

## SISTEMAS MÓVILES PERVASIVE

(Mobile Systems Pervasive)

Recibido: 12/10/2013 Aprobado: 08/12/2013

**Arturo Henao Chaparro**  
Universidad de los Andes  
[a.henao59@uniandes.edu.co](mailto:a.henao59@uniandes.edu.co)

### RESUMEN

La computación pervasiva permite el desarrollo de sistemas que ofrecen servicios a sus usuarios basándose en sus preferencias, su entorno, su ubicación y sus actividades diarias sin que éste perciba la complejidad computacional que hay detrás. Existen un número de características y consideraciones que deben tenerse en cuenta en un sistema pervasivo, por este motivo, se presenta el proyecto Budgie, un sistema pervasivo altamente escalable que detecta los patrones de comportamiento de los individuos para generar alertas pertinentes.

**Palabras clave:** computación pervasiva, alta escalabilidad, computación móvil.

### ABSTRACT

Pervasive computing allows the development of systems that offers services based on user preferences, environment, location and daily activities without an explicit awareness of the underlying computational complexity. There are some characteristics that must be considered in every pervasive system; therefore, the Budgie project is presented, a scalable pervasive system that detects the behavioral patterns of the individuals in order to generate pertinent alerts.

**Keywords:** pervasive computing, scalability, mobile computing.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace casi dos décadas Mark Weiser's describió su visión de los que sería la computación ubica, ahora conocida como la computación pervasiva, visión cuya esencia era la creación de entornos saturados con capacidad computacional y un gran número de comunicaciones, pero aun así imperceptible para los individuos. La integración se hace de forma tan natural que la complejidad que percibe el usuario es casi "invisible".

El desarrollo de la computación pervasiva a comienzos de este siglo representa un avance muy significativo para el mundo de la computación. Es el resultado de la evolución de otros sistemas existentes: sistemas distribuidos y computación móvil, más la

integración de nuevas características que surgen como respuesta y complemento a los avances tecnológicos.

En general, el objetivo de la computación pervasiva es crear ambientes inteligentes donde los dispositivos están interconectados entre sí y embebidos en el entorno de los usuarios a través de una conectividad confiable, no-obstruida y continua que brinda servicios de valor agregado.

El resultado mejora la experiencia humana y su calidad de vida sin una consciencia explícita de las comunicaciones subyacentes y las tecnologías computacionales. La computación pervasiva se centra en percibir, interactuar y ayudar a los humanos a un nivel individual y de comunidad.

En la actualidad podemos observar como la computación pervasiva se hace visible en aplicaciones que utilizamos día a día. Por ejemplo, buscadores en línea perfilan nuestras preferencias, ubicación y entorno para brindarnos resultados con mayor precisión. No obtendremos los mismos resultados si nos encontramos en Colombia o en Estados Unidos, así mismo, los resultados cambiarán dependiendo de las preferencias y el historial de búsqueda.

Por otro lado, sitios de tiendas en línea sugieren productos asociados a las búsquedas recientes, los productos que se compran o las listas de favoritos.

Casos como estos, en los que la información que brindan las plataformas dependen de las preferencias, ubicación y entorno, hay miles hoy en día, desde reproductores musicales que recomiendan canciones como publicidad personalizada en las cuentas de correo electrónico.

La investigación actual con respecto a la computación pervasiva consiste en encontrar herramientas encaminadas en soportar alta escalabilidad, es decir, brindar servicios de valor agregado no solo para el beneficio individual, sino para el beneficio de grandes comunidades, donde el número de individuos y la heterogeneidad de los dispositivos aumentan significativamente, mejorando la calidad de vida de toda una comunidad, que puede ser a nivel regional o nacional.

