

UNA REVISIÓN CRÍTICA A LA LITERATURA DE MODELADO SEMÁNTICO DE CONTEXTO

A CRITICAL LITERATURE REVIEW OF SEMANTIC CONTEXT MODELLING

Libia Denise Cangrejo Aljure
Universidad Nacional de Colombia.
ldcangrejoa@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-8653-4393>

Tatiana Delgado Fernández
Universidad Tecnológica de La Habana
tatiana.delgado@uic.cu
<https://orcid.org/0000-0002-4323-9674>

Néstor Eliecer Manosalva
Universidad Nacional de Colombia
nemanosalvab@unal.edu.co
<http://orcid.org/0000-0002-2508-3688>

Recibido: 22 de octubre de 2022
Revisado: 4 de noviembre de 2022
Aprobado: 27 de febrero de 2023

Cómo citar: Cangrejo Aljure, L.D; Delgado Fernández, T; Eliecer Manosalva, N; (2023). Una Revisión Crítica a la Literatura de Modelado Semántico de Contexto. *Bibliotecas. Anales de Investigación*;19(1), 1-18

RESUMEN

Objetivo. La investigación tuvo como propósito encontrar los pilares conceptuales, la distribución temporal y las escuelas más reconocidas de modelado de contexto semántico, los principales aportes de la comunidad internacional en las fases de su diseño y las herramientas semánticas más utilizadas en este ámbito. **Diseño/Metodología/Enfoque.** Se empleó una metodología de revisión sistemática de literatura, acotada a una ventana de tiempo entre 2005 y 2019, que incluye las fases Planeación y Conducción, soportada en las bases de datos SCOPUS y ScienceDirect. **Resultados/Discusión.** Se identifican los principales elementos que conforman la base conceptual de los modelos de contexto que tienen enfoque semántico; así como, las tecnologías semánticas mayormente empleadas. **Conclusiones.** A través de esta investigación se revelan nuevas miradas al modelado de contexto basado en tecnologías semánticas, demostrándose la capacidad para reconocer las variables del entorno y propiciar una adaptación o reacción de las aplicaciones y la tecnología ubicua a tal situación en beneficio del usuario. **Originalidad/Valor.** Los resultados obtenidos se pueden utilizar para investigaciones y estudios de estados, posicionamiento y usabilidad de los conceptos asociados a modelado semántico de contexto.

PALABRAS CLAVE: Modelo de contexto, semántica, sensibilidad al contexto, revisión sistemática

ABSTRACT

Objective. The purpose of the research was to find the conceptual pillars, the temporal distribution and the most recognized semantic context modeling schools, the main contributions of the international community in the phases of its design and the most used semantic tools in this field. **Design/Methodology/Approach.** A systematic literature review methodology was used, limited to a time window between 2005 and 2019, which includes the Planning and Conduction phases, supported by the SCOPUS and ScienceDirect databases. **Results/Discussion.** The main elements that make up the conceptual basis of the context models that have a semantic approach are identified; as well as the most used semantic technologies. **Conclusions.** Through this research, new perspectives on context modeling based on semantic technologies are revealed, demonstrating the ability to recognize environment variables and promote an adaptation or reaction of applications and ubiquitous technology to such a situation for the benefit of the user. **Originality/Value.** The results obtained can be used for research and studies of states, positioning and usability of the concepts associated with semantic context modeling.

KEYWORDS: context model, semantics, context-awareness, systematic review

INTRODUCCIÓN

La necesidad de gestionar eficientemente los datos provenientes del creciente número de sensores en la denominada Internet de las Cosas, para afrontar adecuadamente los problemas que surgen de la heterogeneidad, el dinamismo y el tamaño de los datos, plantea diferentes retos a la comunidad científica. Algunos de tales retos están asociados a la contextualización, representación e interoperabilidad semántica de estos datos complejos.

El contexto juega un papel esencial en el aprovechamiento de la información sobre las situaciones y en proveer adaptabilidad a las aplicaciones (Pradeep & Krishnamoorthy, 2019) y particularmente las aplicaciones móviles sensibles al contexto y de contextos ubicuos, propias de un entorno IoT.

De cara a la perspectiva semántica, es interesante el trabajo de Chaari et al (2007) con el contexto que aporta los conceptos de predicado y valor para representar la situación de un sujeto respecto a una propiedad específica. Así, para cada propiedad del entorno se tiene la triada (Sujeto, Predicado, Valor), que suele escribirse como Predicado (Sujeto, Valor), tal como se representa el contexto con RDF (Chaari, Ejigu, Laforest, & Scuturici, 2007).

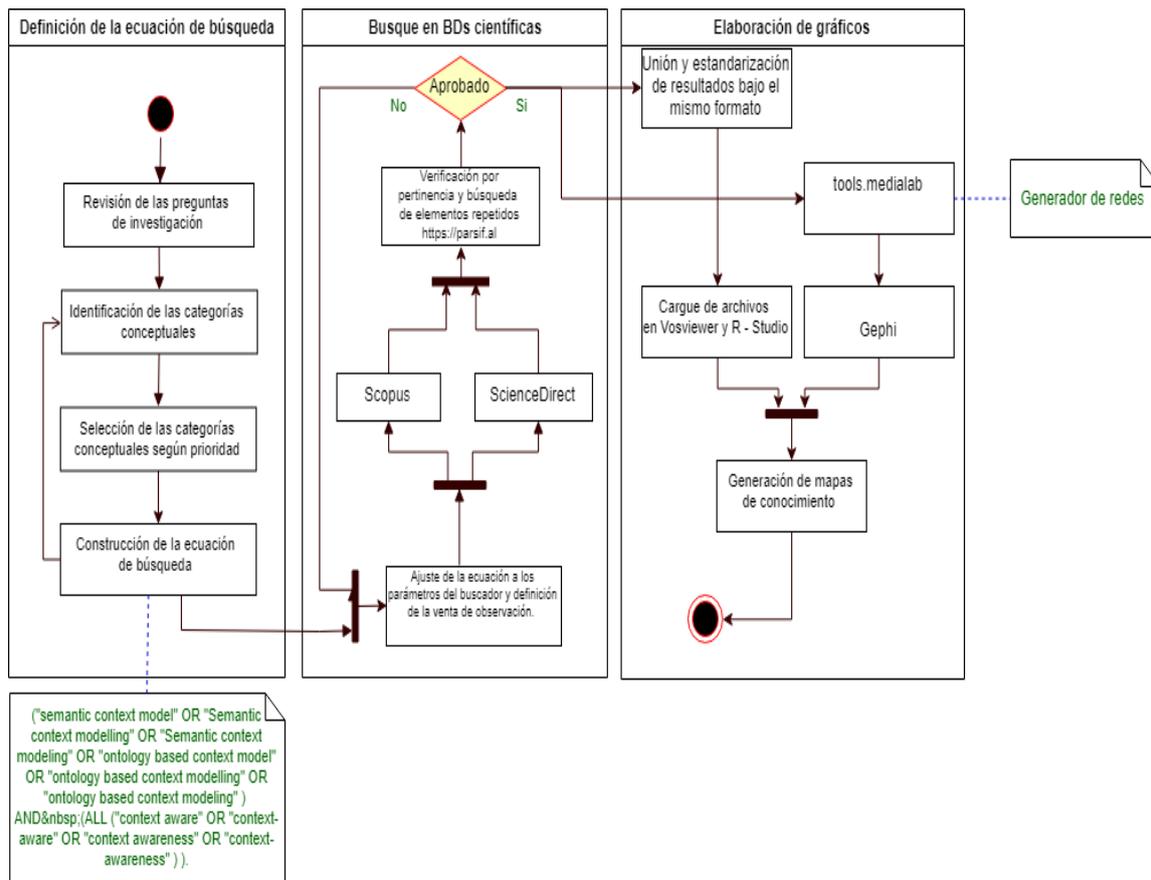
En este entorno, se presenta una revisión sistemática de literatura en modelado de contexto basado en herramientas semánticas, para el intervalo temporal comprendido entre el año 2005 y el 2019. Se pretende con este estudio contribuir a enriquecer el cuerpo de conocimiento existente en el modelado semántico de contexto, mejorar la comprensión acerca de su evolución e identificar las fronteras conceptuales actuales.

