Sistemas basados en el Internet de las cosas (IoT) para la gestión de los recursos del aula

Gleiston Guerrerp-Ulloa1,2 [0000-1111-2222-3333], Jonathan Villafuerte-Solorzano1 [1111-2222-3333-4444] Michael Yánez- 1 [1111-2222-3333-4444], Miguel J. Hornos2 [0000-1111-2222-3333], Carlos Rodríguez-Domínguez2 [1111-2222-3333-4444]

1 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo 120301, Ecuador

2 Universidad de Granada, Granada 18014, España  
{gguerrero, [jonathan.villafuerte2014}@uteq.edu.ec}](mailto:jonathan.villafuerte2014%7d@uteq.edu.ec), {mhornos, gleiston@correo.ugr.es, carlosrodriguez}@ugr.es

**Resumen.** El resumen debe sintetizar el contenido del trabajo en términos breves, es decir, entre 150 y 250 palabras.

**Palabras clave:** Primera palabra clave, Segunda palabra clave, Tercera palabra clave.

1. Introducción

Internet de las cosas (IoT), término acuñado por Kevin Ashton [1]es uno de los paradigmas que está en continuo desarrollo y se está aplicando en una amplia gama de dominios [2]. Los sistemas basados en IoT (IoTS) son la combinación de múltiples tecnologías, y está transformando el estilo de vida de las personas, los procesos y la forma en que interactúan con otras personas u otros sistemas. Aunque inicialmente se propuso que IoT se refiriera a objetos conectados interoperables e identificables de forma única con tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) [3, 4]la RFID es actualmente sólo una de las tecnologías utilizadas.

La IO representa un entorno holístico formado por muchos dispositivos inteligentes que interconectan objetos físicos heterogéneos a través de Internet. Muchos dominios, como la logística, la fabricación, la agricultura, la automatización del hogar, la vida asistida por el entorno, las ciudades inteligentes, la asistencia sanitaria y muchas otras aplicaciones de computación ubicua son los campos de aplicación de IoT. Al desplegar el IoT, la mayor interacción entre las personas y las cosas facilita el intercambio de información y servicios. Sin embargo, también plantea nuevos retos, especialmente en términos de seguridad y privacidad [3].

La identificación de personas o cosas (entidades) en un sistema basado en IoT, hay que considerar la fiabilidad de que, la entidad es la que dice ser. El mecanismo de identificación de entidades con el que nació IoT es la RFID. Sin embargo, el uso de esta tecnología facilita la suplantación de identidades, ya que el objeto que las identifica (tarjetas, llaveros, etiquetas, etc.) puede intercambiarse fácilmente. En este contexto, existen varios métodos alternativos de verificación de la identidad, especialmente para las personas, como la identificación biométrica por huella dactilar [5, 6]el reconocimiento facial [7]reconocimiento del iris [8]entre otros métodos seguros.

La identificación de las personas autorizadas puede facilitar la gestión de los recursos (por ejemplo, permitir o denegar el acceso a lugares como edificios, oficinas, aulas, etc.), facilitando así su uso en las actividades diarias para reducir la pérdida de tiempo y aumentar la productividad de las personas. La gestión de los recursos utilizados en los entornos de las aulas, es uno de los campos en los que el IoT no se ha aplicado ampliamente, especialmente en los países en desarrollo. Entre los trabajos que se han presentado está el de Chan et al. [9]quienes propusieron un prototipo de sistema basado en IoT, para controlar el encendido y apagado de luces y aire acondicionado de acuerdo a los horarios establecidos para un cubículo en el edificio de profesores. A través del objetivo logrado con este prototipo de sistema, se consiguió un ahorro energético [9].

En un entorno de aula de una institución de educación superior, se espera tener, además de las luces y el aire acondicionado o la calefacción, el proyector de vídeo, y por supuesto el control de entrada a estos entornos. En este trabajo se propone un sistema que tiene como objetivo controlar el acceso a las aulas, utilizando dispositivos en un entorno como estos cuando las condiciones lo requieran. Para ello, se implementó, para la apertura de las puertas, la identificación de la persona autorizada (*profesor*) por reconocimiento facial según el horario de clase. Además, los alumnos se registran mediante huella dactilar.

