensional facilita las actividades analíticas y por ende la toma de decisiones (Figura 10).

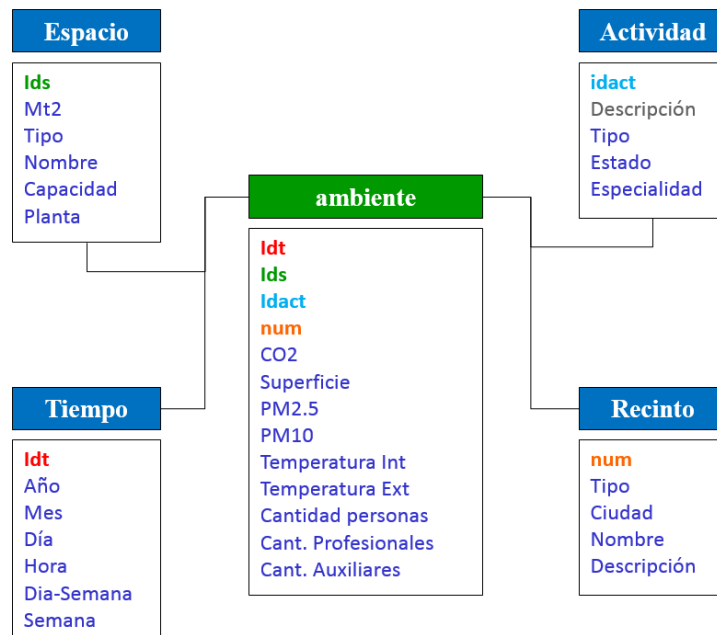


Figure 10: Implementación R-OLAP.

5. Discusión de resultados

6. Conclusions

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper [50].

Acknowledgments

The authors recognize the valuable support from CORFO-Chile under Grant 18IIP-BB-99513.

References

- [1] United Nations, [#17goals17days: Progress made on Global Goals](#), Online (jul 2016).
URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2016/07/17goals17days-progress-made-on-sustainable-development-goals/>
- [2] C. P. Nguyen, T. D. Su, [The influences of government spending on energy poverty: Evidence from developing countries](#), Energy 238 (2022) 121785. doi:10.1016/j.energy.2021.121785.
- [3] S. Knox, M. Hannon, F. Stewart, R. Ford, [The \(in\)justices of smart local energy systems: A systematic review, integrated framework, and future research agenda](#), Energy Research & Social Science 83 (2022) 102333. doi:10.1016/j.erss.2021.102333.

