

HACIA UN MECANISMO DE RAZONAMIENTO PARA LA INFERENCIA DE CONTEXTOS BASADA EN LA FUSIÓN DE FLUJOS DE DATOS

*TOWARDS A REASONING MECHANISM FOR THE CONTEXTS
INFERENCE BASED ON THE FUSION OF DATA FLOWS*

Jaime Elí Hernández Xilot

Universidad Veracruzana
jhernandez.xilot@gmail.com

Guillermo Molero Castillo

CONACYT / Universidad Veracruzana
ggmoleroca@conacyt.mx

Edgard Benítez Guerrero

Universidad Veracruzana
edbenitez@uv.mx

Carmen Mezura Godoy

Universidad Veracruzana
cmezura@uv.mx

Resumen

El razonamiento, en la inteligencia humana, procesa los conocimientos e información que se poseen, aplicando una serie de reglas y experiencias, para deducir y reaccionar ante situaciones en un contexto determinado. Escenario similar se busca en los sistemas conscientes del contexto, que capturan variables del entorno a través de redes de sensores, con el propósito de hacer razonamientos sobre el propio sistema y el comportamiento del usuario. Este trabajo tiene como objetivo describir la necesidad de crear mecanismos de razonamiento en los sistemas conscientes del contexto, como herramienta para la inferencia basada en la fusión de flujos de datos de fuentes físicas. Como método se definieron cuatro niveles de trabajo, esto es el acopio de datos de sensores, procesamiento, fusión del flujo de datos y razonamiento para la inferencia del contexto. Se presenta el diseño, a alto nivel, del esquema de adquisición y razonamiento basado en datos para la inferencia de la comodidad térmica de los

usuarios en determinados espacios de trabajo. Este análisis de la comodidad térmica se puede lograr a través de la adquisición de datos, razonamiento y reacción del sistema para brindar al usuario servicios que le sean de utilidad en la realización de sus actividades cotidianas.

Palabra(s) Clave: Contexto, Flujo de datos, Fusión de datos, Inferencia, Razonamiento.

Abstract

Reasoning, in the human intelligence, processes the knowledge and information that are possessed, applying a series of rules and experiences, to deduce and react to situations in a determined context. A similar scenario is sought in context-aware systems that capture environment variables through sensor networks, with the purpose of making reasoning about the system itself and the behavior of the user. This work aims to describe the need to create reasoning mechanisms in context-aware systems, as a tool for the inference based on the data stream fusion from physical sources. As method four work levels were defined, this is, data sensing, processing, data stream fusion and reasoning for context inference. The design is presented, at a high level, of the data-based acquisition and reasoning scheme for the inference of the thermal comfort of users in certain workspaces. This analysis of the thermal comfort can be achieved through the data acquisition, reasoning, and reaction of the system to give the user services that are useful in carrying out their daily activities.

Keywords: Context, Data flow, Data fusion, Inference, Reasoning.

1. Introducción

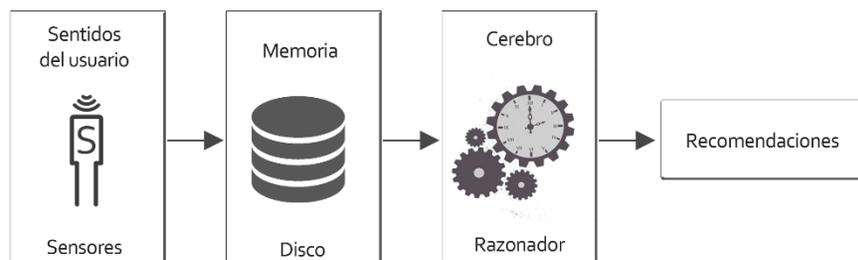
Uno de los procesos de la inteligencia humana es el razonamiento, donde se manipulan los conocimientos e información que se poseen aplicando una serie de reglas y experiencias para deducir y solucionar los problemas que se presentan, lo que permite al ser humano reaccionar de manera diferente ante situaciones similares de acuerdo con un determinado contexto en el que se encuentra. Para Dey [2001], el contexto son los atributos que sirven para describir la situación de

una entidad, ya sea persona, lugar u objeto, que se considera relevante en la interacción entre un usuario y una aplicación.