El resto del artículo se distribuye de la siguiente forma: primero se presentan las características principales de la computación pervasiva. Luego se describen algunas consideraciones particulares que deben tenerse en cuenta a nivel de escalabilidad y privacidad. Por último se presenta el proyecto Budgie, un sistema pervasivo escalable que brinda alertas y recomendaciones basadas en los patrones de comportamiento de los individuos.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA COMPUTACIÓN PERVASIVA**

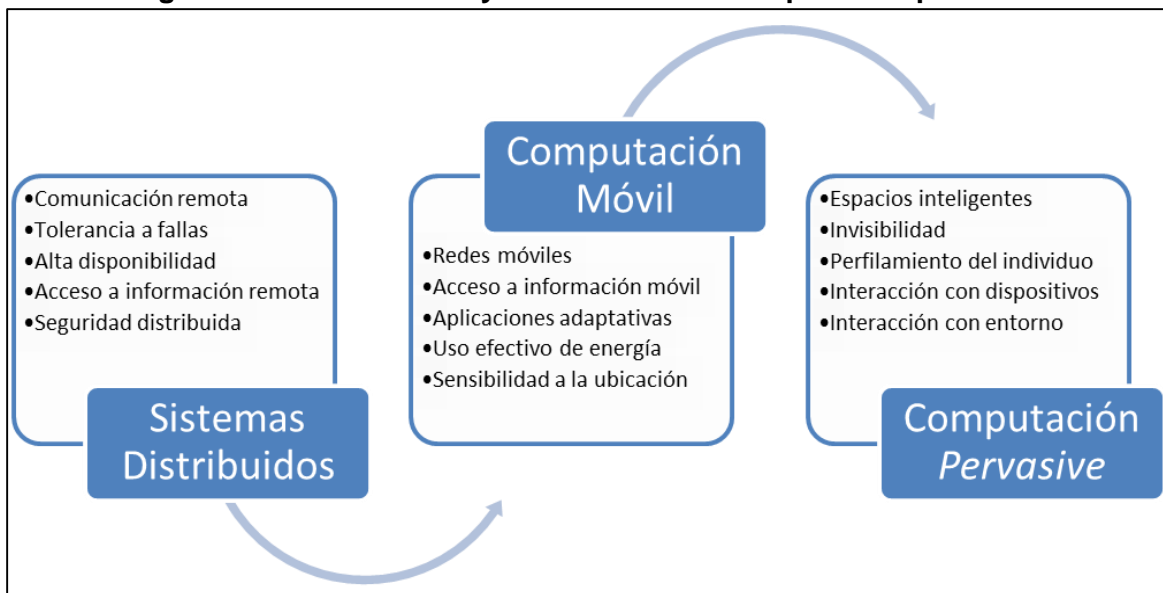
La computación pervasiva ha surgido como resultado de la evolución de los sistemas distribuidos y la computación móvil. La infraestructura sobre la cual está fundamentada la computación pervasiva está basada en los principios de los sistemas distribuidos. Por consiguiente, para garantizar un funcionamiento eficiente, debe cumplir con todos los atributos que se han generado durante su evolución. Entre estos atributos se encuentran:

la comunicación remota, tolerancia a fallas, alta disponibilidad, acceso a información remota y seguridad distribuida.

Por otro lado, una gran proporción de las soluciones pervasive está construida sobre dispositivos móviles, por esta razón, la computación pervasive debe abarcar las características más significativas de su homóloga móvil: redes móviles, acceso a información móvil y sensibilidad a la ubicación entre otros.

Las nuevas características asociadas y las que definen de por sí, la computación pervasive son: uso efectivo de espacios inteligentes, invisibilidad, perfilamiento del individuo, interacción con dispositivos, e interacción con el entorno.

**Figura 1. Características y evolución de la computación pervasive**



Fuente: Elaboración Propia (2013)

El uso efectivo de espacios inteligentes corresponde a integrar el lugar donde se encuentran los dispositivos computacionales con el sistema. En la medida que se integra la localización, es posible medir las variables del entorno, permitiéndole al sistema comportarse de forma distinta dependiendo de dónde está ubicado el usuario.

La característica de la invisibilidad se basa en que la percepción que tiene el usuario de la complejidad computacional es casi inexistente. Esto se refiere a que los servicios que prestan las plataformas se hacen de modo que el usuario no note los procesamientos que está haciendo el sistema.

