

# Abordando los distintos niveles de colaboración entre dispositivos en entornos IoT

Daniel Flores-Martin<sup>1</sup>, Javier Berrocal<sup>1</sup>, Carlos Canal<sup>2</sup> y Juan M. Murillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Extremadura  
{dfloresm,jberolm,juanmamu}@unex.es

<sup>2</sup> Universidad de Málaga  
canal@lcc.uma.es

**Resumen** Hoy en día, hay millones de dispositivos conectados a Internet. Esto es lo que conocemos como Internet de las Cosas. La integración de estos dispositivos inteligentes con los protocolos de la Web de las Cosas los hace más accesibles. El objetivo final de estos dispositivos es hacer la vida más fácil a las personas. Este beneficio es aún más importante mediante la explotación de las posibilidades de colaboración que ofrece la Web de las Cosas. Sin embargo, muchos fabricantes desarrollan sus propios dispositivos y protocolos para proteger su cuota de mercado, limitando la colaboración entre dispositivos de diferentes fabricantes, lo que provoca que haya tareas que no puedan automatizarse. Este artículo presenta una solución basada en técnicas de Web Semántica para lograr la colaboración entre dispositivos independientemente de los lenguajes y protocolos desarrollados por sus fabricantes. Con esta propuesta, dispositivos de diferentes fabricantes pueden comunicarse para crear un entorno colaborativo de forma sencilla, eficiente y asequible.

**Keywords:** Internet de las Cosas, Web Semántica, Colaboración de dispositivos

## 1. Introducción

El Internet de las Cosas (IoT) y la Web de las Cosas (WoT) tienen como objetivo principal simplificar la vida de las personas. Mientras que la IoT nos permite monitorizar y controlar de forma remota los dispositivos inteligentes, la WoT va más allá y adapta los protocolos Web para integrar las cosas con la Web de forma aún más cercana y para hacer que esos dispositivos sean más accesibles para las aplicaciones y los seres humanos [8].

Pero el verdadero potencial de la WoT llega de la colaboración entre dispositivos inteligentes para realizar tareas complejas. Por lo tanto, la próxima evolución de la WoT es asegurar que los dispositivos inteligentes puedan colaborar [24,1].

Desafortunadamente, la posibilidad de colaboración entre los dispositivos inteligentes está aún lejos de ser una realidad. De hecho, los fabricantes desarrollan sus propios protocolos de colaboración para proteger su cuota de mercado, lo que significa que pueden trabajar juntos entre ellos pero no pueden integrarse

fácilmente con dispositivos de otros fabricantes. Esta práctica no sólo limita la capacidad de colaboración de los dispositivos de diferentes fabricantes, sino que inevitablemente conduce al conocido problema del *vendor lock-in* o dependencia de proveedores [14]. Este fenómeno implica que si uno quiere obtener el máximo beneficio de la WoT, debe adquirir dispositivos del mismo fabricante para garantizar la máxima compatibilidad. Por consiguiente, la experiencia del usuario se limita a los intereses de los fabricantes y a su capacidad para explotarla.

Este artículo comienza con un análisis de los problemas que se han detectado y que deben ser resueltos para lograr la colaboración de los dispositivos. A partir de este análisis, proponemos una herramienta para conseguir dicha colaboración mediante el uso de técnicas de Web Semántica. El principal objetivo de la Web Semántica es mejorar y ampliar la colaboración entre los sistemas informáticos que utilizan agentes inteligentes y aplicaciones que buscan información [3]. La Web Semántica es un recurso ampliamente utilizado para lograr la colaboración semántica entre servicios y dispositivos. En este documento logramos esta colaboración dotando a los dispositivos inteligentes de *habilidades* (skills), que representan las funcionalidades para influir o cambiar el entorno, como las que puede tener un aire acondicionado para variar la temperatura de una habitación; y *necesidades* (goals), que son los estados deseados del entorno, como el de establecer una determinada temperatura para alcanzar el máximo nivel de confort. Estas habilidades y necesidades se definen en términos de Web Semántica y se relacionan mediante razonadores semánticos y lenguajes de consulta. De esta forma, en un entorno los dispositivos cercanos se relacionan en lo que llamamos una *situación*. Gracias a esta relación, pueden surgir diferentes estrategias para resolver las necesidades detectadas con las habilidades disponibles, creando un entorno de colaboración entre dispositivos.

Por lo tanto, se fomenta la posibilidad de colaboración entre dispositivos, manteniendo al mismo tiempo la independencia del fabricante, sin forzar a ningún dispositivo o fabricante a utilizar ninguna tecnología específica, de forma sencilla, a bajo coste y eficaz. La viabilidad de esta propuesta queda demostrada por una prueba de concepto que se detalla en las siguientes secciones. Este trabajo forma parte de una propuesta más ambiciosa denominada *Situational-Context* y cuyo objetivo final es automatizar la conexión e interacción entre las personas y los dispositivos WoT [4].

