

Research Article

NoSQL Database Benchmarking: Key/value in an Application-building Environment

Evaluación comparativa de bases de datos NoSQL: clave/valor en un entorno de creaciones de aplicaciones

Aracely Miranda*, Pilar Oña, Karen Mendoza, Wilson Chango

Epoch Sede Orellana, Informática y Electrónica, Francisco de Orellana, Ecuador

ORCID

Aracely Miranda: <https://orcid.org/0000-0003-4131-4674>

INDEXACIÓN II CONGRESO
INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2021

Corresponding Author:
Aracely Miranda

Published: 18 April 2024

Production and Hosting by
Knowledge E

© Aracely Miranda et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

The proportion of data generated is constantly growing as the number and variety of connected devices increase, advances in data storage and mining supporting this evolution bring along the development of new techniques for searching and accessing data and realizing applications. This article was developed to carry out a comparative analysis of three databases: Redis, CouchBase, and Amazon DynamoDB to provide key characteristics to choose the right key-value NoSQL system for the type of applications, data used, and data processing. This was done through qualitative and quantitative research by expressing the results through comparative tables with characteristics that were obtained through a literature review and defined by the authors after the use of each of the databases. It can be concluded from the study of quantitative data that DynamoDB is highly rated for its ease of use, easy configuration, automatic retrieval, and data replication. However, in the qualitative data, CouchBase is the best option for the user considering it is cross-platform and can be adapted to websites, apps, etc.

Keywords: *Redis, CouchBase, DynamonDB, Web Applications, NoSQL.*

Resumen

La proporción de datos generados crece constantemente a medida que aumenta la cantidad y variedad de dispositivos conectados, los avances en el almacenamiento y la extracción de datos respaldan esta evolución, la cual trajo consigo el desarrollo de nuevas técnicas para buscar y acceder a los datos y realización de aplicaciones. Este artículo se desarrolló con el objetivo de realizar un análisis comparativo de tres bases de datos: Redis, CouchBase y Amazon DynamoDB. Con la finalidad de proporcionar características claves para elegir el sistema NoSQL clave-valor correcto para el tipo de aplicaciones, datos utilizados y procesamiento de datos. Se realizó mediante investigación de índole cualitativa y cuantitativa al expresar los resultados mediante cuadros comparativos con características que fueron obtenidas a través de una revisión bibliográfica y definidos por los autores posterior al uso de cada una de las bases de datos. Se puede concluir que con el estudio de los datos cuantitativos DynamoDB obtiene una alta calificación por su fácil uso, fácil configuración, recuperación automática y replicación de datos. No obstante, en los datos cualitativos CouchBase es la mejor opción para el usuario por ser de multiplataforma que se puede adaptar a sitios web, aplicaciones, etc.

Palabras Clave: *Redis, Couchbase, DynamoDB, Aplicaciones Web, NoSQL.*

 OPEN ACCESS



1. Introducción

La creciente demanda de un almacenamiento de datos más grande y rápido está cambiando el mercado de las bases de datos. El número de aplicaciones de uso intensivo de información está aumentando, y los softwares de estos tipos de datos se utilizan cada vez más para respaldar la toma de decisiones. Los diseños de computadoras desde la década de los noventa han utilizado almacenes de datos que a menudo se colocan entre servidores interconectados a arreglos de almacenamiento (1). Estas arquitecturas son poco escalables. De hecho, con el aumento en la cantidad de volúmenes de datos, la variedad y la velocidad de información, los DBMS tradicionales e incluso las bases de datos han tenido dificultades para adaptarse. La nueva tecnología de almacenamiento de datos toma el nombre de NoSQL y está diseñada principalmente para resolver problemas específicos (2), existen varios modelos de arquitecturas de NoSQL, en esta ocasión tomaremos en cuenta la arquitectura clave-valor. Una base de datos de clave-valor es una técnica de almacenamiento de datos para almacenar, recuperar y administrar matrices asociativas o como diccionarios y tablas hash (3). A medida que avanza la tecnología y disminuyen los costos de memoria, ahora es posible que una técnica de gestión de bases de datos comparta sus datos a la memoria por completo. Además, en comparación con las bases de datos de disco estándar, el almacenamiento en memoria de arquitectura clave-valor tiene una velocidad de lectura/escritura más rápida, un mayor rendimiento y diseño de concurrencia, lo que satisface las necesidades urgentes a muchas aplicaciones.