Con respecto al perfilamiento del individuo es importante que un sistema pervasive detecte las preferencias del usuario y saque provecho de ellas para ofrecer servicios que se comportan de manera distinta dependiendo de los atributos que hacen único a cada individuo que interactúa con las aplicaciones que componen un sistema pervasive. Es un factor sumamente importante que el perfilamiento se realice de forma transparente para el usuario, ya que de lo contrario se estaría incumpliendo con la característica anterior.

La interacción con los dispositivos se basa en sacar provecho de como el individuo interactúa con todos los dispositivos que utiliza en su diario vivir mientras que la interacción con el entorno se basa en como aquellos dispositivos interactúan con el entorno.

En la medida que todas las características previamente presentadas se incluyan en el sistema, los servicios que se le prestaran al individuo se basaran completamente en su perfil, en la forma como éste interactúa con sus dispositivos y en la forma como estos dispositivos interactúan con el entorno. Por consiguiente, el sistema nunca presentará servicios iguales ni se comportará de forma equivalente para dos individuos distintos, o para un mismo individuo en circunstancias distintas.

### **COMPUTACIÓN PERVASIVE: ALTA ESCALABILIDAD**

El uso de **smartphones** y **tablets** ha venido aumentando exponencialmente en la última década así como sus capacidades de procesamiento. Los individuos están utilizando estos poderosos dispositivos móviles en su vida diaria. La cantidad de sensores que disponen estos dispositivos también está en aumento, dispositivos actuales cuentan con múltiples sensores como: barómetro, termómetro, acelerómetro, giroscopio, sensor de proximidad y sensor de luz entre otros.

Los sistemas pervasive están capturando la información de estos dispositivos altamente heterogéneos sobre grandes volúmenes de usuarios, por este motivo, es importante considerar mecanismos, frameworks y herramientas que permitan que la recolección y el procesamiento de esta información se hagan de forma eficiente.

Aparece de esta forma una nueva característica: alta escalabilidad, que en este caso particular se refiere a mantener niveles de eficiencia mientras que los volúmenes del sistema crecen considerablemente. Las dimensiones hacia las cuales puede crecer el sistema es en: número de usuarios, cantidad de dispositivos y cantidad de información recolectada y procesada.

### **COMPUTACIÓN PERVASIVE: SEGURIDAD Y PRIVACIDAD**

Hasta el momento es posible observar que la computación pervasive está realizando un constante perfilamiento del individuo y las acciones que éste realiza. Por consiguiente, es importante establecer claramente mecanismos de seguridad y privacidad ya que es información sensible del usuario la que está en juego.

Un gran número de investigadores han abarcado el tema y han llegado a una serie de prácticas que deben considerarse a la hora de capturar información del individuo. La primera práctica consiste en capturar la información siempre a través de mecanismos de comunicación seguros, de modo que terceros no puedan acceder a esta información.

La segunda práctica consiste en divulgar la información al público siempre de forma anónima, de modo que no se especifique el individuo quien brindó la información, pero si se pueda tomar provecho de los datos a un nivel de comunidad.

La tercera práctica consiste en brindarle herramientas a nivel de interfaz gráfica para que el individuo pueda modificar sus preferencias, de modo que sea el quien decide qué información es utilizada por el sistema y qué información no.

De ahora en adelante se presentará el sistema BUDGIE, desarrollado por el grupo de investigación COMIT en la Universidad de los Andes, el cual ilustra como utilizando correctamente todas las características de la computación pervasiva se puede construir un sistema que mejora la calidad de vida de los individuos.

## **BUDGIE**

Budgie es un sistema pervasivo que identifica patrones de comportamiento en las actividades de los individuos, a partir del monitoreo de información sobre el uso de su dispositivo móvil. Budgie reconoce y se adapta de forma automática cuando hay cambios en dichos patrones. Esto permite generar notificaciones y alertas pertinentes que permiten apoyarlo en su vida diaria.