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 describe los niveles de colaboración en la IoT. En la Sección 3 se detalla nuestra propuesta. En la Sección 4 se muestra la relación entre dispositivos. Después, en la Sección 5 se detalla el prototipo basado en la propuesta. A continuación, en la Sección 6 se realiza una discusión sobre la propuesta. Finalmente, en la Sección 7 se detallan las conclusiones de este trabajo.

## 2. Colaboración en entornos IoT

La variedad de fabricantes y dominios en la WoT los hace interesantes y complejos. Mientras que la diversidad de dispositivos es un signo de innovación

activa, la fragmentación es un enemigo que dificulta la colaboración de los dispositivos. Desde el siguiente punto de vista, para lograr una colaboración plena entre dispositivos son varios los aspectos que deben solucionarse:

1. **Colaboración tecnológica:** La diversidad de fabricantes dificulta la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes, ya que cada uno desarrolla sus propios mecanismos de comunicación, protocolos y tecnologías. Si se quiere obtener un entorno de colaboración entre dispositivos, estamos obligados a utilizar un proveedor en particular. Esto se refiere al desajuste que existe cuando se desean conectar dispositivos que se comunican utilizando diferentes protocolos de comunicación. Por ejemplo, imagine un auricular Bluetooth que queremos conectar con un televisor que sólo tenga un conector para auriculares (normalmente es necesario comprar un adaptador).
2. **Colaboración a nivel de dominios IoT:** La comunicación entre dispositivos en diferentes dominios de IoT debe estar habilitada. Los dominios IoT nos proporcionan una multitud de dispositivos útiles específicamente diseñados para diferentes campos como la industria, el hogar inteligente o el transporte. Por lo tanto, es necesario que dispositivos de diferentes dominios puedan comunicarse para resolver problemas comunes. Si esto no se logra, los problemas o necesidades específicas que requieren la colaboración de dispositivos de diferentes dominios podrían quedar sin resolver. Por ejemplo, en un escenario de una fiesta, imagine que una persona está interesada en bajar la temperatura de la habitación una vez que el reproductor de música comienza a sonar (haciendo bajar la temperatura que normalmente estaría en la habitación).
3. **Colaboración semántica:** Incluso entre dispositivos del mismo dominio IoT o que utilizan la misma tecnología, debemos reducir la distancia semántica. Varios dispositivos pueden tener características similares o proporcionar servicios similares, pero todavía debemos obtener toda su información para conocer sus funcionalidades específicas. Esto se refiere al típico desajuste semántico que puede ocurrir entre los componentes de software. Por ejemplo, incluso cuando se sabe que un dispositivo puede reproducir música, es necesario saber cómo reproduce una canción, o seleccionar música para una persona dependiendo del estilo que esa persona quiera escuchar, o puede estar esperando a que se reproduzca una lista de reproducción. Por lo tanto, es necesario conocer la semántica del servicio a prestar.
4. **Colaboración situacional:** Diferentes situaciones pueden requerir diferentes usos del mismo servicio. Los dispositivos que utilizan la misma tecnología, pertenecen al mismo dominio de la IoT o incluso tienen una relación semántica adecuada, pueden tener comportamientos diferentes en función de la situación. Por lo tanto, la detección de la situación y de todas sus características es clave para detallar cómo deben actuar los diferentes dispositivos sobre ella y acordar la colaboración. Por ejemplo, un dispositivo puede reproducir música, pero se necesita que este servicio sea capaz de adaptarse a la situación. Si está tocando música para gente en una fiesta, lo ideal es que

esta gente escuche música de fiesta, pero si está tocando para gente a altas horas de la noche, escuchar jazz tranquilo sería más apropiado.

Actualmente, estos niveles de colaboración sólo pueden lograrse utilizando dispositivos del mismo fabricante o incluso un mismo fabricante puede ser incapaz de conseguirlos, lo que refleja la práctica de la dependencia de proveedores mencionada. Son varios los trabajos que encontramos relacionados con los aspectos anteriormente descritos.

Los problemas derivados de la *colaboración tecnológica* entre los dispositivos inteligentes plantean grandes desafíos. Bandyopadhyay y Sen [2] llevaron a cabo un análisis en profundidad de los puntos tecnológicos clave, las aplicaciones potenciales, los retos y las áreas de investigación de los dispositivos IoT, revisando el estado actual de las tecnologías existentes. Este trabajo muestra que, sin un enfoque tecnológico estandarizado, la proliferación de arquitecturas, esquemas de identificación y protocolos es probable que ocurra en paralelo, cada uno de ellos con un objetivo específico y para un uso particular, pero con una falta de colaboración entre dispositivos. Además, Vermesan et al. [21] establecieron una hoja de ruta para la IoT, en la que se establece claramente que uno de los retos más importantes es mejorar la colaboración entre los dispositivos inteligentes. El trabajo realizado por Rose et al. [15] también muestra que la colaboración tecnológica es uno de los requisitos fundamentales para lograr una Internet plenamente conectada, y también fomentará la innovación proporcionando eficiencia a los fabricantes de dispositivos IoT.