- [4] T.-H. Le, C. P. Nguyen, D. Park, [Financing renewable energy development: Insights from 55 countries](#), *Energy Research & Social Science* 68 (2020) 101537. doi:10.1016/j.erss.2020.101537.
- [5] A. Novikova, T. Csoknyai, Z. Szalay, [Low carbon scenarios for higher thermal comfort in the residential building sector of South Eastern Europe](#), *Energy Efficiency* 11 (4) (2018) 845–875. doi:10.1007/s12053-017-9604-6.
- [6] Y. Ma, Y. Tao, L. Shi, Q. G. Liu, Y. Wang, J. Y. Tu, [Investigations on the thermal performance of a novel thermal energy storage unit for poor solar conditions](#), *Renewable Energy* 180 (2021) 166–177. doi:10.1016/j.renene.2021.08.074.
- [7] X. Cao, X. Dai, J. Liu, [Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade](#), *Energy and Buildings* 128 (2016) 198–213. doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.089.
- [8] M. Salari, R. J. Javid, H. Noghanibehambari, [The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the U.S.](#), *Economic Analysis and Policy* 69 (2021) 182–194. doi:10.1016/j.eap.2020.12.007.
- [9] H. Ritchie, M. Roser, [CO2 and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data](#), Our World in Data.
- [10] S. H. Kim, H. J. Moon, [Case study of an advanced integrated comfort control algorithm with cooling, ventilation, and humidification systems based on occupancy status](#), *Building and Environment* 133 (2018) 246–264. doi:10.1016/j.buildenv.2017.12.010.
- [11] T. Kapwata, B. Language, S. Piketh, C. Y. Wright, [Variation of Indoor Particulate Matter Concentrations and Association with Indoor/Outdoor Temperature: A Case Study in Rural Limpopo, South Africa](#), *Atmosphere* 9 (4) (2018) 124. doi:10.3390/atmos9040124.
- [12] J. Kallio, E. Vildjiounaite, J. Koivusaari, P. Räsänen, H. Similä, V. Kyllönen, S. Muuraiskangas, J. Ronkainen, J. Rehu, K. Vehmas, [Assessment of perceived indoor environmental quality, stress and productivity based on environmental sensor data and personality categorization](#), *Building and Environment* 175 (2020) 106787. doi:10.1016/j.buildenv.2020.106787.
- [13] S. Zuhair, R. Manton, C. Griffin, M. Hajdukiewicz, M. M. Keane, J. Goggins, [An Indoor Environmental Quality \(IEQ\) assessment of a partially-retrofitted university building](#), *Building and Environment* 139 (2018) 69–85. doi:10.1016/j.buildenv.2018.05.001.
- [14] C. Zeng, S. Liu, A. Shukla, B. Yang, [Identifying the occupant’s satisfaction and awareness for the performance of Eco houses in the United Kingdom](#), *Journal of Building Engineering* 18 (2018) 281–291. doi:10.1016/j.jobe.2018.03.023.
- [15] M. A. Ortiz, S. R. Kurvers, P. M. Bluysen, [A review of comfort, health, and energy use: Understanding daily energy use and wellbeing for the development of a new approach to study comfort](#), *Energy and Buildings* 152 (2017) 323–335. doi:10.1016/j.enbuild.2017.07.060.
- [16] R. Banerjee, V. Mishra, A. A. Maruta, [Energy poverty, health and education outcomes: Evidence from the developing world](#), *Energy Economics* 101 (2021) 105447. doi:10.1016/j.eneco.2021.105447.
- [17] C. Chen, M. Pinar, T. Stengos, [Renewable energy consumption and economic growth nexus: Evidence from a threshold model](#), *Energy Policy* 139 (2020) 111295. doi:10.1016/j.enpol.2020.111295.
- [18] M. Murshed, [Are Trade Liberalization policies aligned with Renewable Energy Transition in low and middle income countries? An Instrumental Variable approach](#), *Renewable Energy* 151 (2020) 1110–1123. doi:10.1016/j.renene.2019.11.106.
- [19] P. F. Pereira, E. E. Broday, A. A. Xavier, [Thermal Comfort Applied in Hospital Environments: A Literature Review](#), *Applied Sciences* 10 (20) (2020) 7030. doi:10.3390/app10207030.
- [20] F. Yuan, R. Yao, S. Sadrizadeh, B. Li, G. Cao, S. Zhang, S. Zhou, H. Liu, A. Bogdan, C. Croitoru, A. Melikov, C. A. Short, B. Li, [Thermal comfort in hospital buildings – A literature review](#), *Journal of Building Engineering* 45 (2022) 103463. doi:10.1016/j.jobe.2021.103463.
- [21] ASHRAE, [2019 ASHRAE Handbook – HVAC Applications \(SI\)](#), ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 2019.
- [22] G. Guyot, M. H. Sherman, I. S. Walker, [Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review](#), *Energy and Buildings* 165 (2018) 416–430. doi:10.1016/j.enbuild.2017.12.051.
- [23] European Standards, [UNE EN 16798-3:2018 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 3: For non-](#)

residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems (Modules M5-1, M5-4), Tech. rep., Asociación Española de Normalización, Madrid, España (2018).

