

Consultas Móviles Conscientes del Contexto: Retos y Oportunidades

Jorge G. Hernández-Calderón, Edgard Benítez-Guerrero, Carmen Mezura-Godoy

Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, Xalapa, México 91020
scholar.gc@gmail.com, edbenitez@uv.mx, cmezura@uv.mx

Resumen. Un Sistema de Información Móvil Consciente del Contexto (SIM-CC) aprovecha el contexto del usuario nómada para proporcionarle información y/o servicios adecuados y oportunos. Este artículo ofrece un panorama general de los trabajos actuales sobre la expresión y el procesamiento de consultas a bases de datos en los SIM-CC, e identifica oportunidades de investigación en estos temas.

Palabras clave. Cómputo consciente del contexto, procesamiento de consultas, cómputo móvil.

1 Introducción

Un Sistema de Información Móvil (SIM) provee a sus usuarios acceso a información y/o servicios en cualquier lugar y en cualquier momento mediante una combinación de tecnologías de cómputo estacionarias y móviles [1]. Por ejemplo, hoy en día son comunes aquellos sistemas que permiten al usuario nómada encontrar un restaurante, reservar un vuelo o un hotel, comprar boletos para el cine o acceder a información empresarial desde su teléfono o tablet. En un ambiente móvil, los sistemas deben enfrentar diversas dificultades, como desconexión de la red, recursos (batería, memoria) limitados, e incluso problemas ligados a la seguridad y la privacidad del usuario.

Los SIM actuales han demostrado su utilidad en diversos ámbitos aplicativos; sin embargo, se espera que en la siguiente generación estos sean "conscientes del contexto". La consciencia contextual es una característica que se le puede dotar a un software, de forma que detecte su contexto de ejecución y lo use para ofrecerles a sus usuarios información y/o servicios adecuados y oportunos. Esta característica puede aplicarse a sistemas estacionarios, ubicuos o, como en este caso, móviles. Por ejemplo, un Sistema de Información Móvil Consciente del Contexto (SIM-CC) sobre restaurantes puede proveerle a un usuario información sobre restaurantes cercanos a su ubicación, considerando que este es el dato contextual relevante a los requerimientos del usuario. Los sistemas conscientes del contexto (particularmente los basados en la ubicación) han proliferado, debido a la posibilidad de acceder a ellos en ambientes móviles y ubicuos.

Es importante señalar que contar con un SIM-CC puede ser ventajoso, pero su desarrollo es un trabajo arduo. Además de tener que realizar las tareas propias del desa-

rollo de software (análisis de requerimientos, diseño, implementación, pruebas), se hace necesario diseñar y poner en operación mecanismos para detectar automáticamente el contexto en el que se está usando el sistema y para utilizarlo. Desde una perspectiva de Bases de Datos, el contexto puede ser usado durante la gestión transaccional (para, por ejemplo, saber qué hacer con una transacción bancaria cuando se está acabando la batería del móvil) o bien durante la consulta de datos (para obtener, por ejemplo, los restaurantes más cercanos a la ubicación del usuario y su móvil).

Una consulta móvil consciente del contexto entonces es una consulta móvil en la que se considera el contexto con el objetivo de obtener resultados que se ajusten mejor a las necesidades del usuario. Las aplicaciones potenciales de este tipo de consultas son numerosas, por ejemplo: buscar los amigos más cercanos, listar las películas que sean del género preferido por el usuario y que sean exhibidas en el centro comercial donde se encuentra o listar las refaccionarias que estén abiertas en este momento. Procesar una consulta de este tipo requiere resolver varios problemas, que van desde recuperar el contexto actual, hasta utilizarlo en la consulta y en su procesamiento. Este documento presenta un panorama general del procesamiento de consultas móviles conscientes del contexto, identificando los retos y las oportunidades de investigación en esta área.

El resto de este documento se encuentra organizado de la siguiente manera. Primero, se presentan una serie de conceptos generales. Después, se presenta un marco de referencia para las consultas conscientes del contexto y su procesamiento, para posteriormente presentar oportunidades de investigación identificadas a partir de ese marco general. Finalmente, se concluye este documento.