Por otro lado, el contexto es el entorno físico [DRAE, 2018], cuyos elementos que proporcionan conocimiento a la inteligencia humana es a través de los sentidos, permitiendo así conocer las características de los objetos del entorno [Subbu y Vasilakos, 2017]. Estos conocimientos son almacenados en la memoria para ser procesados por el cerebro, el cual analiza, interpreta y planifica acciones para dar órdenes a los órganos motores como los brazos y las piernas que ejecutan el plan generado [Angulo y del Moral, 1994]. De esta forma, se busca reproducir el proceso de razonamiento humano apoyado del uso de las computadoras, y que tengan la capacidad de interpretar el contexto para caracterizar la situación actual del usuario. Esta tarea es generalmente conocida como razonamiento del contexto, que se conoce como la deducción e inferencia de la información de diversas fuentes de datos contextuales en beneficio de los usuarios [Nurmi y Floréen, 2004]. Así, uno de los desafíos de la investigación contemporánea es proporcionar inteligencia y ubicuidad a las aplicaciones tomando en cuenta el contexto para caracterizar la situación actual del usuario [Khattak et al. 2014]. Por lo tanto, surge el cómputo consciente del contexto que, al ser un componente de la computación ubicua, a través de diversos mecanismos y sensores, puede hacer uso de distintas variables como la localización, presencia e información del entorno físico, que permitan identificar las necesidades inmediatas del usuario y reaccionar ante un determinado suceso para ofrecer servicios que le sean de utilidad [Robles y Kim, 2010]. A este tipo de sistemas se les conoce como Sistemas Conscientes del Contexto, -SCC- [Loke, 2005; Khattak et al., 2014].

A diferencia de los sistemas convencionales, que solucionan problemas mediante algoritmos o procesos repetitivos fijos, y que esperan siempre los mismos tipos de datos [Angulo y del Moral, 1994], los SCC cambian para adaptarse al comportamiento del usuario, aprendiendo a través de la experiencia y haciendo uso de modelos de usuario que incluyen sus objetivos, intereses y preferencias, donde el contexto del usuario tiene un rol fundamental [González, Carvajal, Cerón, y López, 2016].

La figura 1 muestra la relación de los sensores y los sentidos del usuario que en ambos casos proporcionan la información del contexto. Esta información es almacenada en memoria o disco, según sea el caso. Además, el razonamiento se logra a través del cerebro o razonador con el propósito de generar las órdenes (recomendaciones) que son enviadas a los órganos motores que ejecutan una determinada acción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Analogía de los sistemas conscientes del contexto y la inteligencia humana.

Un ejemplo para entender el contexto del usuario es el caso de un automovilista en una autopista de dos carriles. Éste maneja sobre el carril de baja velocidad, a la distancia se percibe una situación en la que un automóvil se encuentra detenido en el mismo carril por el que transita el automovilista, y el otro carril, el de alta velocidad, se encuentra libre. El cerebro procesa esta información y basado en su conocimiento debe tomar una decisión para evitar algún accidente que ponga en riesgo la integridad física del automovilista y, si es el caso, la de sus acompañantes. Las posibles acciones del automovilista pudieran ser: a) reducir la velocidad, b) hacer alto total, o c) cambiar de carril.

Las acciones implican que el usuario debe estar consciente de su entorno (consciente del contexto) para tomar la mejor decisión. De esta manera, si el automovilista debe tomar en cuenta diferentes aspectos: si decide cambiar de carril debe asegurarse que no circula algún vehículo en el otro carril; si decide bajar su velocidad o detenerse por completo debe asegurarse que no viene otro vehículo detrás de él, como un tráiler, a una velocidad que no pueda detenerse. Como podrá notarse estas acciones implican el uso de los sentidos como entrada de datos y el razonamiento, a través del cerebro, implica las posibles decisiones inherentes a un

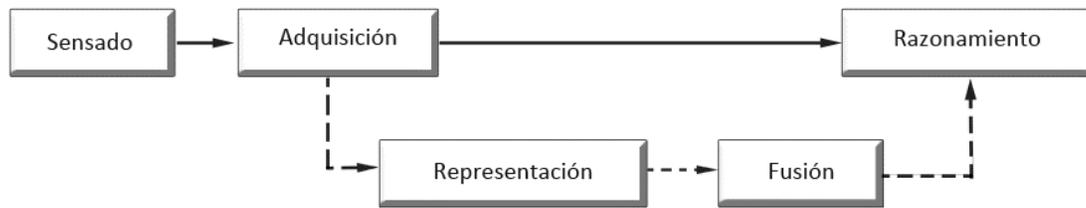
determinado suceso y los órganos motores, como las piernas y los brazos, ejecutarán la acción de frenado o giro del volante.