Para ello, se propone inicialmente una metodología con una estrategia de búsqueda bien fundamentada para soportar la revisión. Seguidamente, y siguiendo la metodología se abordan las fases: Planeación y Conducción propuestas por la literatura (Kitchenham & Charters, 2007) y en (Caro, 2005), para finalmente desarrollar la fase de análisis y reporte que responde y fundamenta las preguntas de investigación planteadas. Finalmente se contrastan los hallazgos con evidencias de los últimos tres años para corroborar que los hallazgos obtenidos son sólidos y vigentes.

METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Esta revisión sistemática plantea una metodología de revisión sistemática de literatura (SRL, por sus siglas en inglés) consistente con las fases propuestas en (Kitchenham & Charters, 2007) y en (Caro, 2005), considerados clásicos en este tipo de estudio. Se agregan variaciones menores en consideración a los intereses particulares que demanda la investigación. Este proceso se llevó a cabo en tres fases: Planeación, Conducción y Reporte, las cuales son presentadas en el diagrama de la Figura 1, con los pasos y tareas de cada fase.

Figura 1. Proceso metodológico aplicado en la revisión sistemática de estudios primarios de modelos de contexto con perspectiva semántica



Planeación y conducción del SRL

Paso 1: Formulación de Preguntas de Investigación:

Para formular las preguntas de investigación se utilizó la metodología PICOC (Petticrew, Mark and Roberts, 2006), por sus siglas en inglés: *Population, Intervention, Comparison, Outcome* y *Context*, así:

- *Population*: Modelos de contexto (*context model*)
- *Intervention*: Semántica (*semantics*)
- *Comparison*: Datos abiertos enlazados (*Linked Open Data – LOD*)
- *Outcome*: Serán determinados en el estudio
- *Context*: Sensibilidad al contexto (*context aware*)

Partiendo de este enfoque, se consideraron cuatro preguntas de investigación, las cuales se presentan en la Tabla 1 y están orientadas a los siguientes propósitos: i) establecer la distribución de los modelos propuestos en la ventana de tiempo definida; ii) reconocer la distribución geográfica de las iniciativas revisadas y sus principales autores; iii), identificar los principales elementos que se evidencian como soporte conceptual de los modelos que tienen enfoque semántico y iv) identificar las herramientas semánticas más utilizadas en las iniciativas revisadas.

Tabla 1. Preguntas de Investigación para la RSL

Preguntas de investigación

Preguntas

RQ1. ¿Cómo se distribuye el trabajo de modelado de contexto apoyado en herramientas semánticas, desde una visión temporal?

Interés y motivación

Identificar la distribución temporal y posibles tendencias que registran las iniciativas identificadas, para incorporar las herramientas semánticas al modelado de contexto.

RQ2. En dónde se ubica el mayor desarrollo, según las propuestas en el campo del modelado de contexto semántico y quiénes han sido sus autores principales.	Identificar los países de origen de las publicaciones en el campo, además de los principales actores que se identifican según su producción académica y de investigación.
RQ3. ¿Cuáles son las bases conceptuales que soportan el modelado de contexto con herramientas semánticas?	Identificar mediante análisis de coocurrencia de términos en el resumen y palabras claves, aquellos campos conceptuales sobre los cuales se está construyendo conocimiento de modelado de contexto.
RQ4. ¿Cuáles herramientas semánticas fueron más usadas para la gestión de información contextual en los modelos propuestos?	Identificar la mayor incidencia de las herramientas semánticas alternativas, en la formulación de modelos de contexto

Paso 2: Palabras clave y ecuación de búsqueda

Siguiendo la metodología, se definió una ecuación de búsqueda inspirada en la de investigación planteadas para la SLR, pero adicionalmente basadas en las 10 categorías conceptuales que hacen parte de manera esencial en este trabajo de investigación como refleja la Tabla 2.

Tabla 2. Palabras claves y ecuación de búsqueda del SRL

criterio	Palabras Clave	Sinónimos o términos alternativos
POPULATION	<i>Context model</i>	"context modeling", context modelling"
INTERVENTION	<i>Semantic</i>	"semantic context model", "Semantic context modelling", "Semantic context modeling"; "ontology based context model", "ontology based context modelling", "ontology based context modeling", "context ontology"; "semantic annotation", "context annotation"
CONTEXT	<i>Context awareness</i>	"context aware"

Ecuación de Búsqueda:

*TITLE-ABS-KEY ("context model" OR "context modeling") AND
ABS (("context aware" OR "context awareness" OR "semantic context
model" OR "ontology based
context model") AND ("ontology" OR "semantic"))*

Paso 3. Definición de Fuentes Bibliográficas

La búsqueda automática para la ecuación de búsqueda definida, se realizó en las bases de datos científicas Scopus¹ y Science Direct².

En esta fase se definieron y aplicaron los filtros necesarios para depurar el corpus que será sujeto de análisis y generación de resultados. Por tanto, se incluyen aquí los criterios por ventana de observación temporal, por tipo de publicación y por idioma en el que fueron publicados los estudios primarios que arrojó la búsqueda automática.