Abordando la *colaboración a nivel de dominios IoT*, encontramos [16], donde se desarrolla un marco para integrar aplicaciones de diferentes dominios IoT, ó [12], en la que se presentan interfaces y procedimientos de interconexión basados en oneM2M [18]. En [23], Wu et al. hacen hincapié en que las relaciones complejas entre dispositivos ocurren cuando la composición dinámica y la colaboración son necesarias y dependen enteramente de una construcción manual. Para ello, proponen un framework de la Web Semántica de las Cosas (Semantic Web of Things - SWoT) para sistemas ciber-físicos (Cyber-Physical Systems - CPS) (SWoT4CPS) que proporciona una solución híbrida con métodos de ingeniería ontológica a través de la extensión de las Redes de Sensores Semánticos (SSN) y métodos de aprendizaje automático. Además, Gyrard et al. [9] también abordan cuestiones relacionadas con los dominios de la IoT, e incluso han desarrollado su propio framework para facilitar la interacción entre los dispositivos de la IoT a partir de un generador de plantillas para diferentes dominios de la IoT.

La Web Semántica y el uso de ontologías son cada vez más importantes para resolver los problemas de *colaboración semántica* entre dispositivos inteligentes [19]. Esto no es una tarea fácil, ya que hay que tener en cuenta la diversidad tecnológica de los dispositivos. Al tratar este tema, en [13], Maarala et al. estudian cómo utilizar los datos obtenidos de la IoT para razonar los conocimientos procesables mediante la aplicación de las tecnologías semánticas más avanzadas. Para ello, han desarrollado un sistema de razonamiento semántico que funciona en un entorno IoT realista, donde se evalúa la escalabilidad de diferentes enfoques de razonamiento, incluyendo un solo razonador, razonadores distribuidos, razona-

dores móviles y un híbrido de ellos. Gyrard et al. [9], mencionados anteriormente, también trabajan sobre la cuestión de la relación semántica de los dispositivos IoT, por medio del desarrollo de un framework para crear aplicaciones IoT, ayudar a los usuarios a interpretar las mediciones de sensores y combinar dominios entre sí. Asimismo, Kiljander et al. [11] desarrollan una arquitectura basada en dos aspectos principales: la información y las capacidades de los dispositivos que pueden representarse con el conocimiento de la Web Semántica. Esta arquitectura proporciona información y orientación vitales para los fabricantes de dispositivos y los desarrolladores de sistemas de IoT.

Además, en los últimos años se han desarrollado técnicas semánticas para desarrollar la *colaboración situacional* en escenarios de IoT. Partiendo de la idea de que los requisitos de un modelo de datos bien definido implican seis aspectos (soporte semántico, extracción y explicación de datos activos, flexibilidad y extensibilidad, gestión de datos masivos y heterogéneos, soporte de la organización formal y teoría matemática sólida), Sun et al. [17] proponen un modelo de dos capas: la capa de objeto y la capa de evento, en la que un razonamiento semántico puede ser soportado por la base de conocimiento, que implica un conjunto de reglas de razonamiento sobre las relaciones semánticas entre objetos o eventos. Bonte et al. presentan en [5] una plataforma denominada MASSIF. Esta plataforma está basada en datos para la anotación semántica y el razonamiento de los datos de la IoT. MASSIF permite la integración de múltiples servicios de razonamiento modular que pueden colaborar de forma flexible para facilitar procesos complejos de toma de decisiones.

Estos trabajos son una pequeña muestra del potencial de la Web Semántica en entornos de IoT. Somos conscientes de que hay muchas propuestas que abordan el problema de la colaboración entre dispositivos inteligentes, pero, aunque estos trabajos resuelven algunos aspectos relacionados con la colaboración entre dispositivos, lamentablemente no cubren todos los problemas detectados. La plena colaboración entre los diferentes dispositivos de la IoT implica abordar y resolver de manera unificada estos aspectos. En consecuencia, esta motivación nos lleva a presentar este trabajo. Nuestra propuesta aborda el problema mencionado anteriormente de eliminar la barrera que existe en la colaboración de dispositivos inteligentes, de diferentes dominios o fabricantes de IoT, para enriquecer la información de los dispositivos y comprender las diferentes situaciones en las que un dispositivo puede estar involucrado. Esto se lleva a cabo mediante el desarrollo de un prototipo que utiliza técnicas de Web Semántica para relacionar dispositivos y crear un entorno de colaboración completo.

### **3. Framework para habilitar la colaboración de dispositivos IoT**

La propuesta que se presenta en este artículo tiene como objetivo cubrir los diferentes niveles de colaboración detectados. Para ello, se ha diseñado una arquitectura capaz de gestionar cada nivel de forma independiente, pero cuyo potencial reside en la unión de todos ellos, logrando un mayor nivel de colabo-

ración en torno a las tecnologías utilizadas, los dominios de IoT, las situaciones semánticas y, por tanto, combatiendo las prácticas de dependencia de proveedores llevadas a cabo en entornos inteligentes colaborativos.