Redis, CouchBase y Amazon DynamoDB se encuentran entre las bases de datos clave-valor más representativas, Redis es un almacén de clave-valor en memoria de código abierto que proporciona una abstracción de clave-valor de alto nivel(4), Couch-Base pertenece a una clase de bases de datos basadas en documentos NoSQL diseñadas para aplicaciones web interactivas (5), DynamoDB se basa en un sistema de almacenamiento clave-valor, donde se puede crear arreglos altamente escalables y resilientes que permitan desarrollar aplicaciones sin servidores (6), sin embargo, estos productos aún experimentan cuellos de botella en el rendimiento esto se debe a la fragmentación de la memoria y las fallas de caché. Esto se debe a que los datos están semiestructurados (7), los programas de gestión de bases de datos NoSQL se clasifican según el modelo de datos utilizado para almacenar la información. Varias soluciones NoSQL patentadas y de código abierto han sido diseñadas, desarrolladas e implementadas por los principales actores de la industria para administrar grandes volúmenes de datos manipulados y aplicaciones web ya que están diseñados para ser rápidos y escalables. Por lo general, no hay claves externas o alternativas en el almacenamiento



de clave-valor, y tampoco hay un orden implícito, (8) además, la facilidad de uso de estas bases de datos, las hacen ideales para los requerimientos de los usuarios. Sin embargo, la falta de estandarización y la gran cantidad de soluciones en el mercado dificultan la elección del modelo adecuado para su entorno operativo. Este es un problema real al elegir la mejor solución NoSQL clave-valor en comparación con las necesidades del usuario.

Por esa razón se analizaron tres tipos de bases de datos clave-valor: Redis, Couch-Base y DynamoDB, teniendo en cuenta su lenguaje de consulta, función en sistemas operativos, código abierto o pagado, durabilidad, tipo de almacenamiento, etc. El presente artículo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de tres soluciones clave-valor y responder a la pregunta ¿Qué tipo de base de datos es la óptima para el desarrollo de aplicaciones informáticas?, con el fin de proporcionar características claves para seleccionar una base de datos adecuada para el modelo de aplicaciones a realizar.

2. Materiales y Métodos

Este artículo utiliza un enfoque cualitativo, Según Álvarez (9) la investigación cualitativa es cualquier investigación que se ocupa de la profundidad y la comprensión de un tema, en lugar de la descripción y medición, implicando la sinterización del proceso, descripción, entendimiento, no solo medir y detallar. Este método se utilizó para describir las características que posee los NoSQL: clave/valor que son CouchBase, Redis y Amazon DynamoDB. Las cuales son muy reconocidas por trabajar con grandes empresas de aplicaciones.

A través del método cualitativo se realizó un cuadro comparativo que recoge todas las características obtenidas después de realizar una revisión bibliográfica que se llevó a cabo mediante una búsqueda automatizada de información en artículos, todos ellos disponibles en la base de datos Web Of Science y ACM Digital Library. Conjuntamente, de la información obtenida en las páginas oficiales de las bases de datos ocupadas.

Además, se utilizó un enfoque cuantitativo que según Álvarez (10) es una estrategia de investigación centrada en la cuantificación de la recopilación y el análisis de datos, es decir, pretende examinar las características de un gran número de sujetos y obtener valores. Se ocupó este método para analizar las opiniones o criterios que tenían los usuarios referentes a las bases de datos nombradas anteriormente.