Paso 4: Selección de Criterios

Luego de definir tanto las fuentes bibliográficas a considerar, como las palabras clave y la ecuación de búsqueda, se llevó a cabo la correspondiente exploración automática, la cual arrojó 461 estudios primarios en los gestores bibliográficos, 372 en Scopus y 89 en ScienceDirect respectivamente. Para

¹ Disponible en <http://www.scopus.com>

² Disponible en <http://www.sciencedirect.com>

estos resultados se definieron los filtros a aplicar, teniendo en cuenta los criterios que se exponen a continuación:

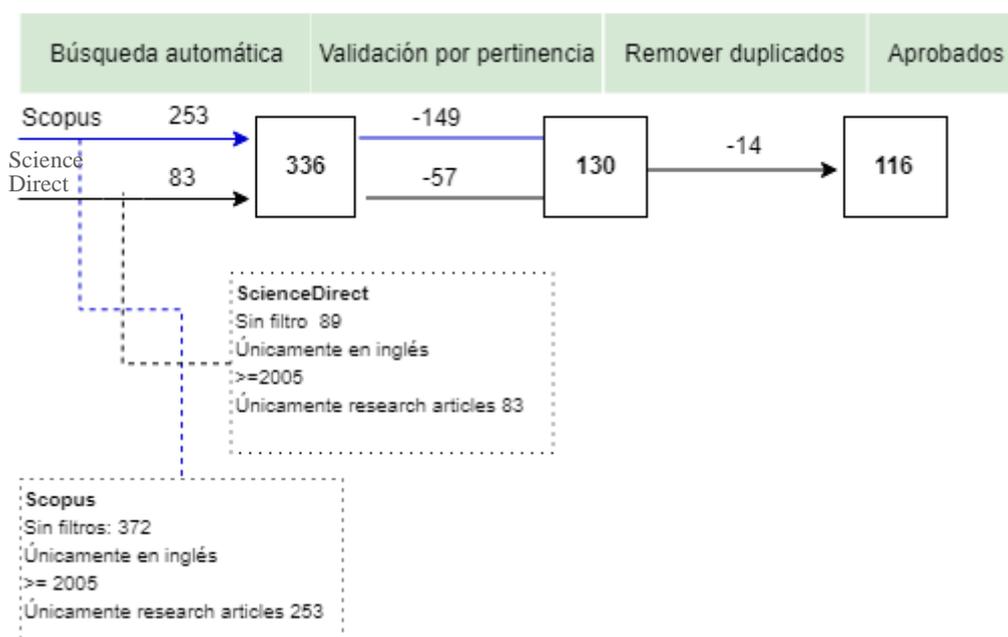
- . Filtro por ventana temporal de observación: Teniendo en cuenta los hitos tecnológicos y la experiencia previa en relación con en la evolución del campo, se definió como ventana de observación temporal, el período comprendido entre el año 2005 y el 2019.

- . Filtro por tipo de publicación: Dado el interés de este estudio en identificar los trabajos relevantes, que constituyen el cuerpo de conocimiento de la comunidad científica y académica en modelado de contexto a partir de un enfoque semántico, se limitó la selección a aquellos artículos de carácter investigativo, dejando por fuera capítulos de libros, *reviews* o *surveys* (que son parte de la segunda parte de esta revisión, por ser estudios secundarios) y editoriales.

- . Filtro por idioma: El último filtro aplicado a esa selección inicial, resultado de la recuperación automática con la ecuación de búsqueda, restringió el universo a los artículos publicados en idioma inglés.

La aplicación de los tres filtros, dejó como resultado un corpus de 336 artículos, de los cuales 253 provenían de Scopus y 83 de Science Direct. El proceso completo que incluye estos criterios de inclusión y demás criterios de selección de las tres fases, se describe con detalle en la Figura 2.

Figura 2. Proceso de selección de estudios primarios



Paso 5. Valoración por Pertinencia:

Sobre el universo resultante de **336** artículos, luego de aplicar los criterios de selección, se llevó a cabo la valoración de pertinencia, cuya estrategia consistió en revisar tanto el título, como las palabras clave y el *abstract*, o resumen, para confirmar que la aparición de las palabras definidas en la ecuación de búsqueda en el título o en el resumen, en efecto tenían respaldo en el contenido, el propósito y el objeto de estudio, de tal manera que fueran elegibles para conformar el corpus a analizar en esta revisión.

En un número importante de casos, se presentó algún grado de incertidumbre, debido a que el resumen o el título presentaban inconsistencia o falta de claridad. En estos casos, fue necesaria una revisión minuciosa del contenido total del artículo, para decidir su pertinencia para este estudio.

Como se observa en la Figura 2, el análisis de pertinencia delimitó el universo de trabajos considerados, a un número reducido de 130 artículos, de los cuales 104 fueron recuperados por Scopus y 26 por Science Direct. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Relación de artículos encontrados y seleccionados según librería digital

Artículos Librería Digital	Estudios primarios ENCONTRADOS	Porcentaje de estudios primarios ENCONTRADOS	Estudios primarios ACEPTADOS	Porcentaje de estudios primarios ACEPTADOS
Scopus	253	75.3%	104	89.6%
Science Direct	83	24.7%	26	24.4%
Totales	336	100.0%	130	100.0%

Paso 6. Evaluación de Duplicados

Para la integración de estudios primarios de las dos fuentes y la identificación de duplicados, teniendo como insumo los archivos tipo *documento de texto* (extensión .csv) y tipo *archivo BIB* (extensión .bib), se usó la herramienta de abierta PARSIFAL³, la cual identificó **14** estudios repetidos que fueron eliminados, dejando un corpus de **116** estudios primarios para la revisión.

La Figura 6 da cuenta de este proceso de selección de estudios primarios, que constituye el primer objetivo de esta revisión sistemática de trabajo previo en el campo de modelado de contexto, con herramientas semánticas.

Análisis y discusión de los resultados

Para el análisis bibliométrico y la generación de resultados gráficos se usaron las herramientas: Scopus, VosViewer⁴, PARSIFAL, GEPHI⁵, RStudio⁶.

En este acápite, se analizan y discuten los resultados del estudio considerando cada una de las cuatro preguntas de investigación.

RQ1. Cómo se distribuye el trabajo de modelado de contexto apoyado en herramientas semánticas, desde una visión temporal?

La publicación de artículos académicos y científicos en torno al modelado de contexto, Figura 2 revela el interés de la comunidad en el tema, durante el período observado, 2005 a 2019. Se presenta un máximo de artículos (aceptados y rechazados) en el año 2007 seguido del 2009, con relativas fluctuaciones en los años siguientes, sin que se presente inactividad en algún año y sin que baje significativamente el número de publicaciones.

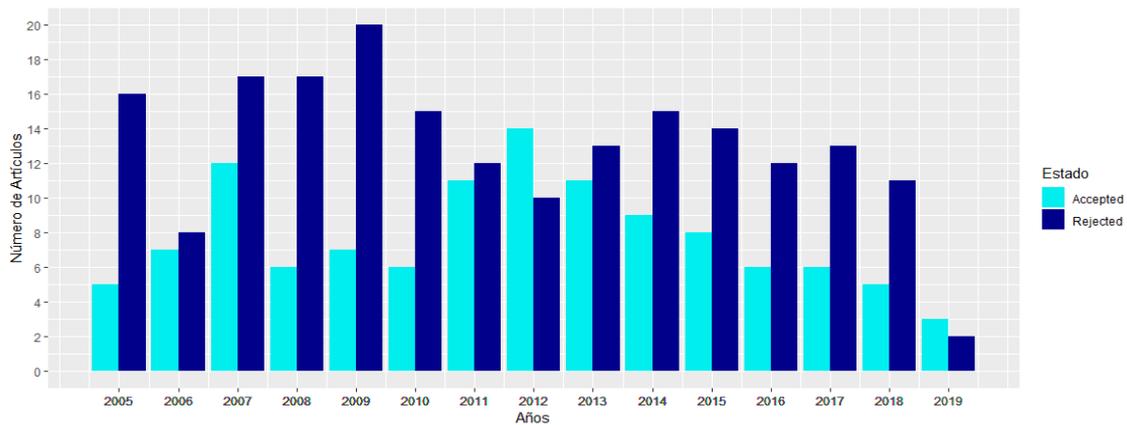
Figura 2. Distribución temporal de los aportes de modelado de contexto