A continuación se detallan varias secciones donde se aclaran los conceptos de habilidades y necesidades y se muestra el funcionamiento de la arquitectura propuesta.

### 3.1. Habilidades y necesidades

Dentro de un entorno de colaboración, las habilidades de una entidad (dispositivo inteligente o persona representada por su smartphone) pueden cubrir las necesidades de otra. Imagine una situación en la que hay varias entidades: dispositivos inteligentes como un aire acondicionado y luces inteligentes; y varias personas. Cada entidad tendrá ciertas habilidades y necesidades asociadas con ella. La relación entre habilidades y necesidades viene dada por la Web Semántica a través de ontologías, razonadores y lenguajes de consultas. Supongamos que una persona desea establecer una temperatura específica, mientras que otra necesita ajustar el nivel de iluminación. Los dispositivos cercanos detectarán estas necesidades y utilizarán sus habilidades para resolverlas. Del mismo modo, dos personas pueden querer establecer un nivel de iluminación diferente. En este caso, el dispositivo con la habilidad de modificar la iluminación de la habitación tendrá que establecer un valor que satisfaga a ambos. Este caso también debe tener en cuenta si ambas personas son igualmente importantes dentro de la situación, si una es invitada, si la otra usa comúnmente esa habilidad, o simplemente establecer un valor intermedio para la situación. Actualmente estamos trabajando en la toma de decisiones en base a la jerarquía de usuarios. El propósito de establecer unos valores u otros condicionará el nivel de confort de estas personas.

### 3.2. Arquitectura de alto nivel

A continuación se muestra la arquitectura en la que se basa el framework para habilitar la colaboración de dispositivos IoT (Fig. 1), así como el flujo de información a través de los diferentes módulos.

Con el objetivo de gestionar los dispositivos del entorno se añade un controlador (*Controller*). Este controlador se encarga de detectar, agregar, editar y eliminar los dispositivos inteligentes del entorno, delimitado por una red o subred, a través de una interfaz web. Los módulos principales de este controlador son:

- **API Consume.** Para consultar las API de los dispositivos.
- **Situation Management.** Para gestionar las diferentes situaciones donde se pueden encontrar estos dispositivos.
- **Skills/Goals Generator.** Su finalidad es generar las habilidades y necesidades de los dispositivos a partir de la información de la API y el perfil de la entidad.

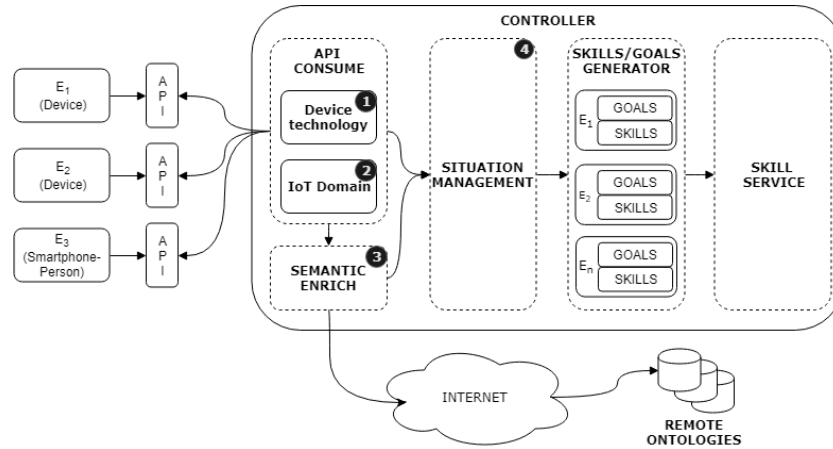


Figura 1: Arquitectura para habilitar la colaboración de dispositivos IoT

- **Skill Service.** Ofrece las habilidades generadas anteriormente como servicio al resto de dispositivos.

Una vez se detecta un dispositivo, se consulta su API para obtener información acerca de sus funcionalidades (*API Consume*). Estas APIs se consumen para descubrir las características de las entidades para garantizar la *colaboración tecnológica* (1) y *colaboración a nivel de dominios IoT* (2) entre dispositivos. Por ejemplo, si el controlador detecta un aire acondicionado inteligente, su API puede proporcionar características para establecer un modo determinado, ajustar el nivel de temperatura, la velocidad del ventilador, establecer un temporizador de reloj, etc.

A continuación se trata de obtener información adicional del dispositivo y habilitar la *colaboración semántica*, para lo que se consultan ontologías externas (3). En este caso, se revisan las ontologías sobre aires acondicionados inteligentes del fabricante específico.