En particular, la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en Ecuador, cuenta con unos edificios nuevos dedicados a aulas y oficinas administrativas, en los que se han iniciado las actividades presenciales post-pandémicas, además de los edificios anteriores debido al aumento de la oferta académica (aumento del número de carreras ofertadas). Las necesidades de personal han crecido y, debido a la crisis económica que atraviesa el país, no es factible aumentar el número de personal. Por ello, una solución sería automatizar algunas tareas, evitando así sobrecargar al personal existente. Además, la delincuencia ha crecido exponencialmente, y aunque los bienes de la universidad cuentan con guardias privados, y todavía no se han producido robos, sin embargo, podrían ocurrir en cualquier momento, ya que no hay control de las personas que entran en las instalaciones de la universidad. Por ello, un sistema que permita la entrada de personas autorizadas a las aulas (aulas, laboratorios de informática, entre otros) garantiza una mayor seguridad de los bienes de las aulas.

1. Obras relacionadas

Sin duda, la identificación de las personas para acceder a la información y habilitar los recursos es muy importante. Mohammad et al, [10]presentan un sistema para la gestión de la sanidad, en el que proponen la identificación mediante etiquetas RFID y la emisión de firmas digitales. El identificador almacenado en la etiqueta RFID se utiliza para iniciar sesión en una aplicación móvil. Tanto el médico como el paciente están habilitados por la etiqueta RFID para utilizar el sistema, pero no para activar ningún sensor ni obtener ninguna respuesta de ningún actuador del sistema, ya que el paciente es el que proporciona la monitorización de la salud, y el médico es el que emite notificaciones o sugerencias al paciente.

Otro trabajo para la identificación de personas para el control de acceso es el presentado por Guerrero-Ulloa et al. [11]en el que utilizan tarjetas y etiquetas RDIF. Se trata de un sistema para el cuidado de personas con deterioro cognitivo leve dentro de un hogar para alertar a los cuidadores cuando éste se acerca a lugares considerados peligrosos para estas personas. Guerrero-Ulloa et al., conscientes de los problemas de suplantación de identidad que pueden provocar las etiquetas y tarjetas RFID, presentan un sistema que utiliza el reconocimiento facial para la identificación de personas en un sistema de medicación multipaciente desde un dispensador de medicamentos. Una vez que el sistema ha reconocido al paciente, le dispensa la medicación que debe tomar en ese momento [12].

Por otro lado, Wang et al. [13]proponen un método de identificación de trabajadores y de color de casco basado en la detección de objetos en movimiento. Este sistema detecta objetos en movimiento, la región de interés (RoI) de la imagen es la cabeza de las personas que se encuentran entre esos objetos. Con este RoI, identifica al trabajador y el tipo de trabajo que está realizando en base al color del casco que lleva. En nuestro trabajo hacemos algo parecido. Se detecta la cara de la persona que está frente a la cámara, siendo ésta para nuestro caso el RoI, con una resolución de 8 bits en escala de grises. Este RoI se utiliza para reconocer a la persona. El objetivo de Wang et al. es detectar que el trabajador lleva el caso en la cabeza e identificar el color del casco, mientras que uno de los objetivos de nuestro trabajo es reconocer quién es la persona que está delante de la cámara, y según las restricciones establecidas darle o denegarle el acceso al aula.

Otro objetivo de esta propuesta es que las luces y los equipos utilizados en el entorno del aula permanezcan encendidos sólo si hay personas en ella y, en el caso de las luces y el aire acondicionado específicamente, se encenderán o apagarán según sea necesario en función de las condiciones meteorológicas de luz y temperatura del momento. Y, por supuesto, el profesor podrá tomar las mejores decisiones mientras esté en el entorno del aula. En todos los casos, cuando no hay gente en el aula, los equipos se apagan automáticamente. Además, para reducir el consumo de energía eléctrica en las aulas UTEQ o en entornos similares, es decir, donde el uso de los dispositivos eléctricos no está adecuadamente controlado.