³ **PARSIFAL** es una herramienta abierta, online diseñada para apoyar a los investigadores en la realización de SLR. Disponible en <https://parsif.al/>

⁴ **VOSviewer** es una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas. Disponible en <http://www.vosviewer.com/>

⁵ **GEPHI** es una herramienta *abierto* y libre, para realizar toda clase de gráficos y redes. Disponible en <https://gephi.org/>

⁶ **RStudio**, es una herramienta estadística, libre y abierta que ofrece soluciones en el campo de la ciencia de los datos. Disponible en <https://www.rstudio.com/>

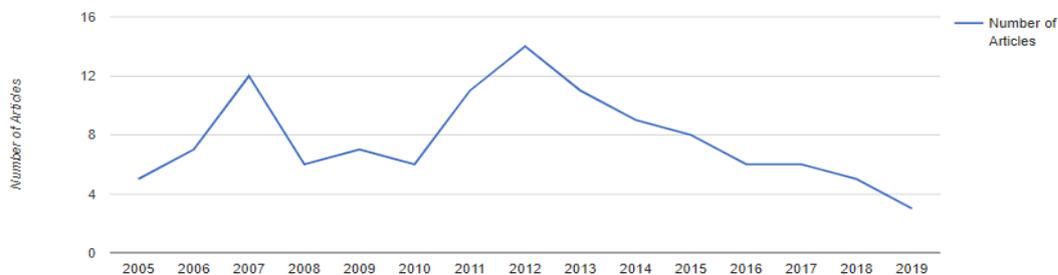


Es de mencionar que, para la fecha de generación de este reporte de investigación, se alcanzaron a incluir publicaciones del año 2019, pero solo correspondientes a los dos primeros meses, lo cual explica su baja cantidad y no se debe en forma alguna a una pérdida de interés en el campo, que por el contrario, en el escenario tecnológico y científico actual, específicamente con el paradigma actual de internet de las cosas, la inteligencia de las cosas y la computación ubicua, adquiere mayor relevancia y pertinencia.

En resumen (ver análisis de resultados asociados a la RQ3), se presentaron avances conceptuales puntuales y aportes en la primera década de este siglo, que dieron impulso también y permiten explicar el mayor interés en campos como sensibilidad al contexto, computación ubicua, conocimiento contextual y reconocimiento situacional, que pueden explicar ese máximo en torno al 2009 y posteriormente en campos como internet de las cosas, redes inalámbricas de sensores, que permiten explicar una nueva tendencia al incremento, hacia 2015 y 2016.

Considerando sólo los documentos aceptados luego de la aplicación de los criterios de selección, la valoración por pertinencia y la eliminación de duplicados, se obtiene la evolución del campo de modelado de contexto en la ventana temporal de observación, de manera más específica de cara al uso de herramientas semánticas, como componente esencial e importante del modelo, *framework*, *middleware* plataforma o sistema de contexto, objeto de cada estudio primario considerado, tal como lo muestra la Figura 3. En esta figura se identifica un interés en el campo, que se mantiene, pero dos máximos evidentes, en el 2007, con 12 trabajos asociados al uso de herramientas semánticas para modelar contexto y en el 2012, con 14 trabajos propuestos en el campo.⁷

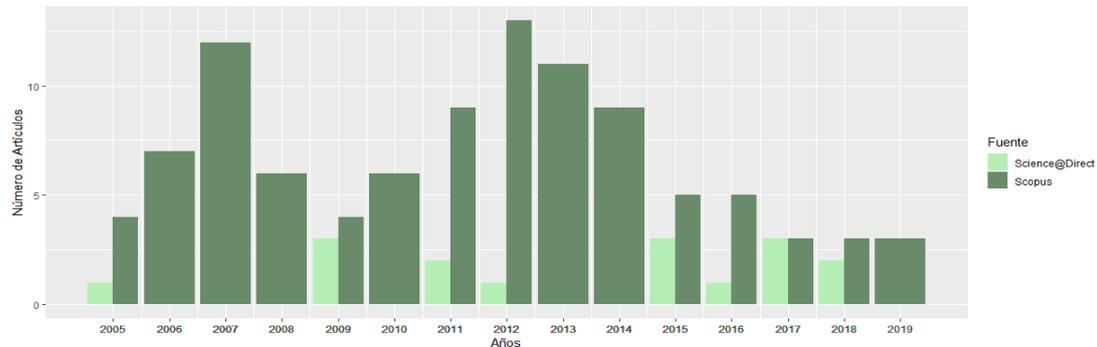
Figura 3. Distribución temporal de aportes sobre modelado de contexto con enfoque semántico



⁷ El número de propuestas para 2019, solo considera publicaciones del primer bimestre.

A continuación, se presenta en la Figura 4 la distribución anual de artículos aceptados, teniendo en cuenta la biblioteca digital de proveniencia, que revela el interés latente en la comunidad, en el modelado de contexto y obviamente la mayor cantidad de estudios identificados por *Scopus*, en relación con *Science Direct*.

Figura 4. Librería digital de proveniencia para artículos aceptados – 2005-2019



Como se muestra en la Tabla 4, la investigación en torno al modelado de contexto desde el ámbito de la semántica, ha sido relevante en la comunidad académica. Esta tabla revela la confluencia de tecnologías y campos teóricos que hacen parte del ecosistema IoT que es el paradigma en el cual se están explorando las propuestas de modelado de contexto aquí incluidas. Sobresalen las publicaciones soportadas por IEEE y ACM, asociadas a eventos internacionales que congregan comunidades académicas a nivel global e impulsan claramente campos en investigación y desarrollo, como la semántica y el modelado de contexto, entre otros.

Tabla 4. Publicaciones académicas y científicas que incluyen más artículos aceptados

JOURNALS /PROCEEDINGS CONFERENCE	AÑOS
<i>IEEE International Conference</i>	
<i>Pervasive Computing and Communications Workshops</i>	2006, 2013
<i>Service-Oriented Computing and Applications,</i>	2013
<i>Software and Applications Conference Workshops</i>	2014
<i>Communications</i>	2007
<i>e-Business Engineering</i>	2005
<i>Industrial Engineering and Engineering Management</i>	2012
<i>Intelligent Networking and Collaborative Systems</i>	2011
<i>Mobile Data Management</i>	2008
<i>Service Operations and Logistics, and Informatics</i>	2015
<i>Web Services</i>	2010
<i>Information Technology in Biomedicine</i>	2011
<i>Computer Systems and Applications</i>	2013
<i>Procedia Computer Science</i>	2012, 2014, 2016, 2017, 2018
<i>ACM International Conference Proceeding Series / Ubiquitous Computing</i>	2005, 2006, 2009,2012, 2014
<i>International Conference on Advanced Information Networking and Applications</i>	2006, 2007, 2013
<i>Computer Journal</i>	2010, 2014
<i>Data & Knowledge Engineering</i>	2017
<i>Journal of Sensors</i>	2017
<i>KSII Transactions on Internet and Information Systems</i>	2018
<i>International Conference on Pervasive Services</i>	2006, 2010
<i>International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling</i>	2008, 2009
<i>Journal of Theoretical and Applied Information Technology</i>	2011, 2019