2 Conceptos generales

Esta sección presenta brevemente algunos conceptos generales sobre el contexto y sus características, así como sobre los sistemas conscientes del contexto.

2.1 Contexto y sistemas conscientes del contexto

No existe una única definición de contexto. Diversos autores lo definen de manera diferente para diferentes propósitos, por ejemplo, una definición típica es la de “cualquier información usada para caracterizar la situación de una entidad, siendo una entidad una persona, lugar o cosa que se pueda considerar relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación” [3]. Una definición alternativa, desde el punto de vista del manejo y la administración de los datos es la propuesta por que indica que el contexto es “la situación bajo la cual un usuario accede a una base de datos” [5].

Independientemente de cómo se defina al contexto, éste se caracteriza como un conjunto de datos relacionados al usuario y a su entorno. Estos datos pueden ser recuperados de fuentes de datos físicas, como los sensores, o lógicas, como la agenda del usuario. La Tabla 1 muestra algunos ejemplos de tipos de datos contextuales, así como sus posibles fuentes. Cabe señalar que, en el caso de los datos contextuales “lógicos”, como el estado de ánimo del usuario o la actividad que éste realiza, se han

hecho propuestas para determinarlo automáticamente a partir de datos obtenidos de sensores físicos, pero el problema aún no ha sido completamente resuelto.

Tabla 1. Clasificación de los datos contextuales.

	Tipo de dato contextual	Fuente
Fuente física	Ubicación	GPS
	Tiempo	Reloj
	Luz ambiental	Fotómetro
	Ruido	Micrófono
	Proximidad	Sensor de proximidad
	Velocidad	Acelerómetro
	Dirección	Brújula
	Posición del dispositivo	Giroscopio
Fuente Lógica	Contactos de usuario	Agenda de contactos
	Estados de ánimo	Perfil del usuario
	Actividades	Correo electrónico/agenda

Por su parte, un Sistema de Información Móvil Consciente del Contexto es un SIM que aprovecha los datos contextuales. En los SIM-CC, el contexto se emplea para diversos propósitos, que van desde adaptar interfaces de usuario, entrelazar datos, mejorar la precisión de la información entregada al usuario hasta descubrir servicios. Así mismo, las características presentes en estos sistemas pueden ser todas o algunas de las siguientes [8]:

1. Autonomía para operar con la intervención mínima del usuario.
2. Proactividad para manejar el contexto actual pero también para actuar en anticipación de metas o problemas.
3. Reconocimiento de otros dispositivos en proximidad.
4. Provisión transparente de servicios de localización para usuarios nómadas.

En la actualidad es posible identificar un número creciente de SIM-CC; en [4] estos sistemas se categorizan en dos clases: (i) de uso personal cotidiano, como teléfonos móviles conscientes del contexto, administración de información personal o aprendizaje móvil, y, (ii) sistemas orientados a servicios ofrecidos por instituciones dentro de una área geográfica específica; por ejemplo, guías de turistas, publicidad móvil, o de apoyo al cuidado de la salud.

2.2 Características de los datos contextuales

En [2] se identifican categorías de datos contextuales comúnmente modeladas: tiempo, espacio, sujeto del contexto, perfil de usuario e historial del contexto. El tiempo y el espacio son significativos para los SIM-CC, ya que el contexto varía no solo en función del tiempo, sino también con respecto a la ubicación de los usuarios. El sujeto de contexto se refiere al punto de vista empleado para describir el contexto, ya sea desde la perspectiva del usuario o de la aplicación. El perfil del usuario se considera como parte del contexto, ya que hay variaciones en la forma de representar un

perfil y asignarlo a un usuario, ya sea por medio de roles o de manera individual. Finalmente, el historial de contexto se modela para reconocer comportamientos del usuario al paso del tiempo.