1. Sistema propuesto

El sistema propuesto es un sistema de control de acceso a las aulas (SISGERA). El SISGERA pretende alcanzar dos objetivos: servir de apoyo al personal de servicio encargado de controlar el acceso a las aulas y el uso de los dispositivos eléctricos y electrónicos (luces, aires acondicionados, videoproyectores) instalados en las aulas.

El SISGERA se implementó en el aula FCI-308. Esta aula, como cualquier otra, tiene un horario de uso de lunes a viernes de 07H30 a 20H30, principalmente con intervalos de 2 horas. El uso de las aulas es por módulo. Cada módulo consta de 25 a 30 horas de clase por semana. Un ejemplo de horario de uso es para el Aula FCI-008 se utiliza para impartir el noveno módulo de la carrera de Ingeniería Mecánica, turno de mañana:

1. Lunes de 07:30 a 10:30 y de 10:30 a 12:30
2. Martes de 07:30 a 10:30 y de 10:30 a 12:30
3. Miércoles de 09:30 a 12:30
4. Jueves de 07:30 a 10:30 y de 10:30 a 12:30
5. Viernes de 09:30 a 11:30 y de 11:30 a 12:30

Mientras tanto, en la misma aula (FCI-008) se imparten las clases del octavo módulo de la carrera de Ingeniería Ambiental, turno de tarde:

1. Lunes de 13:30 a 15:30 y de 15:30 a 17:30
2. Martes de 12:30 a 14:30 y de 14:30 a 17:30
3. Miércoles de 12:30 a 14:30 y de 14:30 a 17:30
4. Jueves de 13:30 a 16:30 y de 16:30 a 17:30
5. Viernes de 12:30 a 13:30, de 13:30 a 14:30 y de 14:30 a 17:30

El tiempo aproximado de desplazamiento de un *profesor* al aula correspondiente es de entre 5 y 15 minutos. Por lo tanto, el tiempo que los equipos permanecerán encendidos (aires acondicionados y videoproyectores) sin uso será de 95 y 285 minutos por día, sin contar con los días en que los alumnos de la mañana terminan sus clases antes que los de la tarde. Esta última situación puede provocar que las luces y los equipos permanezcan encendidos durante horas innecesariamente. Además, los días en que los alumnos del módulo tienen clases en otros ambientes como laboratorios de computación, de física aplicada, entre otros (dependiendo de la carrera) por lo que deben salir de las aulas y desplazarse, dejando estos aparatos encendidos y, en algunos casos, también las luces.

* 1. Desarrollo de SISGERA

Para el desarrollo de SISGERA se utilizó la metodología de desarrollo dirigido por pruebas para sistemas basados en IoT (TDDM4IoTS) [14]. Dado que es la única metodología encontrada en la literatura que hace hincapié en las actividades específicas de los sistemas basados en IoT, como el análisis del entorno en el que se desplegará el sistema, el diseño de la capa tecnológica (hardware y software), entre otros [15]. Además, aprovecha el Test Driven Development (TDD) para obtener el software necesario.