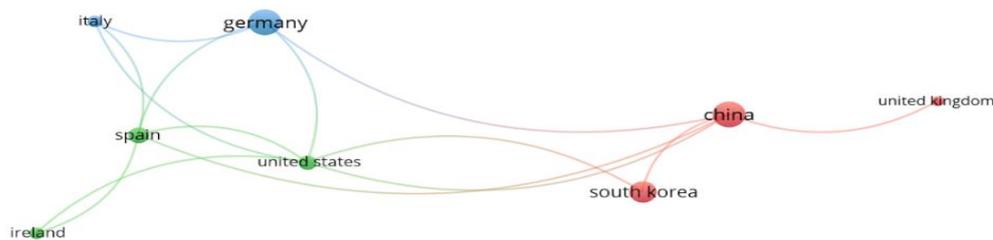
RQ2. En dónde se ubica el mayor desarrollo, según las propuestas en el campo del modelado de contexto semántico y quiénes han sido sus autores principales.

Considerando que se registra como país de origen de las contribuciones el país donde está registrada a la revista o publicación, para el total de estudios primarios seleccionados, se encontró una predominancia de las propuestas en publicaciones de Alemania, seguida de China y Corea del Sur, como se demuestra en la

Figura 5. Con un número menor, pero relevante, aparecen países como Estados Unidos, Reino Unido, España, Italia e Irlanda.

El análisis que suscita este resultado, está asociado con la existencia de grupos de investigación y comunidades académicas que en forma consistente han venido trabajando en diversos nichos de investigación identificados en el campo de la gestión y el modelado de contexto desde una perspectiva semántica, entre los cuales están los de sistemas interacción hombre-máquina, computación ubicua, sensores y redes inalámbricas de sensores, e ingeniería ontológica, entre otros.

Figura 5. Origen de los estudios primarios seleccionados - Período 2005 - 2019



En este orden de ideas, es pertinente identificar no sólo los actores más relevantes en el área, sino las comunidades de investigación y científicas y las redes académicas que están trabajando en el tema y que son agentes activos de su evolución. Es de anotar que la relevancia en términos de autores, se determina no solamente atendiendo al número de artículos publicado por autor, sino también por el índice de citación que reporta *Scopus*. (Ver Tabla 5. Estudios primarios con mayor citación).

Tabla 5. Estudios primarios con mayor citación

Número de citaciones	Estudios Primarios
De 81 a 90	(Paganelli & Giuli ,2011)
De 71 a 80	(Hervás, 2010)
De 61 a 70	(F. Paganelli & Giuli, 2007), (Scuturici, Ejigu, Chaari, & Laforest, 2007), (E. Jung, Lee, & Lee, 2007), (Yang, Zhang, & Chen, 2008)
De 51 a 60	(Huang, Webster, Wood, & Ishaya, 2006)
De 41 a 50	(Xiao & Zou, 2010),(Fenza, Furno, & Loia, 2012),(Roussaki, Strimpakou, Pils, Kalatzis, & Anagnostou, 2006)

En la Figura 6 (b) y c) se presenta el grafo de redes de autores en el campo en cuestión, representando cada autor como un nodo y cada publicación conjunta, como una arista que los conecta. El tamaño de cada nodo corresponde al grado del nodo, y por tanto se incrementa en +1 con cada aparición de un investigador o autor en una publicación.

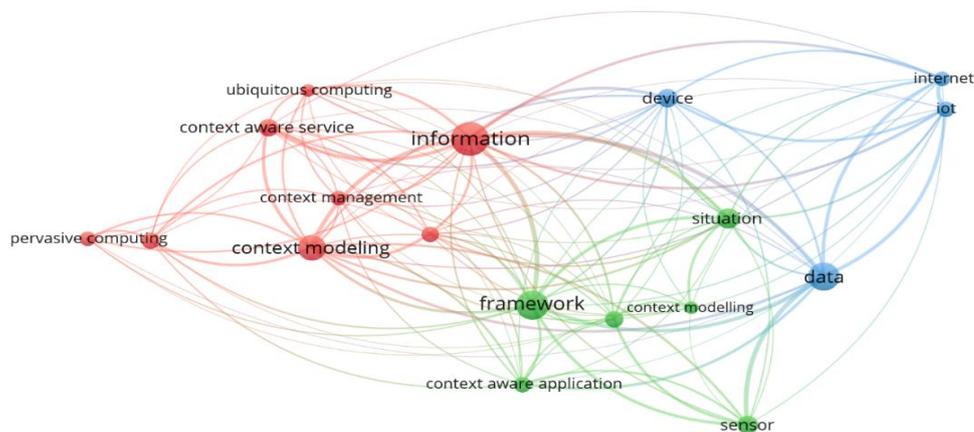
En las secciones b) y c) de la Figura 6, se identifican los autores con mayor interacción y producción académica e investigativa. En particular el autor *Lee*⁸, tiene asociado un índice de publicación conjunta de 19, mientras que *Akhtar*⁸, *Villalonga*⁹, *Seung*¹⁰, *Razzaq*⁸ y *Kim*¹¹ entre otros, tienen asociado un índice de publicación conjunta de 11. Por otra parte, se resalta el *cluster* europeo (Alemania, Reino Unido, Bélgica), con el mayor número de publicaciones en esta selección. El caso del autor *Lee*⁸, es interesante porque además de registrar un alto índice de publicación y de citación, publica conjuntamente con dos redes diferentes, ambas representativas en el campo, es decir constituye un nodo común relevante (Figura 6 c)).

RQ3. ¿Cuáles son las bases conceptuales que soportan el modelado de contexto con herramientas semánticas?

La Figura 8, presenta los términos que el analizador identificó en forma consistente y repetida, en el título, palabras clave y resumen de los estudios primarios seleccionados. Sin embargo, en esta figura se diferencian tres redes claramente en las cuales sobresale el primer grupo (color rojo) donde los conceptos más predominantes son “información” y “modelado de contexto” y “sensibilidad al contexto” (orientada al servicio), además de “computación ubicua y pervasiva”, los cuales conforman una red de términos estrechamente enlazados, que demuestra la importancia que tiene el contexto y los esfuerzos de modelado, en el marco tecnológico de computación ubicua.

En una segunda red, se encuentra que los términos con mayor presencia son “framework”, “modelado de contexto” “aplicaciones sensibles al contexto” y “sensor”, que seguramente comparten otro grupo de artículos; finalmente, aparecen la tercera red que asocia los términos “data”, “device”, “internet” y “IoT (Internet de las Cosas)”, que revela también la importancia que están adquiriendo los sensores y redes de sensores y dispositivos diversos con capacidad de comunicación y transferencia de información de contexto, en el entorno de IoT.