Mediante el método cuantitativo, se realizó un cuadro comparativo donde las características que se utilizó fueron definidas por los autores, después de haber utilizado cada una de estas bases de datos, luego de haber obtenido dichos valores se procedió



a realizar diferentes graficas de los resultados obtenidos. Toda esta información se obtuvo de las páginas oficiales de cada una de ellas.

3. Resultados

En esta investigación se comparó tres productos de base de datos NoSQL: CouchBase, Redis y Amazon DynamoDB. Estas bases de datos contienen una arquitectura clave/valor y fueron escogidas por su alto índice de aceptación en el desarrollo de aplicaciones, además de ser las más utilizadas en la actualidad según diferentes estudios y ranking de uso de bases de datos.

Al realizar tal comparación entre las tres bases de datos y a su vez una revisión bibliográfica de las características más destacadas, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1, los cuales se detallará a continuación.

Como se logra observar notar estos tres productos tienen la misma categoría: base de datos NoSQL, formato de consulta JSON, escalabilidad, fragmentación y replicación. Por otra parte, estos admiten el tipo de almacenamiento programado de clave/valor, pero la base de datos CouchBase es el único que puede soportar dos clases de almacenamiento el de clave/valor y de documentación. Redis no dispone de un lenguaje de consulta y tampoco tiene acceso móvil a la base de datos. Dynamodb y Redis permite que su funcionamiento de aplicaciones sea solo en la nube a comparación de CouchBase que dispone de aplicaciones multiplataforma

como locales, móviles, híbridas, online, en la nube distribuida y perimetrales. También se puede tener presente que los tres productos de base de datos NoSQL: clave/valor, que se seleccionó poseen escalabilidad, fragmentación y replicación.

Ahora bien, la base de datos CouchBase es más rentable y dispone de una variedad de funciones que la hacen ser mejor en escalabilidad, fragmentación y replicación. Además de brindar varias opciones para la implementación de aplicaciones.

En la aplicación del método cuantitativo se obtuvo un análisis de las diferentes características comparativas como la facilidad de uso, configuraciones, calidad de servicio, entre otros que sobresalen en las bases de datos NoSQL clave/valor. Las características que se analizaron en [11], posterior a ello, se evaluó y se puso a prueba por los autores de este artículo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Las pruebas de facilidad de uso es una medida de lo fácil que es usar un producto para realizar funciones de acuerdo con las peticiones del usuario.

Los resultados de las pruebas se presentan en la Figura 1.



Tabla 1

Comparación de bases de datos NoSQL: Clave/Valor.

Características	CouchBase	Redis	Dynamodb	Referencias
Lenguaje de consulta	N1QL (Non-1NF Query Language)	No tiene	SQL (Structured Query Language)	(1,9–20)
Formato de consulta	JSON	JSON	JSON	(1,2,5,7,10–12,14,21–31)
Función en sistemas operativos	Linux, OS X, Windows, SaaS/Web	Linux, Windows, Mac, SaaS/Web	SaaS/Web	(1,2,5,6,12,13,23,25,33–40)
Lenguajes de programación	C, Java, JavaScript, Python	.NET, PHP, C, C++, Lua, C#	Java, JavaScript, PHP, C, C++, .NET, PHP	(1,2,4,14,15–19,28,31,38,41,42)
Servidor	Membase	Redis	sin servidor	(1–4,7,9,13,15)
Pagada/gratis	Versión gratuita	Versión gratuita	Versión gratuita	(1,2,4,10,11,14,15,17,18,23,25)
Código	Código abierto	Código abierto	Código abierto	(30,29,33,34,39)
Empresas que utilizan la BD	Adobe, Cisco, Mozilla Foundation	Twitter, GitHub, Pinterest, Snapchat	Samsung, Toyota, Capital One.	(15,17,19,21,24,26,28,33,35–37)
Durabilidad	Si	Si	Si	(4,6,10,11,14,15,16)
Concurrencia	Si	Si	Si	(1,3,6,10,12,17,19,20,22)
Copia de seguridad y recuperación	No	No	No	(5,10,11,14,17,19,21,22)
Seguridad	Si	Si	Si	(1,3–5,10–12,14,16,18,24)
Acceso móvil	Si	No	Si	(43-45)
Tipo de almacenamiento	Almacén de documentos, almacén de clave/valor	Almacén de clave/valor	Almacén de documentos, almacén de clave/valor	(1–3,6,11–14,15–17,20–22,24–26,28,34,37,39–42)
Programado	C++, Erlang	ANSI C	Se desconoce	(1,2,5,6,10,12,19,20,23)
Aplicaciones	Online, móviles, locales, híbridas, en la nube distribuida y perimetrales	Nube	Nube	(17,19,23,27,38,39,42)
Escalabilidad	Si	Si	Si	(1–3,7,11–14,21,22,24,25,33–37)
Fragmentación	Si	Si	Si	(1,6,7,10–12,14,24,35,41)
Replicación	Si	Si	Si	(2,6,10,12,16,17,18,23)