TDDM4IoTS es una metodología basada en los valores y principios del manifiesto ágil. Define 4 roles para los miembros del equipo del proyecto, el rol de usuario y el rol de facilitador del proyecto fueron desempeñados por el primer autor (profesor de la UTEQ), y el equipo de desarrollo fue desempeñado por el segundo y tercer autor. Las actividades que TDDM4IoTS considera que deben llevarse a cabo en el desarrollo de un IoTS se agrupan en 11 estados o hitos, a saber: (1) Análisis preliminar, (2) Diseño de la capa tecnológica, (3) Análisis detallado de los requisitos, (4) Generación y adaptación del modelo, (5) Generación de pruebas, (6) Generación del software, (7) Perfeccionamiento del modelo, (8) Perfeccionamiento del software, (9) Despliegue del hardware y del software, (10) Evaluación del entregable, (11) Mantenimiento. Estas fases no son de naturaleza estricta. Especialmente en proyectos pequeños como el presentado en este trabajo, las fases de TDDM4IoTS que no se ejecutaron hasta la entrega del sistema terminado fueron: refinamiento *del modelo* y *mantenimiento*. Además, otras fases sólo se han ejecutado una vez como: la etapa de *análisis preliminar* y la etapa de *diseño de la capa tecnológica*, y la etapa de refinamiento del software que se ejecutó con el último entregable, como mencionan los autores de TDDM4IoTS.[14].

La página web **Fig. 1** muestra las etapas de TDDM4IoTS y el orden en el que se ejecutaron en el desarrollo de SISGERA porque es un sistema relativamente pequeño.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Fig. 1.** Etapas de TDDM4IoTS y orden de ejecución.

* 1. Resultados de la metodología

Esta subsección presenta los resultados de la ejecución de cada una de las fases de la metodología que fueron necesarias debido a las dimensiones del proyecto.

### (1) Análisis preliminar. Algunos de los autores, como actores (estudiantes y profesores) de las actividades cotidianas que se desarrollan en las instalaciones universitarias donde se implementará el sistema, conocen las necesidades básicas, y a través de la observación directa y de entrevistas con el decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTEQ, se han determinado las especificaciones o requisitos que debe cumplir el sistema.

SISGERA debe cumplir los siguientes *requisitos funcionales*:

* Mantén las luces, el aire acondicionado y el proyector de vídeo apagados cuando no haya gente en el aula.
* Facilitar el acceso al aula a los profesores según el horario establecido para ello.
* La autentificación del profesor y de los alumnos que entran en el aula debe ser uno de los métodos más seguros para garantizar que la persona que entra es quien dice ser.
* Cuando el profesor pueda entrar en el aula, deberán encenderse las luces, el aire acondicionado y el videoproyector (en ese orden).
* El profesor debe poder controlar el equipo (apagarlo y/o encenderlo).
* El profesor puede entrar en el aula según un horario establecido para el ciclo académico u ocasionalmente.
* La asistencia de los estudiantes debe registrarse en el sistema en el momento en que se identifican para su ingreso.

Una de las herramientas propuestas por TDDM4IoTS para capturar los requisitos de grano grueso de un sistema son los diagramas de casos de uso. El **Fig. 2** muestra el diagrama de casos de uso de SISGERA.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Fig. 2.** Diagrama de casos de uso de SISGERA.

En cuanto a los *requisitos no funcionales del* sistema, se determinó que, al tratarse de un sistema para ser desplegado en un aula, el suministro eléctrico está garantizado por la empresa pública. En cuanto a la conexión a Internet, se dispone de una conexión WiFi permanente. Además, el sistema debe ser lo más económico posible, sin descuidar la calidad y la seguridad.

La *tecnología* para la implementación de SISGERA es popular y está disponible comercialmente. Los elementos de hardware necesarios son: Raspberry PI para el procesamiento local y para el envío de datos a Internet, Arduino mega para tratar las señales captadas por los sensores y enviar los datos a la Raspberry PI a través del módulo Bluetooth, sensores infrarrojos para el encendido y apagado de los equipos controlados, cámara IP para captar el vídeo que sirve para el reconocimiento de personas, lector de tarjetas RFID, tarjetas RFID para identificar a los alumnos en el momento de la entrada, lector de huellas dactilares para identificar a los alumnos de forma más segura (cuando se requiera), sensor de movimiento para detectar dentro del aula, módulos de relés para controlar el encendido y apagado de luces, aire acondicionado, entre los más importantes.