Budgie está compuesta por dos aplicaciones móviles (una para obtener la información de los sensores del dispositivo y otra para publicar las alertas y recomendaciones pertinentes), un servidor robusto sobre el framework Hadoop MapReduce que infiere patrones de comportamiento en las actividades del usuario y un portal web que permite visualizar los patrones detectados contra la información real junto con los márgenes de error encontrados para cualquier individuo.

Budgie monitorea la información relacionada con la localización del usuario (utilizando el GPS), las redes alcanzables (redes Wi-fi visibles o conectadas), la información de sus calendarios, el perfil de su dispositivo (ya sea ruidoso, silencioso o vibrador) y la información de los procesos que están siendo utilizados en el dispositivo. Esta información se limpia, se cataloga y se procesa para obtener los patrones de comportamiento de las actividades de un individuo.

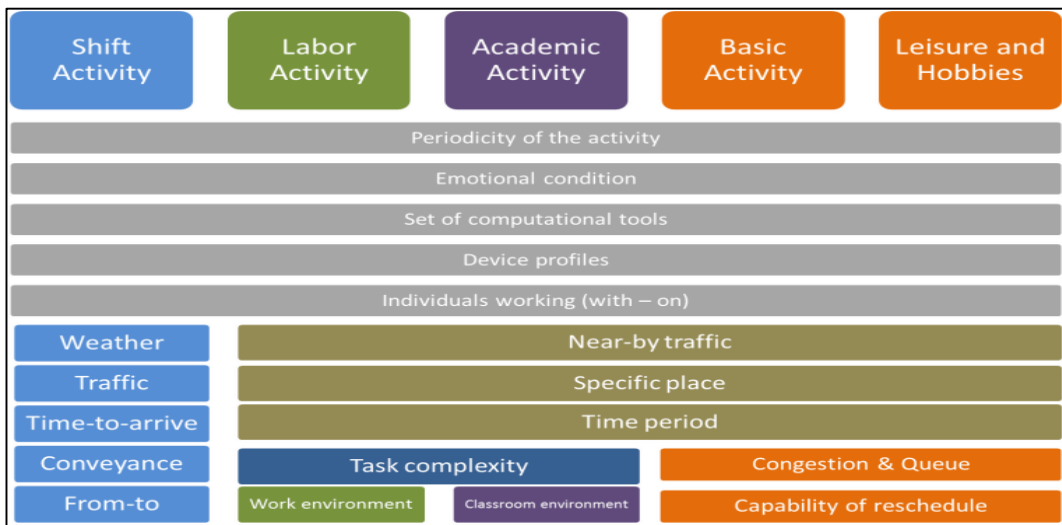
Se recolectan datos experimentales durante más de 3 meses, lo cual permite realizar una sintonización de los parámetros y heurísticas del modelo y se desarrolla una aplicación básica de ejemplo de generación de recomendaciones. Son ejemplos de dichas recomendaciones cambiar a silencio el dispositivo cuando se dispone a entrar a una clase, indicar cuándo es hora de movilizarse para un nuevo sitio de acuerdo con la agenda y desactivar la antena Wi-fi cuando no se utiliza para ahorrar recursos entre otros.

## **MODELO DE BUDGIE**

El objetivo principal del sistema Budgie es la identificación de patrones de comportamiento de los individuos a través de un perfilamiento de las actividades que este realiza. Para cumplir con este objetivo Budgie posee un modelo que se divide en tres etapas: definición de actividad, detección de patrón de comportamiento y generación de alertas y recomendaciones.

La primera etapa define y clasifica las actividades de los individuos en cinco posibles categorías: actividad de trabajo, actividad académica, actividad de transporte, actividad básica y hobbies. (Ver figura 2) Adicionalmente, en la primera etapa, se define un conjunto de 18 variables que son utilizadas para describir completamente una actividad realizada por un individuo.