Figura 8. Bases conceptuales subyacentes en los modelos propuestos. 2005 – 2019



Claramente estos hallazgos son una respuesta a la ecuación de búsqueda que se aplicó en relación con el título, las palabras clave y el resumen, con una tolerancia baja, por lo cual aparecen sólo los términos con alta recurrencia. Adicionalmente y con márgenes de tolerancia mayores, se generó la nube de términos para los mismos estudios primarios, en la cual se confirman estas categorías conceptuales, pero se aumentan otras, extrañamente ausentes en la red de la Figura 9, dentro

⁸ Lee S., y Akhtar, Razzaq, pertenece al *Ubiquitous Computing Lab, Department of Computer Engineering*, de Kyung Hee University en Corea del Sur.

⁹ *School of Engineering and Technology*, Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), España.

¹⁰ Seung, pertenece al *Department of Computer Science, Seoul Women's University*, en Corea del Sur.

¹¹ Kim, afiliado al *Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University*, en Seoul, Corea del Sur

- (Giustozzi, Saunier, & Zanni-Merk, 2018) proponen un modelo para la industria 4.0, que provee estructuras para conceptos relacionados con contexto, que permitan su representación y su razonamiento.
 - (Ahmed, Abdelouahed, & Kazar, 2017) plantean una propuesta para gestionar el contexto en ambientes ubicuos, basada en representación semántica del contexto.
- En la Fase de Razonamiento, sobresalen:
- (Truong, Lee, & Lee, 2005), proponen un modelo unificado para realizar tanto representación, como razonamiento de contexto en condiciones de incertidumbre.
 - (Moore, Hu, Zhu, Campbell, & Ratcliffe, 2007) proponen una ontología para hacer razonamiento de contexto, para proveer servicios en sistemas de computación móvil,
 - (Guermah, Fissaa, Hafiddi, Nassar, & Kriouile, 2013), proponen una ontología para proveer servicios sensibles al contexto, basada en ontologías, en la cual sobresale el razonamiento de contexto.
 - (Bo Hu, Wang, & Dong, 2013), desarrollan un método para razonamiento de contexto basado en OWL.
 - (Li, Liu, & Zhou, 2014) proponen un modelo de contexto para smart home y hacen también una propuesta de razonamiento sobre el modelo, para mejorar los servicios del modelo.

En cuanto a la Fase de Diseminación, según esta selección, no se ha trabajado suficientemente y son pocos los estudios que la abordan, pocos los que implementan esta fase del ciclo de vida luego de hacer razonamiento y muy pocos los que explícitamente publican sus ontologías o clases de contexto en la nube como datos abiertos y enlazados. Aun así, se pueden mencionar de esta selección, los siguientes:

- (Jaroucheh, Liu, & Smith, 2012), quienes proponen una arquitectura de gestión de contexto, escalable y basada en el dominio, que incluye una propuesta para diseminación eficiente de información contextual multidominio.
- (Cabrera, Franch, & Marco, 2017), propuesta que con herramientas semánticas reutiliza clases y ontologías existentes para definir una ontología de 3 niveles relativamente fácil de extender a cualquier escenario inteligente, y en su propuesta adicionalmente ilustran la usabilidad de su ontología para soportar todas las fases del ciclo de vida, incluyendo la cuarta como Distribución de Contexto.

RQ4. ¿Cuáles herramientas semánticas fueron más usadas para la gestión de información contextual en los modelos propuestos?

En el estudio más reciente sobre los primeros 20 años de investigación en Web Semántica y *Linked Data* (Gandon, 2018), se señalan las *ontologías* estrechamente relacionadas con la representación y el razonamiento de conocimiento en la web, incluyendo tanto los lenguajes y el razonamiento de ontologías, como las ontologías específicas mismas publicadas en la web semántica. Posiblemente de todos los recursos semánticos, las ontologías juegan un rol fundamental, posicionándose según diversos estudios como la mejor alternativa para modelar contexto ((Bettini et al., 2010)(Roussaki et al., 2006)(Cabrera et al., 2017)(Robiul Hoque, Humayun Kabir, Thapa, & Yang, 2015).

En consecuencia, además de evaluar la perspectiva semántica de los estudios, las *ontologías* fueron una de las alternativas semánticas evaluadas, que por supuesto tuvieron un mayor porcentaje de inclusión, a diferencia de la *Anotación Semántica* y de la aplicación de *Linked Data* (y *Linked Open Data*), estas dos deben señalarse también como herramientas del campo de la semántica, relacionadas con el modelado de contexto y se definen brevemente enseguida.

Anotación Semántica: el proceso de asociar conceptos semánticos al lenguaje natural; El proceso de insertar metadatos, los cuales son conceptos de una ontología (clases, instancias, propiedades y relaciones), en recursos WEB con el fin de asignar semántica. (Oliveira & Rocha, 2013).

Linked Data: un conjunto de buenas prácticas para publicar y conectar datos estructurados sobre la web. En una acepción más pragmática, son datos publicados sobre la web, en tal forma que es legible por máquinas, su significado es explícito y están enlazados a otros conjuntos de datos externos y pueden ser enlazados desde otros *datasets* externos.

Aunque no constituyen categorías conceptuales para el análisis realizado a los estudios primarios, considerando el desarrollo, gestión y demás posibles operaciones sobre las ontologías, resaltan algunos lenguajes y herramientas de edición del campo de la semántica y cuyo uso suele estar muy correlacionado con las ontologías. Los principales son:

Resource Description Framework, RDF y *Resource Description Framework Squema*, RDFS: marco de descripción de recursos para publicar datos y metadatos enlazados y su esquema de lenguaje para publicar ontología y taxonomías.

Web Ontology Language, OWL: lenguaje para descripción ontológica y sus perfiles para publicar y enlazar ontologías formales en la web.

SPARQL, lenguaje de consulta y protocolo de acceso a tripletas RDF sobre la web.

Es pertinente traer a colación el trabajo de Gandon (2018), quien señala 14 áreas de investigación de la web semántica y de ellas tres están estrechamente relacionadas con el modelado de contexto:

El KRR (Knowledge Representation, Reasoning and processing)

Ontologías y vocabularios semánticos para máquinas en la web.

Publicación de LOD (Linked Open Data) y linked schemata.

De esta manera, para el total de 116 estudios primarios seleccionados, el número y porcentaje de satisfacción por inclusión y desarrollo de las categorías conceptuales definidas para el estudio, se presenta en forma agregada en la Tabla 6.