En consecuencia, el entendimiento del contexto proporciona a los SCC cierto grado de inteligencia, ya que son capaces de adaptarse a diversas circunstancias a las que se enfrenta un usuario. Algunas aplicaciones de estos sistemas son en domótica [Rivero-Rodríguez, Pileggi, y Nykanen, 2016], edificios inteligentes [Robles y Kim, 2010], controles de iluminación [Chao, Lijun, y Xiangpei, 2012], control de tráfico [Liu *et al.*, 2017], monitorización de la salud [Fallahzadeh, Ma y Ghasemzadeh, 2017], entre otros. Por lo tanto, un desafío actual es el desarrollo de métodos formales para el diseño e implementación de estos SCC [Galico, Natanzon, Vega, Matalonga y Solari, 2015].

En este artículo se describe la necesidad de crear mecanismos de razonamiento en los sistemas conscientes del contexto para la inferencia basada en la fusión de flujos de datos de fuentes físicas, por ejemplo, temperatura, humedad, calidad del aire, ruido, intensidad de luz, entre otras variables ambientales, las cuales pueden ser analizadas para detectar patrones y hacer inferencias sobre la comodidad térmica de los usuarios, bajo ciertos estándares como la norma ANSI/ASHRAE 55-2017 en determinados espacios de trabajo. Así como parte de la primera etapa de investigación se presenta el diseño conceptual del esquema de adquisición y razonamiento, basado en flujos datos, para el análisis del confort térmico de los usuarios.

Antecedentes

Los SCC poseen componentes que capturan ciertas características del entorno físico, uno de estos son los sensores, donde un nodo sensor es un dispositivo electrónico que realiza tres funciones: sensar (obtener datos de un sensor), procesar y comunicar, como una Raspberry Pi [Fernández, 2017]. En Khattak *et al.* [2014] muestran un esquema general de un SCC (figura 2), que basa su funcionamiento en tres procesos principales: sensado, adquisición y razonamiento, y proponen incluir otros dos: representación y fusión del contexto. Esta fusión puede hacerse mediante el razonamiento del contexto previamente adquirido.



Fuente: Adaptada de Khattak et al. [2014].

Figura 2 Esquema general de la fusión de contextos.

Una red de sensores inalámbrica puede aprovecharse para el sensado, ya que consiste en un número de sensores autónomos distribuidos espacialmente para monitorear condiciones físicas, como: humedad, temperatura, ruido, presión, movimiento, vibración, contaminación, entre otros [Alamri *et al.*, 2013]. En la actualidad, los sensores son útiles para una variedad de dispositivos, desde vigilancia hasta el control automático de vehículos, también aparatos electrodomésticos, cómputo móvil, tecnología portable, entre otras. Estos sensores permiten capturar automáticamente características del entorno y de las actividades de los usuarios. Además, tienen la propiedad de conectarse a Internet, conocido en la actualidad como Internet de las cosas (Internet of Things o IoT, por sus siglas en inglés). IoT es una tendencia tecnológica donde las personas como objetos pueden conectarse a través de Internet en cualquier momento y en cualquier lugar, mejorando la comunicación y la interacción entre objetos [Joyanes-Aguilar, 2015]. Por otro lado, IoT a través del cómputo en la nube permite que los dispositivos realicen una mayor cantidad de mediciones del entorno lo que conlleva a un flujo continuo de datos que genera grandes volúmenes de información. A esta colección de datos acerca del entorno físico o actividades de los usuarios se conoce como flujo de datos [Volda, Patterson y Patel, 2014]. El origen de estos flujos de datos proviene de fuentes heterogéneas, lo que puede repercutir en datos inconsistentes, derivados de diversos problemas, como fallos en los sensores, retrasos, ruido, redundancia, dispersión, entre otros [Muñoz, Molero-Castillo y Benítez-Guerrero, 2018]. En este sentido, con base en el esquema general para la fusión de contextos, las fases de sensado y adquisición, son obtenidas a partir de sensores que miden algunas variables del entorno. De esta manera, en este trabajo de investigación se propone el diseño de un razonador para la inferencia

de contextos. Este razonador utiliza como datos de entrada fuentes físicas, previamente fusionadas, con el propósito de analizar el confort térmico de los usuarios, con base en la norma ANSI/ASHRAE 55-2017, en determinados ambientes de trabajo, como salones de clases y salas de reuniones. Esta norma forma parte del Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés). ANSI/ASHRAE 55-2017 especifica los parámetros de condiciones personales y ambientales en espacios cerrados con el fin de lograr el confort térmico aceptable para los usuarios de una determinada área de trabajo. Esta norma fue propuesta para su uso en el diseño, operación y puesta en servicio de edificios y otros espacios con ocupación humana [ANSI/ASHRAE, 2017].

La norma ANSI/ASHRAE 55, que engloba las condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana, fue propuesta por primera vez en 1966 por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés), y una versión actual fue publicada en 2017. A través de esta norma se analiza el confort térmico, el cual, es una condición de la mente expresada en una satisfacción con el entorno [ANSI/ASHRAE, 2017].