**Figura 2. Definición de Actividades y Variables en Budgie**



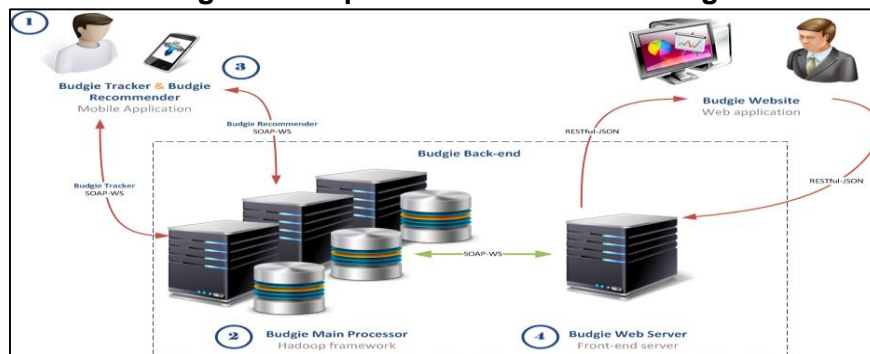
Fuente: Elaboración Propia (2013)

La segunda etapa consiste en obtener patrones de comportamiento a partir de la evolución de las actividades clasificadas y definidas en la primera etapa. Se utilizan algoritmos de pattern matching para detectar patrones sobre un framework hadoop mapreduce con el fin de proporcionar una alta escalabilidad.

En la última etapa, se entregan alertas y recomendaciones basadas en los patrones encontrados en la segunda etapa. Para construir las alertas y las recomendaciones se compara la actividad actual del individuo con la esperada, la brecha entre estos dos estados permite la construcción de recomendaciones.

## ARQUITECTURA E IMPLEMENTACIÓN DE BUDGIE

**Figura 3. Arquitectura General de Budgie**

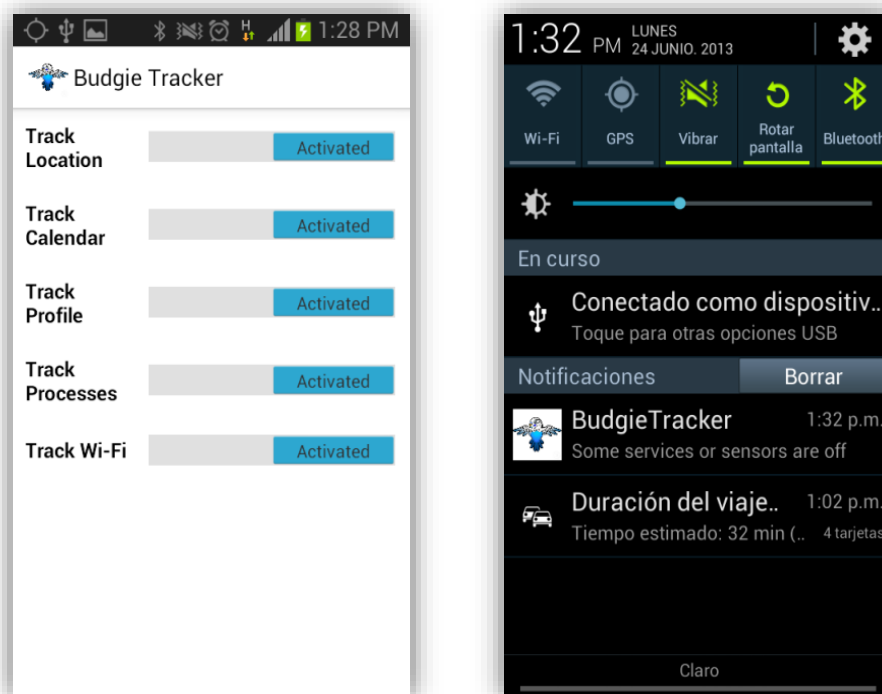


Fuente: Elaboración Propia (2013)

Budgie está compuesto por cuatro sistemas: dos aplicaciones móviles (la primera para capturar la información de los individuos de forma transparente y la segunda para la entrega oportuna de recomendaciones y alertas), un servidor web y un servidor de procesamiento. La figura 3, describe la arquitectura del sistema.