Para el reconocimiento de rostros, se ha utilizado un enfoque basado en OpenCV (1) capturando la cara de la persona (profesor) mediante una cámara IP y enviada utilizando el protocolo de control en tiempo real (RTCP). (2) La detección de caras se realiza a partir de un Live Stream utilizando el clasificador en cascada Haar, que se basa en el framework Viola-Jones disponible en OpenCV. (3) Finalmente, para el reconocimiento facial se ha utilizado el algoritmo LBPH ya que proporciona mejores resultados en diferentes condiciones de iluminación, rayos de luz y variaciones de pose. Y según esto, devuelve el ID de la persona con la mejor similitud.

Los resultados del *estudio de viabilidad* justifican el desarrollo de SISGERA. El coste de desarrollo e implementación es económico. El equipo del proyecto tiene la experiencia y la formación académica que se ajusta al perfil requerido para el desarrollo de IoTS. El tiempo de desarrollo estimado está dentro del plazo previsto. Finalmente, en cuanto a la viabilidad operativa, al ser un sistema para una universidad que ofrece carreras como Ingeniería de Sistemas, Software y Telemática, cuenta con personal capacitado para mantener este sistema operativo.

### (2) Diseño de la capa tecnológica. Los dos resultados de esta etapa fueron (1) la arquitectura del sistema (véase **Fig. 3**) y (2) el diseño del dispositivo o hardware (véase **Fig. 4**).

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Fig. 3.** Arquitectura del sistema propuesto.

El sistema local se encarga de procesar la información capturada en el entorno, como el reconocimiento facial del profesor y la identificación de las huellas dactilares de los alumnos, así como de ejecutar los comandos para controlar los equipos, entre otras tareas. El sistema local se conecta vía Bluetooth con la aplicación móvil para ejecutar los comandos enviados por el profesor, y con el servidor web para almacenar y recuperar los datos a/de la base de datos PostgreSQL. El servidor web está preparado para servir a la aplicación móvil entregando la información solicitada a través de servicios web RESTful, para ello, este servidor se conecta vía protocolo TCP/IP con el servidor de la base de datos PostgreSQL.

La interconexión de los sensores, actuadores y ordenadores de placa única que se utilizaron en el dispositivo SISGERA se muestra en **Fig. 4**: (1) Disyuntor Siemens DC 220/380V, (2) Disyuntor Merlin Gerin C60hb Multi9 B25, (3) Transformador de cerradura eléctrica 110V-12V, (4) Regleta de alimentación, (5) Control de puerta, (6) Motor DC de hoja eléctrica, (7) Módulo Bluetooth HC-5, (8) Arduino mega 2560, (9) Protoboard, (10) Módulo de relés 2 canales, (11) Módulo PIR HC-SR04, (12) Módulo de relé de 4 canales, (13) Cable adaptador de toma de corriente DC macho y hembra, (14) Lector RFID Wiegand W26, (15) Sensor lector de huellas dactilares DFRobot, (16) Módulo transceptor IR NE555, (17) Raspberry Pi 4, (18) Cámara IP, (19) Router (Servicio Wi-Fi).

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Fig. 4.** Diseño del dispositivo del sistema propuesto.

Esta etapa estableció la hoja de ruta para la ejecución de las demás actividades de las etapas restantes.

### (3) Análisis detallado de los requisitos. Para cada una de las entregas en las que se dividió el sistema propuesto, se analizaron detalladamente los requisitos para obtener las pruebas que debe superar el software, asegurando así que el sistema cumple los requisitos exigidos por el cliente. Se utilizaron casos de uso semiestructurados para recoger los requisitos que el cliente demanda que el sistema debe cumplir. **Table 1** muestra un ejemplo de caso de uso.