Los datos contextuales se caracterizan por tener las siguientes propiedades [7]:

- **Naturaleza estática/dinámica.** Los datos contextuales pueden ser estáticos como un nombre de usuario, o dinámico como la ubicación.
- **Imperfección.** Pueden ser erróneos, ambiguos, indisponibles o incompletos. Por ejemplo, no es tan sencillo obtener la ubicación exacta de un dispositivo móvil y así se vuelve incierto.
- **Diferentes niveles de precisión.** Los datos contextuales pueden ser descritos a diferentes niveles de precisión; por ejemplo, la ubicación puede ser descrita como una coordenada geográfica o como un código postal.
- **Derivación.** Se pueden derivar a partir de otros; por ejemplo, se puede derivar el nombre de la ciudad en la que se encuentra un usuario a partir de una coordenada geográfica.
- **Cambios discretos/continuos.** Los datos contextuales pueden cambiar de forma discreta, como un cambio de actividad de un usuario o modificaciones a su perfil, o de forma continua, como el nivel de ruido en el ambiente. Cabe mencionar que hay datos que se pueden manejar tanto de forma discreta como continua, y su uso dependerá del tipo de aplicación que los utiliza, por ejemplo, la ubicación puede representarse en ambas modalidades, continua como coordenadas geográficas o discreta como un código postal.

2.3 Arquitectura conceptual de un SIM-CC

Las funciones que un SIM-CC debe implementar para ser considerado como consciente del contexto son la adquisición, la organización y la administración y uso de los datos contextuales. La figura 1 muestra la arquitectura conceptual típica de un SIM-CC [1].

En el extremo izquierdo de la figura 1 se encuentran las fuentes de datos contextuales, que son potencialmente heterogéneas, exponiendo cada una de ellas los datos en su propio formato y proveyendo cada una su propio método de acceso, y autónomas, actuando independientemente una de la otra. En un SIM-CC, el componente responsable de la adquisición del contexto tiene que interactuar con las fuentes de datos para coleccionar los datos contextuales básicos, transformarlos (de ser necesario) y producir información contextual nueva de más alto nivel.

Al centro de la figura 1 se pueden encontrar aspectos relacionados al almacenamiento, gestión y consulta de datos contextuales. Cabe señalar que la Base de Datos Contextuales es un componente lógico en la arquitectura y que puede o no ser materializada físicamente. En todo caso, se considera que tal base requiere de un modelo para representar los datos y un lenguaje de consulta asociado.

En el extremo derecho de la figura 1 lo relativo al uso del contexto. Desde el punto de vista de la gestión de datos móviles, el contexto puede ser empleado durante la expresión y procesamiento de consultas, así como para la gestión transaccional. Con

respecto a la consulta de bases de datos, el contexto puede ayudar a obtener resultados que se ajusten mejor a las necesidades del usuario; por ejemplo, si un usuario hace una consulta sobre restaurantes, es probable que le interesen aquellos que están cercanos a su ubicación; así, una consulta convencional se puede convertir en una donde el contexto sea considerado para darle información potencialmente más útil. Por otra parte, el uso del contexto puede ayudar a mejorar la tasa de transacciones exitosamente validadas (*committed*), al tratar con la variabilidad del ambiente móvil.

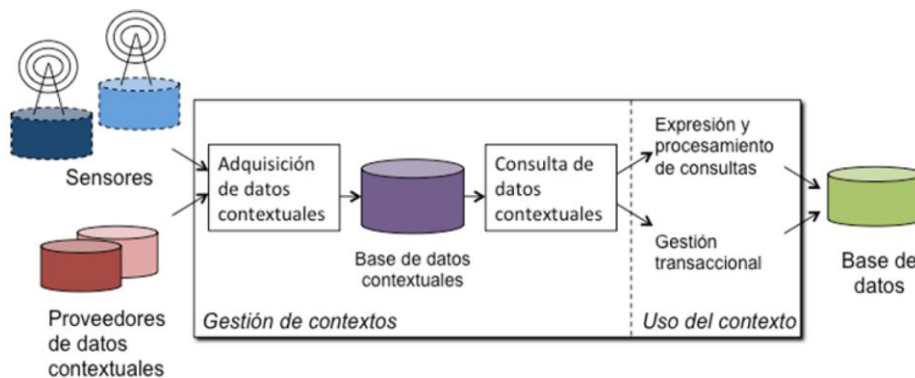


Fig. 1. Arquitectura conceptual de los SIM-CC [1].