Tabla 2

Análisis de las características por opinión propia de los autores.

	CouchBase	Redis	Dynamodb	Otros
Facilidad de uso	8	9	8,8	6
Facilidad de configuración	8	8,5	9,2	6,3
Calidad de servicio	8,5	7,3	9,1	6,9
Fragmentación automática	9	7	8,7	6,5
Recuperación automática	8	6,9	8,9	5,0
Replicación de datos	9	8,2	9,1	7,2
Sistemas operativos	8	9,1	8,6	6,0

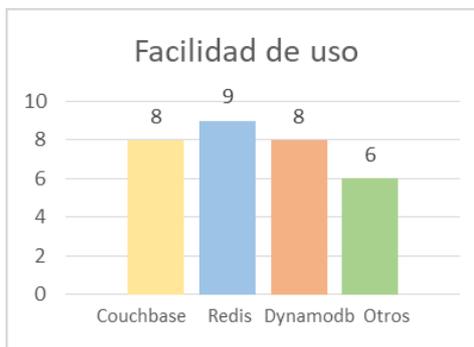


Figura 1

Calificaciones de facilidad uso de las bases de datos NoSQL clave/valor.

Las pruebas de facilidad de configuración es una medida de lo sencillo que es configurar el software para realizar ajustes de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Los resultados de las pruebas se presentan en la Figura 2.

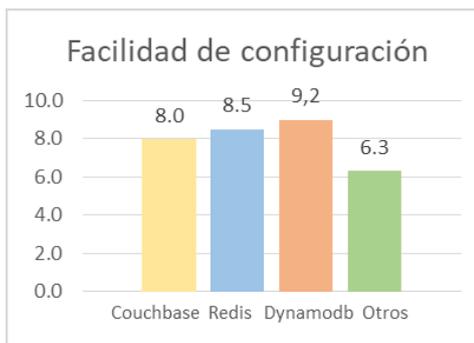


Figura 2

Puntuación de facilidad de configuración de las bases de datos NoSQL clave/valor.

Las pruebas de calidad de servicio ofrecen servicios de calidad, rapidez y flexibilidad, que a su vez tiene soporte técnico en los tres productos de base de datos NoSQL de acuerdo con la elección de los usuarios. El resultado de la prueba se presenta en la Figura 3.

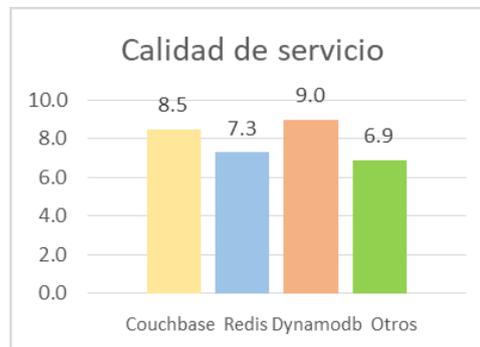


Figura 3

Calificaciones de calidad de servicio de las bases de datos NoSQL clave/valor.