- [24] A. Eijkelenboom, D. H. Kim, P. M. Bluysen, [First results of self-reported health and comfort of staff in outpatient areas of hospitals in the Netherlands](#), Building and Environment 177 (2020) 106871. doi:10.1016/j.buildenv.2020.106871.
- [25] Y. Liu, Z. Wang, Z. Zhang, J. Hong, B. Lin, [Investigation on the Indoor Environment Quality of health care facilities in China](#), Building and Environment 141 (2018) 273–287. doi:10.1016/j.buildenv.2018.05.054.
- [26] J. Saini, M. Dutta, G. Marques, Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review, International Journal of Environmental Research and Public Health 17 (14) (2020) 4942. doi:10.3390/ijerph17144942.
- [27] S. Cociorva, A. Iftene, [Indoor Air Quality Evaluation in Intelligent Building](#), Energy Procedia 112 (2017) 261–268. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.1095.
- [28] L. Prieto-Parra, K. Yohannessen, C. Brea, D. Vidal, C. A. Ubilla, P. Ruiz-Rudolph, [Air pollution, PM2.5 composition, source factors, and respiratory symptoms in asthmatic and nonasthmatic children in Santiago, Chile](#), Environment International 101 (2017) 190–200. doi:10.1016/j.envint.2017.01.021.
- [29] P. Ruiz-Rudolph, N. Arias, S. Pardo, M. Meyer, S. Mesías, C. Galleguillos, I. Schiattino, L. Gutiérrez, [Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study](#), Environment International 92-93 (2016) 130–138. doi:10.1016/j.envint.2016.03.036.
- [30] B. Cayir Ervural, R. Evren, D. Delen, [A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning](#), Renewable Energy 126 (2018) 387–402. doi:10.1016/j.renene.2018.03.051.
- [31] C. Carvalhais, J. Santos, M. Vieira da Silva, [Analytical and subjective interpretation of thermal comfort in hospitals: A case study in two sterilization services](#), Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 79 (7) (2016) 299–306. doi:10.1080/15287394.2016.1153445.
- [32] K. Fabbri, J. Gaspari, L. Vandì, Indoor Thermal Comfort of Pregnant Women in Hospital: A Case Study Evidence, Sustainability 11 (23) (2019) 6664. doi:10.3390/su11236664.
- [33] F. Lamnabhi-Lagarrigue, A. Annaswamy, S. Engell, A. Isaksson, P. Khargonekar, R. M. Murray, H. Nijmeijer, T. Samad, D. Tilbury, P. Van den Hof, [Systems & Control for the future of humanity, research agenda: Current and future roles, impact and grand challenges](#), Annual Reviews in Control 43 (2017) 1–64. doi:10.1016/j.arcontrol.2017.04.001.
- [34] I. Urbina Henríquez, D. Sugg Herrera, [Análisis de la eficiencia de los hospitales públicos de alta complejidad en Chile entre 2014 y 2018](#), Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda, Santiago, Chile, 2014.
- [35] X. Alvial, A. Rojas, R. Carrasco, C. Duran, C. Fernandez-Campusano, Overuse of Health Care in the Emergency Services in Chile, International Journal of Environmental Research and Public Health 18 (6) (2021) 3082. doi:10.3390/ijerph18063082.
- [36] Ministerio de Salud, [Decreto 140: Reglamento Orgánico de los Servicios de Salud, Art. 43](#) (2005). URL <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=237231>
- [37] Ministerio de Salud, [Decreto 140: Reglamento Orgánico de los Servicios de Salud, Art. 44](#) (2005). URL <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=237231>
- [38] Ministerio de Salud, [Decreto 140: Reglamento Orgánico de los Servicios de Salud](#) (2005). URL <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=237231>
- [39] Ministerio de Salud. Subsecretaría de Redes Asistenciales, [Exenta N° 646: Aprueba norma general técnica N°150 sobre criterios de clasificación según nivel de complejidad de establecimientos hospitalarios](#) (2013). URL <http://inteligenciasanitaria.saludchile.cl:81/SubdepartamentodeInteligenciaSanitaria/UnidaddeEstadistica/RegistroREM/RequerimientoSISAN/REM20/NT{-}0150.pdf>
- [40] Departamento de Estadísticas e Información de Salud, [Datos abiertos: Establecimientos de Salud: 2021: Listado de Establecimientos de Salud](#), DEIS, Ministerio de Salud, Gobierno de Chile (jan 2022).

- 470 URL <https://deis.minsal.cl/{#}datosabiertos>
- [41] S. Grimaz, E. Ruzzene, F. Zorzini, [Situational assessment of hospital facilities for modernization purposes and resilience improvement](#), International Journal of Disaster Risk Reduction 66 (2021) 102594. doi:[10.1016/j.ijdrr.2021.102594](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102594).
- [42] Agencia de Sostenibilidad Energética, [Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos - Agencia de Sostenibilidad Energética](#) (2022).
- 475 URL <https://www.agenciase.org/programa-de-eficiencia-energetica-en-edificios-publicos/>
- [43] Y. Simsek, Á. Lorca, T. Urmee, P. A. Bahri, R. Escobar, [Review and assessment of energy policy developments in Chile](#), Energy Policy 127 (2019) 87–101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.058>.
- [44] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, [Guía Metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión](#), Agencia Chilena de Eficiencia Energética, Santiago, Chile, 2014.
- 480 [45] Servicio de Salud Metropolitano Sur Oriente, [Atención Centrada en el Usuario](#), Online (2021).
URL <https://redsalud.ssmso.cl/atencion-centrada-en-el-usuario/>
- [46] Ministerio de Salud de Chile, Subsecretaría de Salud Pública, [Ley 20.584: Regula los derechos y deberes que tienen las personas en relación con acciones vinculadas a su atención en salud](#) (2012).
URL <http://bcn.cl/2p897>
- 485 [47] Ministerio de Salud; Subsecretaría de Salud Pública, [DFL 1: Fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto Ley N° 2763, de 1979 y de las leyes N° 18933 y N° 18469](#), Biblioteca del congreso nacional de Chile / BCN.
- [48] Ministerio de Salud, Orientaciones Técnicas, Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos, Subsecretaría de Redes Asistenciales Ministerio de Salud, Santiago, Chile, 2017.
- [49] Comisión Nacional de Energía, [Energía Abierta: Capacidad instalada](#) (2021).
- 490 URL <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>
- [50] M. Becerra, A. Jerez, M. Valenzuela, H. O. Garcés, R. Demarco, [Life quality disparity: Analysis of indoor comfort gaps for Chilean households](#), Energy Policy 121 (2018) 190–201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.010>.