Cuando se tiene toda la información del dispositivo se interpreta la situación en la que se encuentra para que su comportamiento se adapte a ella (*Situation Management*), por lo que las habilidades deben ser conscientes de la situación (4) y poder establecer así una *colaboración situacional*. Dependiendo de las condiciones de la situación, como las personas involucradas, el lugar, o la fecha y hora, el dispositivo deberá actuar de una manera u otra. Por ejemplo, el funcionamiento del aire acondicionado será diferente si tiene que adaptarse a una o varias personas.

Después se generan las habilidades y necesidades (*Skills/Goals Generator*) que formarán parte de la entidad dependiendo de la situación detectada. Las habilidades se crean a partir de la información de la API, como se ha dicho anteriormente, y las necesidades, en primera instancia serán definidas manualmente a través de la interfaz web del controlador, pero en el futuro serán inferidas a partir

de la información personal de la entidad, contenida en su perfil virtual. Cuando las habilidades son generadas pueden ofrecerse como servicio (*Skill Service*) al resto de entidades para ser utilizadas en la resolución de sus necesidades.

La siguiente sección detalla cómo se establece la relación entre los dispositivos una vez han sido descubiertos y se tiene toda la información sobre ellos.

#### 4. Relación entre dispositivos

Llegados a este punto el controlador es capaz de relacionar las entidades descubiertas a través de sus habilidades y necesidades. La resolución de las necesidades de una entidad viene dada por encontrar una habilidad que sea capaz de resolverla adecuadamente. Este mapeo se realiza a través de consultas SPARQL. SPARQL es un lenguaje de consulta ontológica recomendado por el W3C para la Web Semántica que nos permite, entre otras cosas, identificar qué habilidad debe utilizarse para resolver una necesidad determinada. Esta búsqueda se define de forma preliminar a través del nombre de la habilidad y la necesidad. Además, gracias al uso de razonadores semánticos podemos obtener información adicional sobre las entidades. Los razonadores nos permitirán detectar qué tipos de entidades podemos encontrar dentro del entorno, con el fin de buscar habilidades y necesidades con mayor precisión.

Las consultas SPARQL nos dan la posibilidad de relacionar entidades en función de sus habilidades y necesidades. Al mismo tiempo, los razonadores semánticos nos proporcionan un mayor nivel de conocimiento, ya que pueden ofrecer información adicional a la que estamos solicitando. Ambas tecnologías son complementarias, y dependiendo de la complejidad del caso de uso o de la información que queramos extraer, podemos utilizar una u otra. En la Fig. 2 se muestra cómo el uso de un razonador semántico como Hermit [7] puede inferir conocimiento extra de una ontología (Fig. 2a) y determinar qué tipo de individuos posee (Fig. 2b). Conocer qué tipo de individuos o entidades están presentes en el entorno es importante para definir las relaciones a establecer entre ellos y que la resolución de necesidades se realice de la forma más óptima posible.

Se han llevado a cabo diferentes pruebas con Apache Jena [6] para la administración de habilidades y necesidades. Apache Jena es un framework para la Web Semántica basado en Java que permite el tratamiento de ontologías. Jena, concretamente su versión Android (AndroJena), fue seleccionado porque el procesamiento de ontologías se realizaría en los dispositivos móviles de las personas y porque es una de las herramientas más extendidas en el mundo de la Web Semántica, al estar también fácilmente integrada con razonadores y consultas SPARQL. Antes de eso, se desarrollaron ejemplos preliminares en Protégé, para comprobar el comportamiento de la ontología. Protégé es un potente editor de ontologías de código abierto [20]. Una vez estudiado el ejemplo, la siguiente tarea fue utilizar Jena para desarrollar operaciones similares a las de Protégé, y tener más control sobre la ontología propuesta.



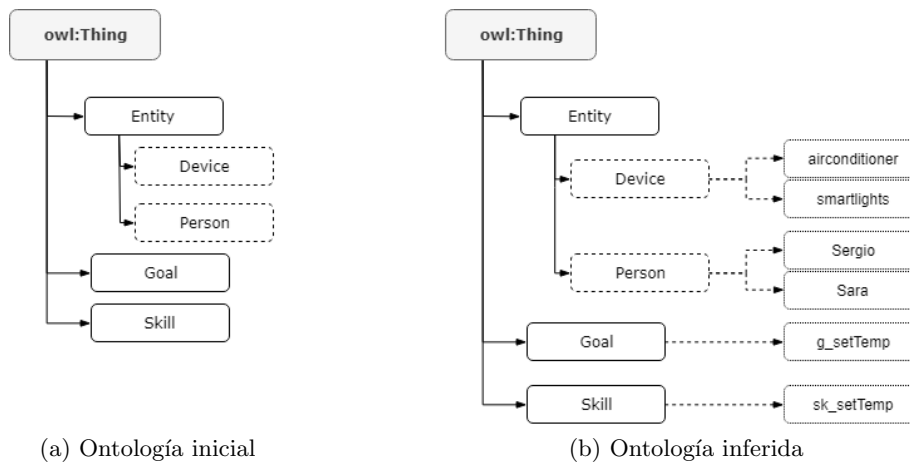


Figura 2: Uso del razonador Hermit

## 5. Prototipo

Para evaluar la viabilidad de la arquitectura propuesta se está trabajando en un prototipo. Este prototipo se basa en una oficina inteligente (SmartOffice) donde se aprecian los elementos de la arquitectura definida en la sección anterior (Fig. 3). Dicho caso de uso, formado por diferentes entidades cuya información personal se almacena en sus perfiles virtuales, queda estructurado de la siguiente manera:

- Cuatro entidades, dos dispositivos inteligentes y dos personas.
  - **Aire acondicionado:** con la habilidad de regular la temperatura (*habilidad*).
  - **Luces inteligentes:** luces que son capaces de ajustar el nivel de iluminación <sup>3</sup> (*habilidad*).
  - **Sergio:** su perfil virtual contiene la siguiente información:
    - Temperatura deseada: 22.5° (*necesidad*)
    - Iluminación ideal: 6 (*necesidad*)
  - **Sara:** su perfil virtual contiene la siguiente información:
    - Temperatura deseada: 20.5° (*necesidad*)
    - Iluminación ideal: 8 (*necesidad*)
- Dos dispositivos principales para controlar la red y el resto de dispositivos.
  - **Router:** existe un router como puerta de enlace para gestionar la red y permitir la comunicación entre todos los dispositivos conectados a ella.
  - **Raspberry Pi 3:** el entorno está controlado por una Raspberry Pi 3. Este dispositivo es capaz de gestionar todas las habilidades y necesidades de los dispositivos conectados al router y enriquecerlos con información externa.

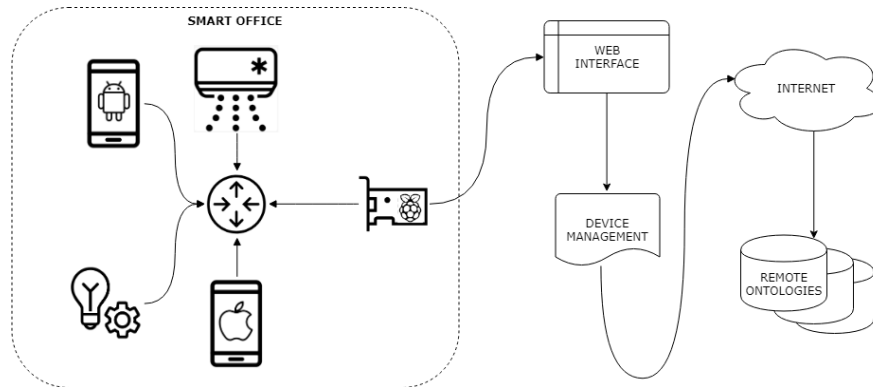


Figura 3: SmartOffice

Las diferentes entidades del escenario son detectadas por el controlador e incorporadas a su base de datos para que tenga evidencia de ellas. Las necesidades de las entidades se especifican manualmente a través de la interfaz web del controlador, mientras que las habilidades se construyen a partir de la información de sus APIs e incorporan información adicional de ontologías externas.

Todos los días, Sergio llega a la oficina a las 8 de la mañana. El controlador detecta su smartphone, un iPhone, e interpreta su perfil automáticamente. La información relacionada con sus necesidades, como la temperatura y el nivel de iluminación, son reconocidos por el controlador, porque ya fueron introducidos previamente. Gracias a esta información, los dispositivos cercanos a la red como el aire acondicionado y las luces inteligentes pueden adaptar sus habilidades a las preferencias de Sergio. Esto lo hace el controlador utilizando la información proporcionada en la interfaz web. En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de la consulta SPARQL para obtener estos datos. En este caso, el aire acondicionado establece una temperatura de  $22.5^{\circ}$  y las luces inteligentes se configuran con una intensidad lumínica de 6.

Una hora más tarde, a las 9 en punto, Sara llega y su smartphone, un teléfono móvil Android, es detectado por el controlador. Del mismo modo, el controlador interpreta su perfil virtual para conocer sus habilidades y necesidades. Ahora, el controlador debe establecer una estrategia que tenga en cuenta las preferencias de ambas personas. En este caso, dado que los empleados tienen la misma antigüedad dentro de la empresa y ocupan la misma categoría profesional, se toma un valor promedio para configurar las habilidades que cubrirán sus necesidades. Por lo tanto, el aire acondicionado estará ajustado a  $21.5^{\circ}$  y las luces iluminan la habitación con una potencia de 7 sobre 10. Además, las entidades también pueden aprender de estas situaciones. Si aparece una nueva entidad, una de las

<sup>3</sup> Para este ejemplo usaremos una escala para la intensidad luminosa de 0 a 10, donde 0 es totalmente oscuro (sin luz) y 10 es totalmente iluminado.