En la actualidad, el análisis del confort térmico representa un desafío de investigación debido a la falta de satisfacción de los usuarios en sus áreas de trabajo, por ejemplo, en México, en zonas de clima cálido existe un alto consumo de energía eléctrica para satisfacer la comodidad térmica de la población, esto representa altos costos de operación en el sector público y privado. Por lo que, se buscan nuevas y modernas formas de lograr el confort térmico de los habitantes [SENER, 2018].

La norma ANSI/ASHRAE 55-2017 define seis parámetros que influyen el confort térmico de las personas, ya sea en espacios climatizados mecánicamente y los acondicionados naturalmente: a) metabolismo, b) ropa, c) temperatura, d) temperatura promedio, e) velocidad del viento, y f) humedad. Por lo tanto, una buena calidad ambiental en interiores mejora la salud, satisfacción, aprendizaje, y productividad de los trabajadores; además, reduce el ausentismo [WBDG, 2018].

Como apoyo para calcular el confort térmico, según la norma ASHRAE 55-2017, existen herramientas, como la plataforma Web desarrollada por la Universidad de

California [Hoyt et al., 2017], que permiten hacer la evaluación de la comodidad térmica de acuerdo con determinadas variables, como: temperatura y humedad. Para esto, se emplean rangos definidos por la norma, esto es, de 22 a 32°C de temperatura para verano y de 16 a 25°C para invierno. Además, se tiene una zona de confort intermedia, que es el resultado de la interpolación de la temperatura y humedad durante verano e invierno (temperatura de 22 a 27°C) [Jin, Zhang y Zhang, 2017].

Problema de investigación

La creciente necesidad de proporcionar inteligencia a los sistemas ha convertido al contexto y a la consciencia del contexto en un importante campo de investigación en los últimos años. A pesar de los esfuerzos, donde el desarrollo de los SCC ha adquirido importancia, aún es un desafío de investigación proporcionar a estos sistemas cierto grado de inteligencia [Bogaert y Gengler, 2017]. Además, se necesitan guías y herramientas que ayuden a comprender cómo explotar la información contextual para perfeccionar dichos sistemas [Villegas, Sánchez, Díaz-Cely y Tamura, 2018].

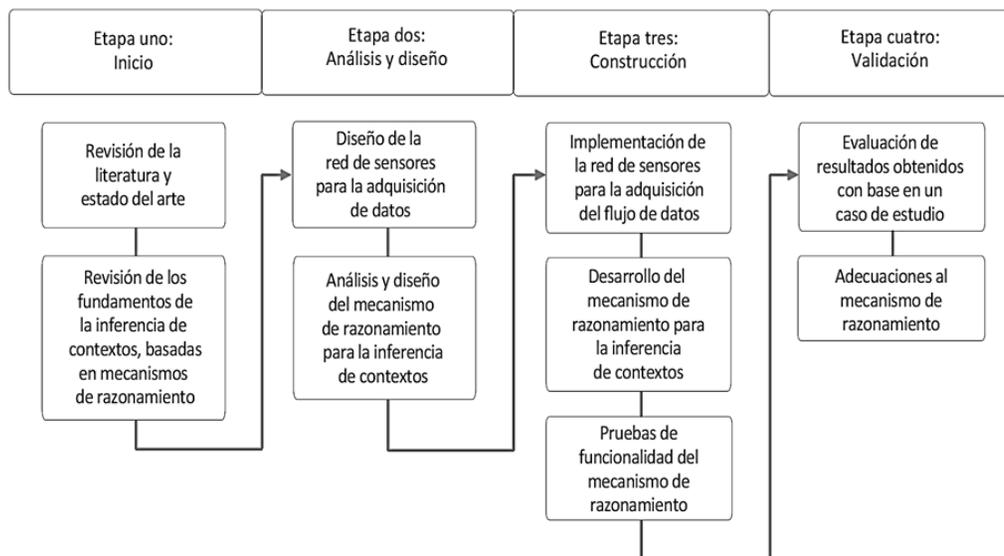
Sin embargo, dada la posibilidad de capturar distintas variables mediante redes de sensores, como: ubicación, dispositivos, personas cercanas, tiempo, sonido, movimiento, temperatura, orientación, entre otras, es difícil modelar el contexto, ya sea del usuario o dispositivo [Galico *et al.*, 2015], debido a errores e incertidumbre en las mediciones, lo que genera inconsistencia de datos [Muñoz *et al.*, 2018]. Por lo tanto, un desafío actual en el proceso de razonamiento de los SCC es la adquisición y fusión de datos, el cual es útil no solo para su ejecución, sino también para el beneficio de los usuarios [Nurmi y Floréen, 2004].