3 Consultas móviles conscientes del contexto y su procesamiento

Esta sección presenta los tipos de consulta que se pueden ejecutar en un ambiente móvil, así como el procesamiento tradicional de consultas conscientes del contexto.

3.1 Tipos de consultas y modos de ejecución

Las consultas que se pueden ejecutar en un ambiente móvil pueden dividirse en dos grandes tipos: las no relativas al contexto y las conscientes en el contexto. El primer tipo son consultas tradicionales independientes del contexto (por ejemplo “recuperar los artículos vendidos en el mes”). El segundo tipo se refiere a las consultas cuyo resultado dependerá del contexto del usuario; por ejemplo “recuperar los restaurantes más cercanos”. Es precisamente la ubicación la que ha sido más utilizada como dato contextual, aunque este, para ciertas aplicaciones, puede resultar irrelevante (por ej. “listar los nombres de los artículos que puedan ser útiles a la discusión que tengo ahora con mis colegas”).

Los modos de ejecución de una consulta (independientemente si es o no consciente del contexto) son dos: discreto (también llamado *snapshot*) y continuo. En el modo discreto una consulta se ejecuta una sola vez, mientras que en el modo continuo una consulta se sigue ejecutando ya sea a intervalos regulares de tiempo o cuando nuevos datos llegan a formar parte del resultado de la consulta. Por ejemplo, la ejecución de

“buscar los hoteles más cercanos a mi ubicación” daría, en modo discreto, los datos de los hoteles que cumplan con la condición en el punto geográfico en el que se hizo la consulta, mientras que la consulta “reportar cada 5 minutos los hoteles más cercanos a mi ubicación”, en modo continuo, regresaría los hoteles que cumplan la condición en el tiempo especificado.

3.2 Procesamiento de consultas conscientes del contexto

El procesamiento de consultas tradicionales ha sido plenamente estudiado en el área de Bases de Datos, donde se han propuesto técnicas de análisis sintáctico y semántico, así como de optimización heurística y basada en costos, para tratar consultas a bases de datos locales y distribuidas. Más recientemente, dichas técnicas se han extendido para procesar consultas en ambientes móviles, donde las desconexiones no se tratan como errores, sino más bien como una característica normal del ámbito móvil. Por su parte, el procesamiento de consultas conscientes del contexto comienza a ser estudiado.

La figura 2 muestra un marco general para el procesamiento de consultas conscientes del contexto propuesto en [5]. Cabe señalar que esta propuesta fue originalmente realizada para ambientes ubicuos pero es lo suficientemente general como para aplicarla a ambientes estacionarios y móviles. En la figura 2 se puede observar que una consulta q (por ejemplo, “listar información sobre restaurantes”), independientemente del lenguaje en el que esté escrita (por ej. SQL), pasa por tres etapas: pre-procesamiento, ejecución y post-procesamiento.

En la etapa de pre-procesamiento, el Coordinador de Consultas Conscientes del Contexto refina q con restricciones generales descritas en términos de atributos contextuales para obtener una consulta q' (por ej., “listar información sobre restaurantes en 100 metros a la redonda de mi posición P ”). Dicha consulta q' es convertida en q'' asignando valores concretos a los atributos contextuales (por ej., “listar información sobre restaurantes en 100 metros a la redonda de mi posición $\langle 20 N, -98 O \rangle$ ”); los valores concretos son proporcionados por el Administrador de Contextos, que es el encargado de recuperar y gestionar datos contextuales. En la etapa de ejecución, la consulta q'' es enviada a las bases de datos públicas, a través del Comunicador con Servidores de Bases de Datos, para obtener la respuesta correspondiente. La etapa de post-procesamiento comienza cuando la respuesta a la consulta está lista para entregarse al usuario. Primero, el resultado a es ordenado de acuerdo al contexto para obtener a' (por ej., los restaurantes listados de acuerdo a la distancia a la posición del usuario), para finalmente entregarle este resultado al usuario de acuerdo al contexto (por ej. si está manejando, el resultado podría ser “leído” por el móvil utilizando una función de síntesis de voz).