**Budgie Tracker:** es una aplicación móvil desarrollada para android que constantemente obtiene la información resultante de la interacción del individuo con su dispositivo (perfiles de sonido, procesos en uso y calendario) y la interacción del dispositivo con el ambiente (GPS y redes Wi-Fi). La información se sincroniza con el servidor periódicamente, así como lo describe la figura 4.

**Figura 4. Aplicación Budgie Tracker**

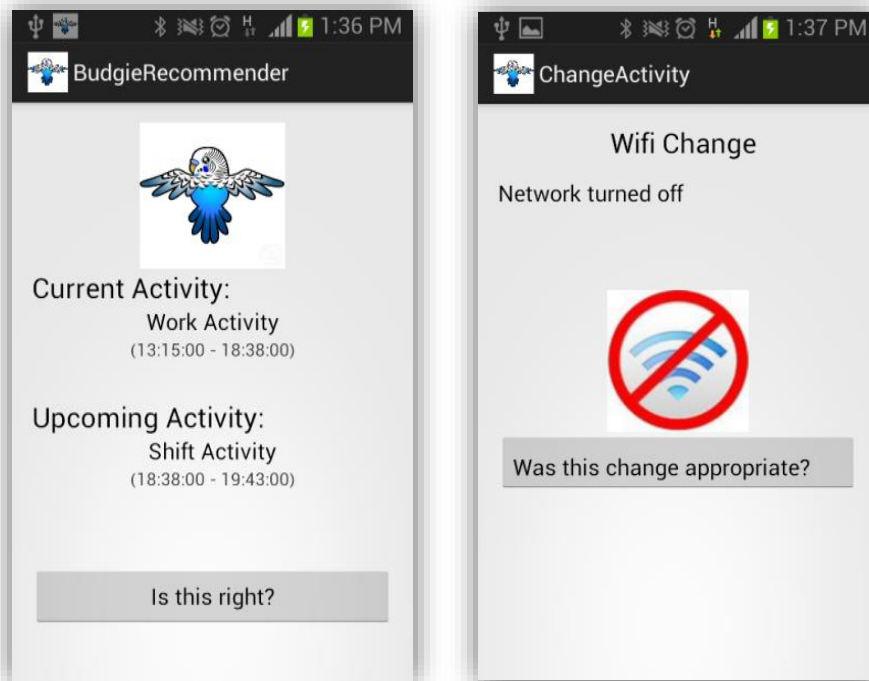


Fuente: Elaboración Propia (2013)

**Budgie Main Processor:** Manipula la información obtenida de cada uno de los dispositivos móviles de los individuos. Este servidor procesa la información para perfilar al individuo, obtener las actividades que este realiza y de esta forma poder capturar sus patrones de comportamiento. Una vez capturados los patrones de comportamiento, se generan las alertas y recomendaciones para cada uno.

**Budgie Recommender Mobile Application:** Es la aplicación móvil que recibe las alertas y recomendaciones generadas por el servidor para entregarlas de forma oportuna al individuo, así como se describe en la figura 5.