Tabla 1: Consulta SPARQL para la necesidad "temp"

**Consulta: todas las entidades presentes relacionadas con "temp"**

```

1 #todas las entidades presentes que
2   cubre la necesidad "temp"
3 SELECT * WHERE
4 {
5   ?Goal a :Goal .
6   ?Goal :requiresSkill ?skill .
7   ?Goal rdfs:comment ?comment .
8   FILTER (CONTAINS( lcase( str( ?Goal )
9     , lcase( "temp" ) ) ) .
10  ?Entity a :Entity .
11  ?Entity :hasSkill ?skill .
12 }

```

**Result**

<b>Necesidad</b>	g_setTemp
<b>Habilidad</b>	sk_setTemp
<b>Comentario</b>	Cambiar temperatura
<b>Entidad</b>	aireAcondicionado

actuales abandona el entorno, o se produce un cambio manual en algunas de las habilidades, por ejemplo, ajustando manualmente la temperatura a 20°.

Este sencillo caso de uso muestra todos los componentes descritos anteriormente, desde las entidades gestionadas en el contexto, hasta la adaptación de sus habilidades para resolver las necesidades detectadas. Podemos observar el problema de la colaboración tecnológica a través de dispositivos proporcionados por diferentes fabricantes como Samsung, Xiaomi, Apple y Android. Además, se muestran varios dominios si consideramos que el aire acondicionado y las luces inteligentes pueden pertenecer fácilmente a diferentes dominios, por ejemplo, la industria y el hogar inteligente. Incluso el problema de la situación está presente cuando diferentes personas están llegando o saliendo de la oficina. La consulta SPARQL mostrada es sólo un ejemplo de todas las posibilidades que pueden ocurrir en una situación. Podemos utilizar las consultas para detectar dispositivos, relaciones, aprender más sobre una necesidad o sobre una propiedad en particular.

## 6. Discusión

En este documento hemos examinado los problemas de colaboración de la IoT, que cada vez son más relevantes. Gracias a trabajos en este campo, como los mencionados en la Sección 2, podemos detectar el estado actual de la colaboración de los dispositivos e ir un poco más allá. Estos trabajos permiten, en mayor o menor medida, resolver los problemas de colaboración tecnológica [2,15], favorecer la comunicación entre diferentes dominios [22,10], reducir la distancia semántica entre dispositivos que utilizan las mismas tecnologías [11], e incluso considerando que en un escenario pueden surgir diferentes situaciones alrededor de los dispositivos inteligentes [5].

Aunque todas estas propuestas nos ayudan a enfocar nuestra solución, hasta donde llega nuestro conocimiento, ninguna de ellas se centra en abordar el problema de la dependencia de proveedores por parte de los fabricantes en los cuatro niveles de colaboración detectados anteriormente.

La propuesta presentada ofrece muchas ventajas, pero también somos conscientes de sus limitaciones. La relación que se establece entre habilidades y necesidades es simple, y actualmente estamos trabajando en algoritmos que contribuyan a componer estrategias que ayuden a satisfacer una o varias necesidades combinando diferentes habilidades (habilidades y necesidades compuestas), y a determinar un orden específico de acción. En relación a la configuración de las habilidades, consideramos que este aspecto es un problema importante desde el punto de vista de la adaptación de los usuarios. Se trata de un trabajo futuro en el que actualmente se está profundizando. Utilizando técnicas como la toma de decisiones o algoritmos bioinspirados, una habilidad toma el valor calculado a partir de la información de las entidades dentro del entorno. La información que contemplan estos algoritmos se basa en una estructura jerárquica dentro del entorno, de modo que se puede decidir si se quiere favorecer a una persona o tomar un valor medio para todos teniendo en cuenta aspectos como el tiempo que una persona pasa en un espacio determinado (detectando si está en el trabajo, en casa, etc.), qué personas tienen a su alrededor o si utilizan con frecuencia la habilidad solicitada.

## 7. Conclusiones

En este trabajo abordamos los problemas de colaboración para favorecer la colaboración y la comunicación de los dispositivos inteligentes de la IoT desde los diferentes niveles de colaboración detectados: tecnológicos, de dominios de IoT, semántica y situacional. Se han detectado diferentes niveles sobre los que actuar y hemos propuesto una solución para resolverlas. El prototipo propuesto es una prueba de concepto que nos permite entender las limitaciones y posibilidades que tiene la colaboración en un escenario inteligente.

Este trabajo es un paso más hacia el logro de un mayor nivel de colaboración en la IoT. En él se profundiza en los diferentes problemas que condicionan la experiencia del usuario debido a las prácticas de dependencia de proveedores existentes. El trabajo futuro nos permitirá profundizar en cada uno de los niveles detectados para conocerlos lo mejor posible y poder obtener todos sus beneficios, así como combatir con sus limitaciones.

**Agradecimientos.** Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (RTI2018-094591-B-I00), por el Departamento de Economía e Infraestructura del Gobierno de Extremadura (GR18112, IB18030), por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y por el proyecto 4IE (0045-4IE-4-P) financiado por el programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020.