**Tabla 1.** Ejemplo de caso de uso (Confirmar asistencia) .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Caso de uso:** | **Confirmar la asistencia** | | | | | | | | |
| **Actor:** | Estudiante, profesor | | | | | | | | |
| **Objetivo:** | Corroboración de la presencia del estudiante a través del registro de huellas dactilares. | | | | | | | | |
| **Resumen:** | El profesor, por alguna razón, necesita corroborar la asistencia de los alumnos registrando las huellas dactilares (inicialmente debería haberlo hecho a través de su tarjeta RFID). | | | | | | | | |
| **Tipo:** | Secundaria. | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **Sección principal** | | | | | | | | | |
| **Flujo normal de eventos** | | | | | | | | | |
| **Acción de los actores** | | | | **Respuesta del sistema** | | | | | |
| 1. El caso de uso comienza cuando el profesor necesita verificar la asistencia de un alumno, para lo cual procederá a cambiar el estado de asistencia del alumno a verificar. | | | | | |  | | | |
| 2. Pida al alumno que coloque su pulgar en el sensor de huellas dactilares. | | | | | | |  | | |
|  | | 3. El sensor de huellas dactilares capta la huella y la compara con las registradas en la base de datos. 4. Coloca el respectivo registro de asistencia del alumno. | | | | | | | |
| 4. El profesor pulsa el botón "actualizar" para observar los cambios realizados tras la corroboración. | | | | | | |  | | |
|  | | 5. Se muestra la interfaz de usuario correspondiente, donde se actualiza la lista de asistencia de los alumnos. | | | | | | | |
| 6. El profesor finaliza su corroboración con los demás alumnos, si los hay, y procede a enviar la asistencia a la base de datos pulsando el botón "Registrar asistencia". | | | | | | |  | | |
|  | | 7. Muestra el mensaje de confirmación. | | | | | | | |
| 8. Acepta la confirmación de los datos para registrar la asistencia del alumno. | | | | | | |  | | |
|  | | 9. Muestra el mensaje de éxito, actualiza la lista de alumnos con su respectiva asistencia y bloquea el botón "Registrar asistencia". | | | | | | | |
| 10. Si hay más observaciones de asistencia, repite el paso 2 con el siguiente alumno para su verificación de identidad; y termina el caso de uso. | | | | | |  | | | |
| **Flujos alternativos** | | | | | | | | | |
| Línea 3: Huella dactilar no reconocida, vuelva a la línea 2.  Línea 4: Actualización fallida, volver a la línea 2.  Línea 7: Rechaza la confirmación y vuelve a la línea 5. | | | | | | | | | |
| **Diagrama de casos de uso** | | | | | | | | | |
| Diagrama  Descripción generada automáticamente | | | | | | | | | |
| **Lista de métodos** | | | | | | | | | |
| **Firma del método** | | | **Objetivo del método** | | | | | **Tablas afectadas** |
| public fnUpdateAttendeceByBiometric (in\_biometric text) | | | | | Registra la asistencia del alumno que coloca su pulgar en el sensor de huellas dactilares. | | | | |

### (4) Generación y adaptación del modelo. Los IoTS son de naturaleza heterogénea, por lo que es muy importante obtener un modelo independiente de la plataforma antes de generar un modelo específico de la plataforma con el software del sistema. En **Fig. 5** muestra una parte del diagrama de clases que representa el modelo del sistema.

Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamente

**Fig. 5.** Diagrama de clases de SISGERA.

### (5) Generación de pruebas. Se obtuvieron pruebas con el cliente para cada requerimiento funcional y sus diferentes escenarios que podrían ocurrir. A continuación se muestran las pruebas para el requisito funcional en el que SISGERA debe mantener las luces y los equipos del aula apagados.