Tabla 6. Inclusión de categorías conceptuales en los estudios primarios

CATEGORIAS CONCEPTUALES	Nº Estudios	%
Modelo de contexto	112	96,6
Perspectiva semántica	100	86,2
Ontología de Contexto	83	71,6
Anotación semántica	1	0,9
Framework	17	14,7
Arquitectura	20	17,2
Razonamiento de contexto	42	36,2
Sensibilidad al contexto	75	64,7
Linked Data	0	0,0
Metodología	3	2,6

Tendencias recientes en modelado de contexto

La literatura en años más recientes ratifica los hallazgos del estudio y la importancia de dar seguimiento al concepto modelado de contexto en el entorno cambiante de la transformación digital. Algunas evidencias de ello se resumen a continuación:

- El método prevaleciente para desarrollar modelos de contexto modernos es el uso de formalismos lógicos por la vía de ontologías formales (Nazir, Haque, & Saleem, 2022), (Rhayem, Mhiri, Drira, Tazi, & Gargouri, 2021).
- El paradigma de IoT prevé una amplia gama de sensores implementados, generando grandes volúmenes de datos, que las aplicaciones sensibles al contexto necesitan recopilar y modelar. En este ámbito, un sistema de *middleware* ejecuta todas las etapas del ciclo de vida del contexto: adquisición, modelado, razonamiento y difusión o diseminación (Michalakis, Christodoulou, Caridakis, Voutos, & Mylonas, 2021), (Alti, A., & Laouamer, 2022), (Del Gaudio, Ariguib, Bartenbach, & Solakis, 2022).
- En el entorno de la web semántica, los grafos de conocimiento están emergiendo como uno de los modelos más poderosos para el modelado y razonamiento en sistemas sensibles al contexto (Huet, Pinquié, Véron, Mallet, & Segonds, 2021), (Guo, Wang, & Wang, 2021), (Syed, Huy, & Chung, 2022).

CONCLUSIONES

Como resultado de aplicar la ecuación de búsqueda, se obtuvo que un 96,6% de los estudios en efecto en su desarrollo, abordan el modelado de contexto y el 86,2% lo hacen desde una perspectiva semántica.

Se pudo responder y argumentar las cuatro preguntas de investigación propuestas en la Revisión Sistemática de la Literatura, concluyéndose lo siguiente:

Los elementos conceptuales intrínsecamente asociados al modelado semántico de contexto giran en torno a Internet de las Cosas, Datos-Información, Marcos de trabajo o *frameworks*, Modelado de contexto y Semántica.

Las fases o componentes claves de un modelo de contexto se reafirman como: Adquisición de Contexto, Modelado de Contexto (reconocida también como Gestión de Contexto), Razonamiento y Diseminación del Contexto

En cuanto a las herramientas semánticas, la ontología es la elegida en forma generalizada, de 116 estudios revisados, 83 abordan el uso (desarrollo, reuso o diseño) de ontologías como la herramienta semántica en la cual se basan sus propuestas de modelado. Del uso de anotación semántica, en esta selección solo hay un caso donde al menos se hace explícita y forma parte de los objetivos del modelado, aunque debe reconocerse que en el diseño de las ontologías en muchos casos puede estar implícito el uso de esta alternativa como parte de los metadatos semánticos que conforman los individuos de la ontología.

Aunque se buscaron modelos de contexto con perspectiva semántica, en ninguno de los estudios primarios el *Linked Open Data* aparece como una alternativa para la fase de diseminación y distribución del contexto.

En cuanto a los estudios que incluyen sensibilidad al contexto, el 64,7% es indicativo de la relevancia que tiene en la gestión del contexto, la capacidad para reconocer las variables del entorno del usuario y propiciar una adaptación o reacción de las aplicaciones y la tecnología ubicua a tal situación en beneficio del usuario.

Por último, debe mencionarse la atención que ha recibido de parte de la comunidad de investigación, el razonamiento de contexto, el cual es abordado cada vez más y con mejores resultados, que se pueden atribuir en gran medida al uso de recursos semánticos que estandarizan la información de contexto aumentando el éxito de los razonadores y la comprensión de las máquinas por el hecho de enriquecer los datos con contenido semántico.

Este estudio arrojó nuevas miradas al modelado de contexto basado en tecnologías semánticas, lo cual deja espacio para iniciar nuevas investigaciones respaldadas científicamente por las tendencias y regularidades que sigue la comunidad internacional alrededor de este cuerpo de conocimiento. Futuras investigaciones se orientarán al rol de los grafos de conocimiento en el modelado de contexto, en particular en la etapa de razonamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, B., Abdelouahed, G., & Kazar, O. (2017). Semantic-based Approach to Context Management in Ubiquitous Environment. *Procedia Computer Science*, 109, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.361>
- Ali, S., Khusro, S., Ullah, I., Khan, A., & Khan, I. (2017). SmartOntoSensor: Ontology for Semantic Interpretation of Smartphone Sensors Data for Context-Aware Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1–26. <https://doi.org/10.1155/2017/8790198>
- Alti, A., & Laouamer, L. (2022). Agent-Based Autonomic Semantic Context-Aware Platform for Smart Health Monitoring and Disease Detection. *The Computer Journal*, 65(3), 736-755. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxab075>
- Bakillah, M., Liang, S. H. L., Zipf, A., & Mostafavi, M. A. (2012). A dynamic and context-aware semantic mediation service for discovering and fusion of heterogeneous sensor data. *Journal*

- of Spatial Information Science, 6(6), Accepted, subject to final revisions.
<https://doi.org/10.5311/josis.v0i0.104>
- Bettini, C., Brdiczka, O., Henriksen, K., Indulska, J., Nicklas, D., Ranganathan, A., & Riboni, D. (2010). A survey of context modelling and reasoning techniques. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(2), 161–180. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.06.002>
- Biamino, G., & Cena, F. (2011). Social awareness and user modeling to improve objects intelligence. *Proceedings - 2011 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Workshops, WI-IAT 2011*, 3, 118–121. <https://doi.org/10.1109/WI-IAT.2011.260>
- Cabrera, O., Franch, X., & Marco, J. (2017a). 3LConOnt: a three-level ontology for context modelling in context-aware computing. *Software and Systems Modeling*, 1–34. <https://doi.org/10.1007/s10270-017-0611-z>
- Caro, D. A. (2005). Revisiões sistemáticas de la literatura. *Rev. Colombiana de Gastroenterología*, 20(1), 60–69. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>
- Chaari, T., Ejigu, D., Laforest, F., & Scuturici, V.-M. (2006). Modeling and Using Context in Adapting Applications to Pervasive Environments. *2006 ACS/IEEE International Conference on Pervasive Services*, 111–120. <https://doi.org/10.1109/PERSER.2006.1652214>
- Da, K., Roose, P., Dalmau, M., Nevado, J., & Karchoud, R. (2014). Kali2Much, 25–30. <https://doi.org/10.1145/2676743.2676748>
- Del Gaudio, D., Ariguib, B., Bartenbach, A., & Solakis, G. (2022, March). A live context model for semantic reasoning in IoT applications. In *2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)* (pp. 322–327). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PerComWorkshops53856.2022.9767267>
- Fenza, G., Furno, D., & Loia, V. (2012). Hybrid approach for context-aware service discovery in healthcare domain. *Journal of Computer and System Sciences*, 78(4), 1232–1247. <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2011.10.011>
- Gandon, F. (2018). A survey of the first 20 years of research on semantic web and linked data. *Ingenierie Des Systemes d'Information*, 23(3–4), 11–56. <https://doi.org/10.3166/ISI.23.3-4.11-56>
- Giustozzi, F., Saunier, J., & Zanni-Merk, C. (2018). Context Modeling for Industry 4.0: an Ontology-Based Proposal. *Procedia Computer Science*, 126, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.001>
- Guermah, H., Fissaa, T., Hafiddi, H., Nassar, M., & Kriouile, A. (2013a). Context modeling and reasoning for building context aware services. *Proceedings of IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, AICCSA*. <https://doi.org/10.1109/AICCSA.2013.6616439>
- Guo, D., Wang, H., & Wang, M. (2021). Context-Aware Graph Inference with Knowledge Distillation for Visual Dialog. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3085755>
- Hervás, R. (2010). A Context Model based on Ontological Languages : a Proposal for Information Visualization. *Computer*, 16(12), 1539–1555. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77957102473&partnerID=40&md5=59fcc2999e87ad4a22ed23f823a835fd>
- Hu, Bo, Wang, Z. X., & Dong, Q. C. (2013). A novel context-aware modeling and reasoning method based on OWL. *Journal of Computers (Finland)*, 8(4), 943–950. <https://doi.org/10.4304/jcp.8.4.943-950>
- Huang, W., Webster, D., Wood, D., & Ishaya, T. (2006). An intelligent semantic e-learning framework using context-aware Semantic Web technologies. *British Journal of Educational Technology*, 37(3), 351–373. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2006.00610.x>