## Referencias

1. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., Ayyash, M.: Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **17**(4), 2347–2376 (2015)
2. Bandyopadhyay, D., Sen, J.: Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications* **58**(1), 49–69 (2011)
3. Barnaghi, P., Wang, W., Henson, C., Taylor, K.: Semantics for the internet of things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)* **8**(1), 1–21 (2012)
4. Berrocal, J., Garcia-Alonso, J., Canal, C., Murillo, J.M.: Situational-context: a unified view of everything involved at a particular situation. In: *International Conference on Web Engineering*. pp. 476–483. Springer (2016)
5. Bonte, P., Ongenaes, F., De Backere, F., Schaballie, J., Arndt, D., Verstichel, S., Mannens, E., Van de Walle, R., De Turck, F.: The massif platform: a modular and semantic platform for the development of flexible iot services. *Knowledge and Information Systems* **51**(1), 89–126 (2017)
6. Foundation, A.: free and open source java framework for building semantic web and linked data applications. <https://jena.apache.org/>, (Accessed on 2019-01-04)
7. Glimm, B., Horrocks, I., Motik, B., Stoilos, G., Wang, Z.: Hermit: an owl 2 reasoner. *Journal of Automated Reasoning* **53**(3), 245–269 (2014)
8. Guinard, D., Trifa, V.: *Building the web of things: with examples in node.js and raspberry pi*. Manning Publications Co. (2016)
9. Gyrard, A., Datta, S.K., Bonnet, C., Boudaoud, K.: Cross-domain internet of things application development: M3 framework and evaluation. In: *2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*. pp. 9–16 (Aug 2015). <https://doi.org/10.1109/FiCloud.2015.10>
10. Gyrard, A., Patel, P., Datta, S.K., Ali, M.I.: Semantic web meets internet of things and web of things: [2nd edition]. In: *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*. pp. 917–920. WWW '17 Companion, International World Wide Web Conferences Steering Committee, Republic and Canton of Geneva, Switzerland (2017). <https://doi.org/10.1145/3041021.3051100>, <https://doi.org/10.1145/3041021.3051100>
11. Kiljander, J., D'elia, A., Morandi, F., Hyttinen, P., Takalo-Mattila, J., Ylisaukko-Oja, A., Soininen, J.P., Cinotti, T.S.: Semantic interoperability architecture for pervasive computing and internet of things. *IEEE access* **2**, 856–873 (2014)
12. Kim, J., Yun, J., Choi, S.C., Seed, D.N., Lu, G., Bauer, M., Al-Hezmi, A., Campowsky, K., Song, J.: Standard-based iot platforms interworking: implementation, experiences, and lessons learned. *IEEE Communications Magazine* **54**(7), 48–54 (2016)
13. Maarala, A.I., Su, X., Riekkii, J.: Semantic reasoning for context-aware internet of things applications. *IEEE Internet of Things Journal* **4**(2), 461–473 (2017)
14. Roman, R., Zhou, J., Lopez, J.: On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks* **57**(10), 2266–2279 (2013)
15. Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L.: The internet of things: An overview. *The Internet Society (ISOC)* pp. 1–50 (2015)
16. Shrestha, N., Kubler, S., Främling, K.: Standardized framework for integrating domain-specific applications into the iot. In: *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2014 International Conference on*. pp. 124–131. IEEE (2014)

17. Sun, Y., Jara, A.J.: An extensible and active semantic model of information organizing for the internet of things. *Personal and Ubiquitous Computing* **18**(8), 1821–1833 (2014)
18. Swetina, J., Lu, G., Jacobs, P., Ennesser, F., Song, J.: Toward a standardized common m2m service layer platform: Introduction to onem2m. *IEEE Wireless Communications* **21**(3), 20–26 (2014)
19. Szilagyi, I., Wira, P.: Ontologies and semantic web for the internet of things—a survey. In: Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE. pp. 6949–6954. IEEE (2016)
20. University, S.: Protégé. <https://protege.stanford.edu/>, (Accessed on 2019-01-04)
21. Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., Jubert, I.S., Mazura, M., Harrison, M., Eisenhauer, M., et al.: Internet of things strategic research roadmap. *Internet of Things-Global Technological and Societal Trends* **1**(2011), 9–52 (2011)
22. Wu, G., Talwar, S., Johnsson, K., Himayat, N., Johnson, K.D.: M2m: From mobile to embedded internet. *IEEE Communications Magazine* **49**(4) (2011)
23. Wu, Z., Xu, Y., Yang, Y., Zhang, C., Zhu, X., Ji, Y.: Towards a semantic web of things: a hybrid semantic annotation, extraction, and reasoning framework for cyber-physical system. *Sensors* **17**(2), 403 (2017)
24. Yafei, D., Guanyu, L., Hui, Z.: Semantic space-based semantic collaboration method in semantic web of things. *Computer Applications and Software* **2**, 002 (2016)