Cabe señalar que esta propuesta de marco de referencia es importante porque identifica explícitamente los elementos necesarios para procesar una consulta consciente del contexto. Sin embargo, existen un conjunto de problemas que no se consideran, los cuales se discuten en la siguiente sección.

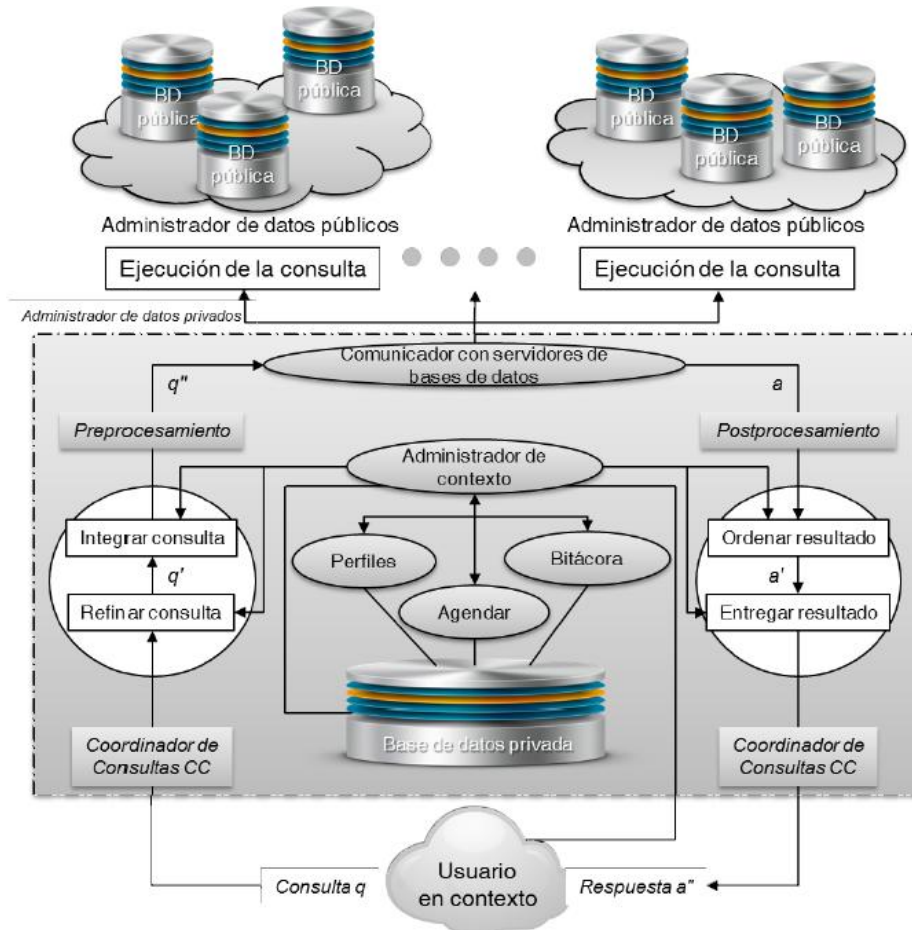


Fig. 2. Procesamiento de Consultas Conscientes del Contexto [5].

4 Retos y oportunidades detectados

Esta sección identifica retos y oportunidades relacionados con las consultas móviles conscientes del contexto y su procesamiento, particularmente en lo que respecta a la adquisición y consulta del contexto así como el procesamiento de consultas ante cambios contextuales a nivel de disponibilidad de recursos de cómputo o a nivel de aspectos del propio usuario y sus necesidades.