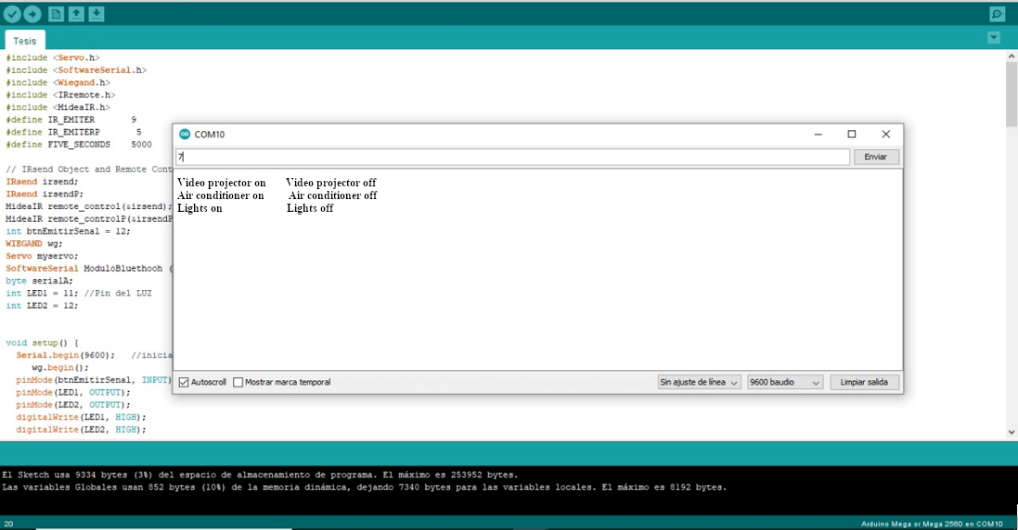
La condición es que tanto las luces como los equipos estén apagados.

* Un ***profesor*** que está programado para dar clase en el aula FCI-008 los lunes a las 10:30 en el aula FCI-008, llega el día correcto pero a las 10:00. El sistema le informa de que no es hora de su clase y mantiene todo apagado.
* Una persona que NO da clases en el aula FCI-008, va a esta aula, el sistema le informa que no tiene clases programadas en el aula FCI-008.
* Un ***profesor*** que está en el aula sale de ella. Al abandonar el aula de salida, tanto el equipo como las luces están encendidos. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), el sistema apaga las luces y los equipos.
* Un ***profesor*** que está en el aula sale de ella. Al abandonar el aula de salida sólo se encienden las luces. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), el sistema apaga las luces y los equipos permanecen apagados.
* Un ***profesor*** que está en el aula sale de ella. Cuando abandona el aula de salida, se asegura de que tanto las luces como los equipos están apagados. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), las luces y los equipos permanecen apagados.
* Un ***profesor*** que está en el aula sale de ella. Al salir del aula, sólo se enciende el aire acondicionado. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), el sistema apaga el aire acondicionado y las luces y el videoproyector permanecen apagados.
* Un ***profesor*** que está en el aula sale de ella. Al salir del aula, sólo se enciende el videoproyector. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), el sistema apaga el videoproyector y las luces y el aire acondicionado permanecen apagados.
* Un **profesor** que está en el aula sale de ella. Al salir del aula, sólo se apagan las luces. La última persona en salir del aula debe cerrar la puerta (la cierre o no), el sistema apaga el aire acondicionado y el videoproyector, y las luces permanecen apagadas.

Las pruebas de la aplicación móvil consisten en la manipulación del aire acondicionado, el videoproyector y las luces. Además, se comprueba que los datos captados por los sensores y los generados por otras operaciones de los usuarios de la aplicación (como la creación de usuarios, la modificación de contraseñas, la confirmación de la asistencia de los alumnos, entre otras) se almacenan correctamente en la base de datos.

### (6) Generación de software. Es la etapa más importante. Es la etapa más importante. Como se menciona en TDDM4IoTS, este proceso puede ser manual o automático. Para la generación automática del software se utilizó Visual Paradigm, siendo esta misma herramienta la utilizada para la elaboración del diagrama de clases.

Viual Paradigm generó un archivo para cada clase con su definición (clase con sus atributos y definiciones de métodos) para ser utilizado en la aplicación móvil. El 100% del código de Arduino, y el resto del código de lógica de negocio fue escrito por el equipo de desarrollo. El **Fig. 6** muestra los resultados de una de las condiciones expuestas (luces y equipos inicialmente encendidos) al ejecutar el software para pasar estas pruebas.