Una vez que se tienen los datos del entorno, otro desafío es cómo hacer la inferencia del contexto del flujo de datos, a través de un mecanismo de razonamiento, de manera que puedan detectarse cambios en el ambiente y reaccionar a éstos. En este sentido, en esta investigación se describe el diseño conceptual a alto nivel de un mecanismo de razonamiento para la inferencia de contextos con base en la fusión de flujos de datos de fuentes físicas capturadas

sobre un determinado evento. Se considera como fuentes físicas a acelerómetros para medir desplazamiento y posición, fotodiodos para medir proximidad e intensidad de luz, termo resistencias para medir temperatura, entre otros. Esta propuesta representa un campo de acción, como base para el razonamiento en sistemas conscientes del contexto, por ejemplo, para el análisis de la comodidad térmica del usuario, con el fin de aprovechar el uso racional de la energía eléctrica y proporcionar un ambiente de trabajo cómodo para los usuarios.

2. Métodos

Para lograr el diseño y desarrollo de un mecanismo de razonamiento en los sistemas conscientes del contexto, se definió como método cuatro etapas de investigación representadas en la figura 3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Método de trabajo.

En la primera etapa, se pretende hacer una revisión exhaustiva de la literatura con la finalidad de fundamentar la necesidad de diseñar mecanismos adecuados para el razonamiento en los sistemas conscientes del contexto. Esta fundamentación se hará con base en los alcances y limitaciones que se identifiquen en trabajos relacionados publicados en revistas de alto impacto científico, capítulos de libros,

memorias de congresos y otras fuentes, cuyos resultados aporten conocimiento en el desarrollo de esta investigación.

Con base en esta revisión sistemática de la literatura, como segunda etapa, se pretende hacer un análisis y diseño detallado del mecanismo de razonamiento en los sistemas conscientes del contexto, mediante el cual, se pretende hacer inferencias sobre situaciones inherentes a los usuarios, como el análisis de la comodidad térmica en un determinado espacio de trabajo. Para esto, se tiene contemplado diseñar una red de sensores de fuentes físicas, con el objetivo de obtener mediciones de variables ambientales, como: temperatura, humedad, calidad del aire, ruido, intensidad de luz, entre otras. Así, para la implementación de la red de sensores se utilizará una placa NodeMCU, que consiste en un procesador ESP8266 que integra tecnología WiFi, y sensores: a) DHT11, para medir la humedad y temperatura; b) MQ-135, para medir la calidad del aire; c) KY-038, para medir el nivel de ruido; y d) LDR, para medir la intensidad de luz. Una representación de posibles datos a obtener se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Representación de los datos obtenidos a través de la red de sensores.

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CalidadAire (partespormillon)	Luz (lux)	Ruido (milivolts)
1	20.0	86.0	65.0	330.0	360.0
2	21.0	83.0	65.0	330.0	360.0
3	21.0	83.0	65.0	493.0	442.0
4	21.0	83.0	64.0	493.0	458.0
...
659	17.0	90.0	58.0	115.0	282.0
660	17.0	90.0	58.0	115.0	282.0

Fuente: Elaboración propia.

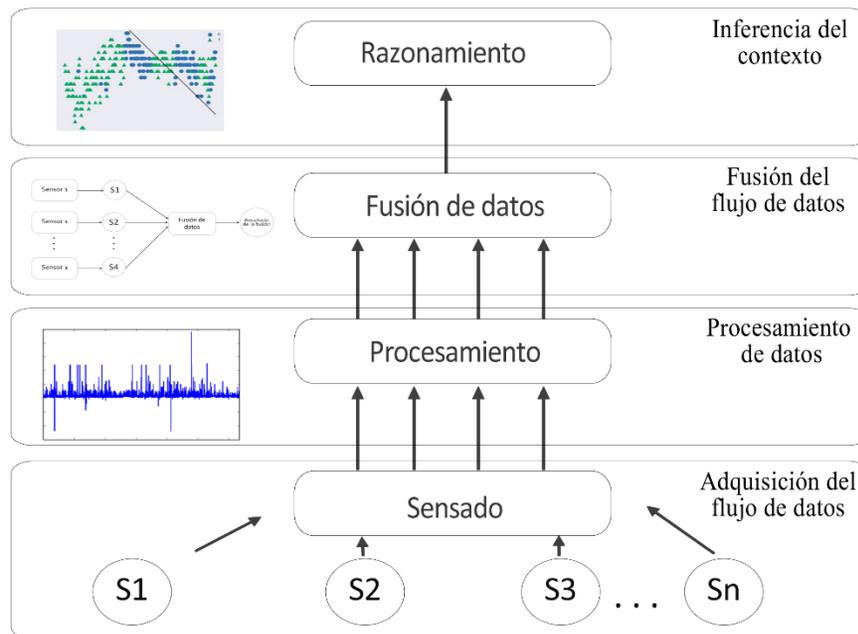
Posterior al diseño, como etapa tres, se considera la implementación de la red de sensores para la adquisición, procesamiento y análisis del flujo de datos y se desarrollará el mecanismo de razonamiento, teniendo como fundamento algoritmos previamente definidos, los cuales serán utilizados en experimentaciones prácticas, como el análisis de la comodidad térmica de los usuarios. De acuerdo con Perera, Zaslavsky, Christen y Georgakopoulos [2014], estos algoritmos de razonamiento contextual se clasifican en seis categorías:

- Aprendizaje supervisado, que utiliza datos históricos como entrenamiento para construir modelos que se aplican a datos desconocidos. Entre las técnicas utilizadas destacan: regresión, redes neuronales artificiales, redes bayesianas, razonamiento basado en casos, árboles de decisión y máquinas de soporte vectorial.
- Aprendizaje no supervisado, que a diferencia del aprendizaje supervisado, no cuenta con conocimiento previo y puede encontrar características en datos sin etiquetar. Las técnicas utilizadas son: k-vecinos, agrupamiento y redes neuronales no supervisadas.
- Reglas, que es un método de razonamiento de fácil entendimiento, por su estructura Si-Entonces. Estas reglas se combinan también con ontologías.
- Ontologías, que se basa en una descripción lógica de las relaciones de un determinado dominio. Para su representación utilizan lenguajes semánticos, como: RDF (*Resource Description Framework*) y OWL (*Web Ontology Language*).
- Lógica difusa, que representa escenarios reales utilizando lenguaje natural para obtener una conclusión. Generalmente se utiliza para complementar otra técnica.
- Lógica probabilística, permite que las decisiones se tomen basándose en probabilidades relacionadas a un problema. Puede ser usada para fusionar datos de diversas fuentes, entender la ocurrencia de eventos e identificar soluciones entre contextos.

Por otro lado, existen trabajos que combinan métodos de razonamiento para buscar resultados más precisos, como Li *et al.* [2017], quienes incluyen ontologías, reglas y red bayesiana multientidad, para razonar sobre contextos y sus incertidumbres en el campo de los robots submarinos. Finalmente, derivado de los resultados obtenidos, en la etapa cuatro se tiene considerado hacer validaciones y adecuaciones con el propósito de incluir mejoras en los mecanismos de razonamiento.

3. Resultados

Con base en el método de trabajo definido, se hizo un diseño conceptual de la propuesta de solución. Esta propuesta describe de manera abstracta las capas desde la adquisición del flujo de datos hasta el razonamiento contextual, posterior a la fusión de datos. La figura 4 muestra los niveles del esquema del diseño conceptual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Esquema de la propuesta de solución.

En el nivel inicial, sensado, se proyecta hacer la adquisición del flujo de datos mediante una red de sensores inalámbrica. Para esta adquisición se hará el diseño e implementación de una red, conformada por acelerómetros para medir desplazamiento y posición, fotodiodos para medir proximidad e intensidad de luz, termo resistencias para medir temperatura y humedad, por mencionar algunos sensores. A través de estos sensores se hará la captura de datos en determinados espacios de trabajo con el fin de obtener inferencias del contexto, por ejemplo, la comodidad térmica del usuario.

El nivel de procesamiento de datos implica la ejecución de tareas, generales y específicas, para evitar que en el flujo de datos existan inconsistencias, ruido,

valores atípicos, errores de medición, errores de formato, temporalidad heterogénea, entre otros aspectos que se pudieran presentar. A través de este procesamiento se busca tener datos preparados para el proceso de fusión. Se busca también hacer exploraciones en los datos, mediante análisis estadísticos y visualizaciones, que permitan el descubrimiento de propiedades inherentes en los datos y la identificación de algunas hipótesis iniciales sobre las variables observadas.