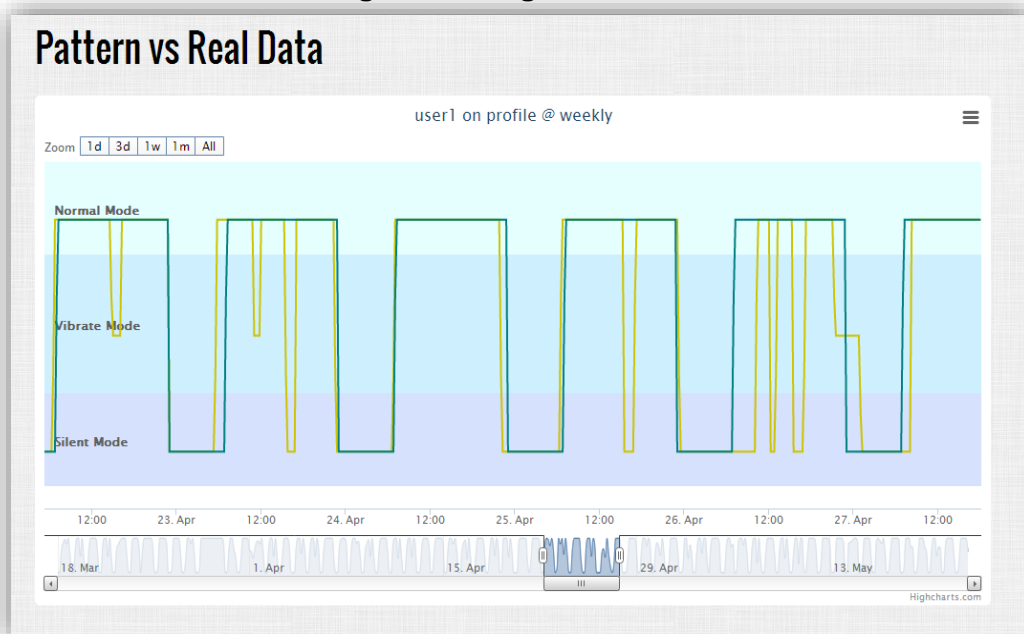
Figura 5. Aplicación Budgie Recommender



Fuente: Elaboración Propia (2013)

**Budgie Web Server** obtiene la información correspondiente a los patrones de comportamientos detectados y permite obtener medidas de eficiencia y precisión de los patrones encontrados.

Figura 6. Budgie Web Server



Fuente: Elaboración Propia (2013)



## RESULTADOS DEL SISTEMA BUDGIE

Budgie se instaló en los dispositivos móviles de 13 individuos en la ciudad de Bogotá y se capturó la información de los sensores por un periodo de 3 meses. En particular se logró detectar patrones de comportamiento de forma exitosa para 3 individuos y se lograron generar las siguientes recomendaciones y alertas de forma satisfactoria: la persona no se encuentra en el lugar que debería, la persona presenta una demora para su próxima actividad, la persona está haciendo uso ineficiente de los recursos del dispositivo, la persona no tiene el perfil de sonido adecuado en su dispositivo y la persona podría utilizar algunas herramientas que mejorarían sus actividades actuales.

## CONCLUSIONES

La computación pervasiva ha evolucionado por más de dos décadas y sistemas robustos, altamente escalables pueden desarrollarse brindando una mejor calidad de vida a los individuos sin que estos perciban la complejidad computacional que hay detrás.

Muchas consideraciones deben tenerse en cuenta para obtener un sistema pervasivo adecuado. En particular, es importante perfilar al individuo y entender completamente su entorno, haciéndolo de forma invisible y entregando servicios de valor agregado. Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que estos sistemas se enfrentan a grupos de usuarios que pueden generar grandes volúmenes de información ya que cuentan con altas cantidades de dispositivos y sensores.

Budgie es un ejemplo de plataforma pervasiva que cumple a cabalidad todas sus características. Hace uso de espacios inteligentes, presenta características de invisibilidad ya que la información es obtenida del usuario sin preguntársela directamente, perfila su comportamiento y la interacción de los dispositivos con el entorno para brindarle servicios que mejoran el desempeño de sus actividades diarias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Ferscha, "20 Years Past Weiser: What's Next?," *Pervasive Computing*, IEEE, vol. 11, no. 1, pp. 52-61, 2012.

A. Henao Chaparro, *Budgie: Identifying Individuals Behavioral-Patterns to Generate Pertinent Alerts in a Pervasive System using Mobile Devices*, Bogotá: Universidad de los Andes, 2013.

A. Schmidt, "Ubiquitous Computing: Are We There Yet?," *Computer*, vol. 43, no. 2, pp. 95-97, 2010.

A. Beresford and F. Stajano, "Location Privacy in Pervasive Computing," *Pervasive Computing*, IEEE, vol. 2, no. 1, pp. 46-55, 2003.

D. Cook and S. Das, "Pervasive computing at scale: Transforming the state of the art," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 8, no. 1, pp. 22-35, 2012.