4.1 Adquisición y consulta del contexto

Uno de los problemas fundamentales de los sistemas conscientes del contexto es la adquisición del mismo. En algunos casos, los datos contextuales requeridos pueden ser relativamente fáciles de obtener (p. ej., los cambios de posición en el espacio de

un dispositivo móvil por medio de un acelerómetro), pero en otros casos, como por ejemplo la actividad realizada por el usuario, se vuelve más difícil. En todo caso, como se mencionó anteriormente, estos provienen de múltiples fuentes cuya heterogeneidad y autonomía hacen que se vuelva difícil tener datos integrados en el formato requerido en el momento oportuno. Una posible solución que ha sido propuesta es la de establecer una infraestructura para la adquisición del contexto. En la actualidad, existen varias propuestas las cuales ofrecen APIs para que las aplicaciones hagan uso de los datos contextuales que captan e infieren. Sin embargo, no existe un método de acceso uniforme que pueda ser aprendido una vez por los desarrolladores de sistemas y utilizado sin importar diferencias entre infraestructuras y/o fuentes¹.

Dada esta situación, el considerar que lógicamente existe una base de datos contextuales que puede ser accedida mediante un lenguaje de consulta estándar (como indicado en la figura 1) parece una solución razonable. Esta situación ha comenzado a ser estudiada y varios modelos y sistemas de bases de datos (lógicos, relacionales, semi-estructurados, entre otros) se han propuesto para organizar y almacenar tal base [2]. No obstante, aun hacen falta trabajos que investiguen la expresión y la ejecución de consultas discretas y continuas sobre la base de datos contextuales que traten con la imperfección y los diferentes niveles de derivación de estos.

4.2 Cambios en el contexto de cómputo

En un sistema móvil, tradicionalmente se usa una arquitectura cliente-servidor en el que al realizar una consulta desde el dispositivo móvil, ésta se envía al servidor para su procesamiento y los resultados son enviados al móvil. Este esquema ha sido ampliamente utilizado dadas las limitaciones en cuanto a recursos (batería, memoria y procesador) de los dispositivos móviles de gama baja. Dado que el ambiente en el que se realiza este proceso es móvil, surgen complicaciones tales como estados de conexión inconsistentes, insuficiente ancho de banda, falta de cobertura, elevados costos de transmisión de datos, etc. En este momento, la arquitectura cliente-servidor se vuelve ineficiente, ya que al realizar consultas de esta manera se corre el riesgo de no recibir respuesta alguna.

Una posible solución sería la de permitir que el dispositivo móvil participe en el procesamiento de la consulta, por ejemplo derivando datos localmente o incluso calculando respuestas aunque sea parciales. Esto es posible dado que los dispositivos actuales de gama media y alta cuentan con recursos suficientes para participar; sin embargo, aún se debe considerar que la batería o el tiempo de CPU pueden no ser suficientes y esto debe considerarse en el procesamiento de la consulta [6]. En este momento se hacen necesarias estrategias que utilicen adecuadamente los recursos en el móvil y en el servidor, teniendo que cambiar el lugar de la ejecución de una consulta incluso en tiempo de ejecución. Un primer esfuerzo en este sentido se encuentra en [9].

¹ Esta situación se torna similar a la que se tenía en los años 1960s cuando no existían aún los sistemas de gestión de bases de datos y existían diferentes clases de sistemas de archivos.

4.3 Cambios en el contexto del usuario

Este problema se refiere al hecho de que el contexto (mental, físico, social) del usuario también es cambiante. Supóngase que se emplea la ubicación como dato de contexto para una aplicación. Si el usuario realiza una consulta Q cuando está en un punto A mientras se dirige a un punto B, cuando lleguen los resultados de Q a B estos serán válidos para A, pero no así para B, lo que provocaría frustración en el usuario porque los datos no satisfacen sus requerimientos. Luego, es necesario incluir el cambio de ubicación cuando se procesa la consulta [6]. En [10] se propone un algoritmo que permite considerar esta situación incluyendo la proyección de futuras ubicaciones del usuario buscando minimizar el impacto del cambio de ubicación. Investigaciones que generalicen estos resultados para considerar no tan solo a la ubicación sino a cualquier otro tipo de dato contextual, como el estado de ánimo del usuario, sus actividades o las personas con las que se encuentre o interactúe, son necesarias.