- Huet, A., Pinquié, R., Véron, P., Mallet, A., & Segonds, F. (2021). CACDA: A knowledge graph for a context-aware cognitive design assistant. *Computers in Industry*, 125, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103377>
- Jaroucheh, Z., Liu, X., & Smith, S. (2012). An approach to domain-based scalable context management architecture in pervasive environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(6), 741–755. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0422-0>
- Jun, L., Yi, B. Y., Xun, C. S., Ping, T. X., & Jian, L. (2004). FollowMe: On Research of Pluggable Infrastructure for Context-Awareness. *20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Volume 1 (AINA'06)*, 199–204. <https://doi.org/10.1109/AINA.2006.182>
- Jung, E., Lee, H. J., & Lee, J. W. (2007). Ontology-based context modeling and reasoning for U-HealthCare.pdf.crdownload, (8), 1262–1270
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3. *Engineering*, 45(4ve), 1051. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>
- Li, P.-S., Liu, A., & Zhou, P.-C. (2014). Context Reasoning for Smart Homes using Case-Based Reasoning. *Ieee*, 6–7.
- Liu, Y., Seet, B.-C., & Al-Anbuky, A. (2013). An Ontology-Based Context Model for Wireless Sensor Network (WSN) Management in the Internet of Things. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2(4), 653–674. <https://doi.org/10.3390/jsan2040653>
- Michalakis, K., Christodoulou, Y., Caridakis, G., Voutos, Y., & Mylonas, P. (2021). A Context-Aware Middleware for Context Modeling and Reasoning: A Case-Study in Smart Cultural Spaces. *Applied Sciences*, 11(13), 5770. <https://doi.org/10.3390/app11135770>
- Moore, P., Hu, B., Zhu, X., Campbell, W., & Ratcliffe, M. (2007). A Survey of Context Modeling for Pervasive Cooperative Learning. *2007 First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education*, K5-1-K5-6. <https://doi.org/10.1109/ISITAE.2007.4409367>
- Nazir, M., Haque, H. M. U., & Saleem, K. (2022). A semantic knowledge based context-aware formalism for smart border surveillance system. *Mobile Networks and Applications*, 1-13.
- Oliveira, P., & Rocha, J. (2013). Semantic annotation tools survey. *Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, CIDM 2013 - 2013 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, SSCI 2013*, 301–307. <https://doi.org/10.1109/CIDM.2013.6597251>
- Paganelli, Federica, & Giuli, D. (2011). An ontology-based system for context-aware and configurable services to support home-based continuous care. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 15(2), 324–333. <https://doi.org/10.1109/TITB.2010.2091649>
- Perera, C., Member, S., Zaslavsky, A., & Christen, P. (2014). Context Aware Computing for The Internet of Things : A Survey. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, X(X), 1–41.
- Petticrew, Mark and Roberts, H. (2006). Beelmann, Petticrew, Roberts - 2006 - Systematic reviews in the social sciences. A practical guide. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.11.3.244>
- Pradeep, P., & Krishnamoorthy, S. (2019). The MOM of Context-Aware Systems : A Survey. *Computer Communications*, 137 (November 2018), 44–69. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.02.002>
- Rakib, A., & Uddin, I. (2019). An Efficient Rule-Based Distributed Reasoning Framework for Resource-bounded Systems. *Mobile Networks and Applications*, 24(1), 82–99. <https://doi.org/10.1007/s11036-018-1140-x>
- Razzaq, M. A., Villalonga, C., Lee, S., Akhtar, U., Ali, M., Kim, E. S., ... Khan, W. A. (2017). mlCAF: Multi-level cross-domain semantic context fusioning for behavior identification. *Sensors (Switzerland)*, 17(10), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s17102433>

- Rhayem, A., Mhiri, M. B. A., Drira, K., Tazi, S., & Gargouri, F. (2021). A semantic-enabled and context-aware monitoring system for the internet of medical things. *Expert Systems*, 38(2), e12629. <https://doi.org/10.1111/exsy.12629>
- Ricquebourg, V., Durand, D., Menga, D., Marhic, B., Delahoche, L., Logé, C., & Jolly-Desodt, A. M. (2007). Context inferring in the smart home: An SWRL approach. *Proceedings - 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops/Symposia, AINAW'07*, 1(iv), 290–295. <https://doi.org/10.1109/AINAW.2007.130>
- Robiul Hoque, M., Humayun Kabir, M., Thapa, K., & Yang, S. H. (2015). Ontology-based context modeling to facilitate reasoning in a context-aware system: A case study for the smart home. *International Journal of Smart Home*, 9(9), 151–156. <https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.9.16>
- Roussaki, I., Strimpakou, M., Pils, C., Kalatzis, N., & Anagnostou, M. (2006). Hybrid context modeling: A location-based scheme using ontologies. *Proceedings - Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2006*, 2006, 2–7. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2006.65>
- Scuturici, V.-M., Ejigu, D., Chaari, T., & Laforest, F. (2007). A comprehensive approach to model and use context for adapting applications in pervasive environments. *Journal of Systems and Software*, 80(12), 1973–1992. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.03.010>
- Syed, M. H., Huy, T. Q. B., & Chung, S. T. (2022). Context-Aware Explainable Recommendation Based on Domain Knowledge Graph. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.3390/bdcc6010011>
- Truong, B. A., Lee, Y. K., & Lee, S. Y. (2005). Modeling and reasoning about uncertainty in context-aware systems. *Proceedings - ICEBE 2005: IEEE International Conference on e-Business Engineering*, 2005, 102–109. <https://doi.org/10.1109/ICEBE.2005.90>
- Xiao, H., & Zou, Y. (2010). An Approach for Context-aware Service Discovery and Recommendation. *{IEEE} International Conference on Web Services*. Retrieved from <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/ICWS.2010.95>
- Yang, S. J. H., Zhang, J., & Chen, I. Y. L. (2008). A JESS-enabled context elicitation system for providing context-aware Web services. *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2254–2266. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.03.008>