Posterior al procesamiento de datos, se busca fusionar el flujo de datos de los sensores mediante estimaciones probabilísticas, como estimación bayesiana y Filtro de Kalman. El propósito es tener una fuente de datos global, unificada, coherente y precisa sobre las variables observadas. Esta fuente de datos puede servir como base para el análisis e identificación de patrones de comportamiento del usuario y del ambiente para definir acciones como apoyo para la inferencia de contextos. En el nivel de razonamiento, se busca implementar uno o más mecanismos de inferencia del contexto, que es percibida de manera aislada o conjunta, como base para el razonamiento en sistemas conscientes del contexto, por ejemplo, para el análisis de la comodidad térmica del usuario bajo ciertos estándares como la norma ANSI/ASHRAE 55-2017, con el fin de aprovechar el uso racional de la energía eléctrica, sugerir adecuaciones en los espacios de trabajo y proporcionar a los usuarios un ambiente cómodo para las labores diarias, en este caso en espacios cerrados. En ese sentido, la importancia de un mecanismo de razonamiento en los sistemas conscientes del contexto, apoyado del proceso de fusión de datos, es útil para obtener inferencias con base en la identificación de patrones ocultos en los datos, los cuales pueden utilizarse para predecir el comportamiento futuro sobre un determinado suceso y, en consecuencia, estos sistemas puedan reaccionar adaptando sus operaciones y servicios en beneficio de los usuarios para la realización de sus actividades cotidianas.

4. Discusión

Dado que el desarrollo de los sistemas conscientes del contexto va en aumento, existen en la actualidad desafíos de investigación que demandan esfuerzos para

el sensado de datos, procesamiento de estos, fusión, razonamiento y representación del contexto. Mediante estas tareas, se pueden lograr inferencias del contexto que beneficien a los usuarios. Por lo tanto, mediante esta propuesta se busca, previo a un estricto diseño, implementar un mecanismo de razonamiento para la inferencia de contextos impulsado por la fusión de flujos de datos de fuentes físicas. El propósito es detectar patrones y hacer recomendaciones sobre un determinado contexto del usuario. Esta característica de analizar el contexto del usuario se puede lograr a través de la adquisición de datos, razonamiento y reacción del sistema. Como insumo del mecanismo de razonamiento para hacer inferencias sobre la comodidad térmica de los usuarios en determinados espacios de trabajo, se busca: a) capturar variables del entorno físico a través de una red de sensores y b) fusionar los flujos de datos para obtener fuentes unificadas, coherentes y precisas. Así, como proyección de este trabajo de investigación, en este artículo se presentó un esquema conceptual de la propuesta de solución, dividido en cuatro niveles: a) sensado de datos a través de una red de sensores, b) procesamiento de los datos previamente adquiridos, c) fusión del flujo de datos, y d) razonamiento para la inferencia del contexto.

Como trabajo futuro se tiene contemplado hacer mejoras a la propuesta presentada, así como hacer el diseño e implementación de la red de sensores. Por otro lado, se hará también el desarrollo y pruebas de funcionalidad del mecanismo de razonamiento para la inferencia de contextos. Como parte de la evaluación de la adquisición de datos y el mecanismo de razonamiento se ejecutará un caso de estudio sobre el análisis del confort térmico de los usuarios en determinados espacios de trabajo.

Agradecimientos. Este trabajo forma parte del proyecto "Infraestructura para agilizar el desarrollo de sistemas centrados en el usuario" financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en el marco del programa de Cátedras CONACYT (Ref. 3053). Además, se agradece a CONACYT por la beca de doctorado número 705712, así como a la Universidad Veracruzana por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Alamri, A., Ansari, W., Hassan, M., Hossain, M., Alelaiwi, A. y Hossain, M. (2013). A Survey on Sensor-Cloud: Architecture, Applications, and Approaches. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(2). doi: 10.1155/2013/917923.
- [2] Angulo, J. y del Moral, A. (1994). *Inteligencia artificial*. Madrid, España: Paraninfo.
- [3] ANSI/ASHRAE. (2017). Thermal environment conditions for human occupancy. ASHRAE Standard 55-2017. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- [4] ASHRAE. (2018). American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers: <https://www.ashrae.org/about>.
- [5] Bogaert, P. y Gengler, S. (2018). Bayesian maximum entropy and data fusion for processing qualitative data: theory and application for crowdsourced cropland occurrences in Ethiopia. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(3), 815-831. doi:10.1007/s00477-017-1426-8.
- [6] Chao, L., Lijun, S. y Xiangpei, H. (2012). A context-aware lighting control system for smart meeting rooms. *Systems Engineering Procedia*, 4, 314-323. doi: 10.1016/j.sepro.2011.11.081.
- [7] Dey, A. K. (2001). Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(1), 4-7. doi:10.1007/s007790170019.
- [8] DRAE (2018). *Diccionario de la Real Academia Española (23va ed.)*: <http://www.rae.es>.
- [9] Fallahzadeh, R., Ma, Y. y Ghasemzadeh, H. (2017). Context-Aware System Design for Remote Health Monitoring: An Application to Continuous Edema Assessment. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(8), 2159-2173. doi:10.1109/TMC.2016.2616403.
- [10] González, K., Carvajal, M., Cerón, G. y López, D. (2016). Modelado de un sistema consciente del contexto para soportar intervenciones en actividad física y nutrición saludable. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 173-196. doi:10.22395/rium.v15n28a9.