5 Conclusión

Este documento muestra el estado del arte del procesamiento de consultas conscientes del contexto para la consulta efectiva de información en sistemas móviles. La idea es básicamente extraer información transparentemente para que, al momento de que el usuario realice una consulta, ésta pueda ser complementada con información de su contexto para devolverle resultados relevantes en un momento dado. Sin embargo, aparte de las inherentes dificultades propias de los ambientes móviles, se hace necesario tratar con problemas propios a la consciencia contextual, como lo son la adquisición y consulta del contexto así como el procesamiento de consultas ante condiciones contextuales cambiantes. En el primer caso, se hacen necesarios mecanismos que permitan el acceso homogéneo y uniforme a múltiples fuentes de datos contextuales potencialmente heterogéneas y autónomas; en este momento, el considerar una base de datos contextuales (virtual o física) con un lenguaje de consulta (y su procesador asociado) capaz de contender con la naturaleza de los datos contextuales parece una solución prometedora. En el segundo caso, se hace necesario adaptar el procesamiento de consultas tradicional para que pueda tratar cambios contextuales repentinos y de esta forma se entreguen a los usuarios resultados que sean válidos y/o oportunos en nuevos contextos. Resolver estos problemas permitirá construir los sistemas móviles conscientes del contexto del futuro.

Reconocimientos

Este trabajo es parte del proyecto "Herramientas para la gestión de datos en sistemas móviles dependientes del contexto"(ref. CONACYTSEP 83619). El primer autor es apoyado por CONACYT (beca no. 350127).

Referencias

1. Benítez-Guerrero, E.: Context-Aware Mobile Information Systems: Data Management Issues and Opportunities. In: Proc. of the 2010 Int. Conference on Information & Knowledge Engineering (IKE 2010). pp. 127–133. CSREA Press, Las Vegas, USA (2010).
2. Bolchini, C., Curino, C.A., Quintarelli, E., Schreiber, F.A., Tanca, L.: A Data-Oriented Survey of Context Models. *ACM SIGMOD Record* 36(4) (2007).
3. Dey, A., Abowd, G.: Towards A Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: CHI 2000 Workshop on the What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness. pp. 304–307 (2000).
4. Dongsong, Z., Adipat, B., Mowafi, Y.: User-Centered Context-Aware Mobile Applications: The Next Generation of Personal Mobile Computing. *Communications of the Association for Information Systems* 24(3), 27–46 (Dec 2009).
5. Feng, L., Apers, P.M., Jonker, W.: Towards Context-Aware Data Management for Ambient Intelligence. In: Proc. of DEXA '04. pp. 422–431 (2004).
6. Grine, H., Delot, T., Lecomte, S.: Adaptive Query Processing in Mobile Environments. In: Proc. of the 3rd Int Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-hoc Computing. pp. 1–8. MPAC '05, ACM, New York, NY, USA (2005).
7. Haghghi, P.D., Zaslavsky, A., Krishnaswamy, S.: An Evaluation of Query Languages for Context-Aware Computing. In: Proc. DEXA 2006. pp. 455–462 (2006).
8. Hong, J.Y., Suh, E.H., Kim, S.J.: Context-Aware Aystems: A Literature Review and Classification. *Expert Systems and Applications* 36(4), 8509–8522 (May 2009).
9. Iglesias, J., Bernardos, A., Alvarez, A., Sacristan, M.: A Light Reasoning Infrastructure to Enable Context-Aware Mobile Applications. In: 2010 IEEE IFIP Int. Conf. on Embedded and Ubiquitous Computing. pp. 386–391 (2010).
10. Mokbel, M.F., Xiong, X., Aref, W.G.: SINA: Scalable Incremental Processing of Continuous Queries in Spatio-Temporal Databases. In: Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD international conference on Management of data. pp. 623–634. SIGMOD '04, ACM, New York, NY, USA (2004).