**Fig. 6.** Ejecución de las pruebas - Apague las luces y los equipos.

### (7) Perfeccionamiento del software. Esta etapa de TDDM4IoTS se ejecutó sólo una vez, después de obtener el software de la aplicación móvil de SISGERA. No fue necesario refactorizar el software de configuración del dispositivo, ya que fue escrito por uno solo de los miembros del equipo de desarrollo, teniendo en cuenta desde el principio las directrices para obtener un código limpio. En general, fue la etapa más corta y con poco trabajo para los desarrolladores.

### . (8) Despliegue de hardware y software. El despliegue del hardware llevó un tiempo considerable en comparación con el resto de las actividades. Se realizaron trabajos de cerrajería para empotrar una cerradura eléctrica segura en la puerta de entrada, instalar los emisores de infrarrojos a una distancia segura del aire acondicionado y del proyector de vídeo para que la señal de los emisores no se viera obstruida. Además, se aseguró la cámara en el pasillo, para que personas malintencionadas no la sacaran de su ubicación.

El despliegue de la aplicación móvil y de la base de datos, debido a su naturaleza no es un trabajo considerable. Idealmente, la aplicación móvil habría consumido los servicios web del sistema de gestión académica de la universidad; sin embargo, al tratarse de un prototipo y de información sensible, se creó una base de datos aproximada para alimentar y ser alimentada por el sistema. En el sitio web **Fig. 7** muestra las capturas de pantalla de la aplicación móvil SISGERA. La figura **Fig. 7**(a) muestra los resultados de la consulta de los alumnos que han registrado su entrada al aula. **Fig. 7**(b) muestra la pantalla utilizada por el profesor para solicitar un aula fuera de su horario asignado. **Fig. 7**(c) muestra la interfaz para controlar el equipamiento del aula.

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

(a) Alumnos matriculados (b) Solicitud de aula (c) Control de equipos

**Fig. 7.** Capturas de pantalla de la aplicación móvil SISGERA.

### (9) Evaluación de los resultados. La evaluación de la usabilidad de SISGERA se realizó en varios momentos. En la etapa inicial, hubo muchos comentarios negativos y una calificación generalmente negativa (7 sobre 10). A raíz de estos resultados, se involucró a los usuarios (profesores) en el diseño de las interfaces de la aplicación móvil, para implementar mejoras. Estas mejoras dieron lugar a una aceptación del 100% por parte de los profesores. El sitio web **Fig. 8** muestra los resultados de la evaluación de usabilidad del sistema prototipo propuesto.

**Fig. 8.** Resultados de la evaluación de la usabilidad de SISGERA en cinco momentos

1. Conclusiones

El uso de una metodología específica para el desarrollo de IoTS ayuda a obtener un sistema que cumple con los requisitos funcionales especificados por el cliente y considera los requisitos no funcionales de cada IoTS. TDDM4IoTS es una guía más eficaz para los desarrolladores de IoTS, especialmente para aquellos que no tienen suficiente experiencia en el desarrollo de IoTS.

El uso del reconocimiento facial como método de autenticación de usuarios es uno de los más seguros, aunque su tiempo de respuesta es ligeramente superior al de los métodos tradicionales, como la autenticación por contraseña. Sin embargo, cuando se requieren altos niveles de seguridad, el tiempo de autenticación por reconocimiento facial es aceptable. Otro método de autenticación seguro es la autenticación por huella dactilar. Aunque el tiempo que se tarda en identificar las huellas dactilares es menor que el del reconocimiento facial. Sin embargo, en nuestro caso, se utiliza la autenticación RFID para los alumnos porque es un método más rápido y el número de usuarios es considerable (de 15 a 45 alumnos). Además, el profesor conoce a sus alumnos, y en caso de que no los conozca y dude de su identidad, puede utilizar la aplicación móvil para pedir al alumno que confirme su asistencia mediante el método de autenticación por huella dactilar.

Para que una aplicación informática tenga éxito, el usuario debe participar en su diseño, especialmente en el de sus interfaces. Cuanto más participe el usuario en este proceso, mayor será la aceptación de la aplicación.

# Referencias