- [11] Fernández, D. (2017). Del sensor a la nube protocolo de virtualización (Tesis de maestría). [Documento inédito]. México: Laboratorio Nacional de Informática Avanzada.
- [12] Galico, D., Natanzon, K., Vega, C., Matalonga, S. y Solari, M. (2015). Software Sensible al Contexto: definiciones y desarrollo de un estudio de caso en Google Glass. Universidad ORT Uruguay.
- [13] Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Cheung, T. Moon, D. y Steinfeld, K. (2017). CBE Thermal Comfort Tool. Center for the Built Environment, University of California Berkeley. <http://comfort.cbe.berkeley.edu>.
- [14] Jin, L., Zhang, Y. y Zhang, Z. (2017). Human responses to high humidity in elevated temperatures for people in hot-humid climates. *Building and Environment*, 114. 257-266. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.12.028.
- [15] Joyanes-Aguilar, L. (2015). Sistemas de información en la empresa. El impacto de la nube, la movilidad y los medios sociales (Alfaomega). México.
- [16] Khattak, A., Akbar, N., Aazam, M., Ali, T., Khan, A., Jeon, S., Lee, S. (2014). Context representation and fusion: Advancements and opportunities. *Sensors*, 14(6), 9628-9668. doi:10.3390/s140609628.
- [17] Li, X., Martínez, J. y Rubio, G. (2017). Towards a Hybrid Approach to Context Reasoning for Underwater Robots. *Applied Sciences*, 7(2). doi:10.3390/app7020183.
- [18] Liu, J., Wan, J., Jia, D., Zeng, B., Li, D., Ching-Hsein, H. y Haibo, C. (2017). High-efficiency urban traffic management in context-aware computing and 5G communication. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 33-40. doi:10.1109/MCOM.2017.1600371CM.
- [19] Loke, S. (2005). Representing and reasoning with situations for context-aware pervasive computing: a logic programming perspective. *The Knowledge Engineering Review*, 19(3), 213-233.
- [20] Muñoz, J., Molero-Castillo, G., Benítez-Guerrero, E. y Bárcenas, E. (2018). Data fusion as source for the generation of useful knowledge in context-aware systems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34(5), 3165-3176. doi: 10.3233/JIFS-169500.

- [21] Nurmi, P. y Floréen, P. (2004). Reasoning in Context-Aware Systems. Universidad de Helsinki: www.cs.helsinki.fi/u/ptnurmi/papers/positionpaper.pdf.
- [22] Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P. y Georgakopoulos, D. (2014). Context Aware Computing for the Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Survey & Tutorials*, 6(1), 414-454. doi: 10.1109/SURV.2013.042313.00197.
- [23] Rivero-Rodríguez, A., Pileggi, P. y Nykänen, O. (2016). Mobile Context-Aware Systems: Technologies, Resources and Applications. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 10(2), 25-32. doi:10.3991/ijim.v10i2.5367.
- [24] Robles, R. y Kim, T. (2010). Review: Context Aware Tools for Smart Home Development. *International Journal of Smart Home*, 4(1). 1-11.
- [25] Schiavon, S., Hoyt, T. y Piccioli, A. (2014). Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. *Building Simulation*, 7(4). doi:10.1007/s12273-013-0162-3
- [26] SENER (2018) Cómo enfrentar el reto de la creciente demanda de confort térmico en México. Secretaría de Energía. URL: goo.gl/9UJBa7
- [27] Subbu, K. y Vasilakos, A. (2017). Big Data for Context Aware Computing? Perspectives and Challenges. *Big Data Research*, 10. 33-43. doi:10.1016/j.bdr.2017.10.002
- [28] Villegas, N., Sánchez, C., Díaz-Cely, J. y Tamura, G. (2018). Characterizing Context-Aware Recommender Systems: A Systematic Literature Review. *Knowledge-Based System*, 140, 173-200. doi:10.1016/j.knosys.2017.11.003
- [29] Voida, S., Patterson, D. J. y Patel, S. N. (2014). Sensor Data Streams. En J. S. Olson y W. A. Kellogg (Eds.), *Ways of Knowing in HCI* (pp. 291-322). Nueva York: Springer. doi:10.1007/978-1-4939-0378-8
- [30] WBDG. (2018). Enhance Indoor Environmental Quality (IEQ). Whole Building Design Guide, National Institute of Buildings Sciences. URL: goo.gl/wD2na3.