Las pruebas de fragmentación automática optimizan el almacenamiento en la nube ofreciendo un mayor rendimiento en las bases de datos NoSQL. El resultado de la prueba se presenta en la Figura 4.

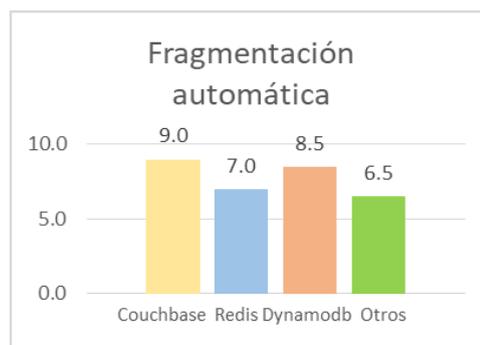


Figura 4

Puntuación de la fragmentación automática de las bases de datos NoSQL clave/valor.

Las pruebas de recuperación automática contribuyen a la recuperación de los datos sincronizados en línea para poder restaurar un dato perdido en un intervalo de tiempo. El resultado de la prueba se presenta en la Figura 5.

Las pruebas de Replicación de datos influyen en que los datos estén disponibles y sean accesibles para los usuarios debido a que los datos se almacenan en más de un sitio o servidor. El resultado de la prueba se presenta en la Figura 6.

Las Sistemas Operativos se encargan de la administración y dirigen todos los servicios de los programas en el computador de ese modo permite manipular y darle ordenes de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Es fundamental que las bases

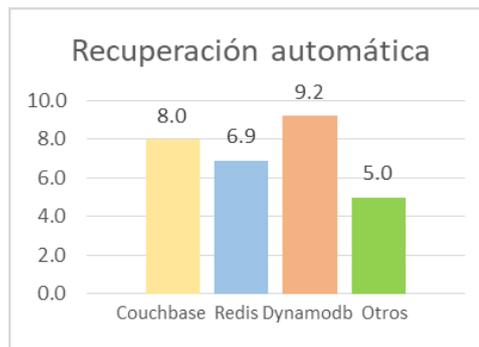


Figura 5

Calificaciones de recuperación automática de las bases de datos NoSQL clave/valor.

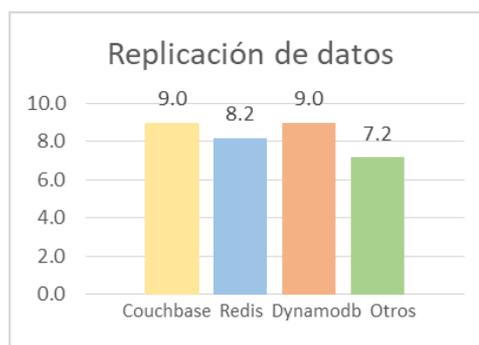


Figura 6

Puntuación de la replicación de datos de las bases de datos NoSQL clave/valor.

de datos NoSQL sean multiplataforma para ofrecer más posibilidades de desempeño en los sistemas operativos. El resultado de la prueba se presenta en la Figura 7.

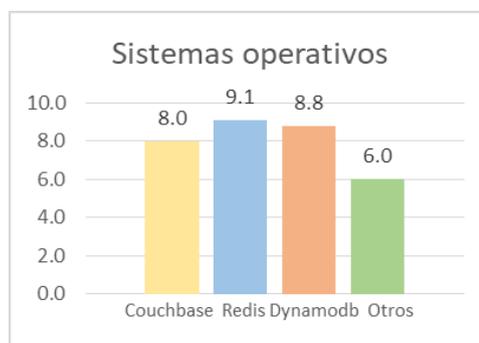


Figura 7

Calificación de los Sistemas Operativos de las bases de datos NoSQL clave/valor.

Tras este de este análisis realizado, se presenta un hallazgo con respecto a la comparativa de características de los tres productos NoSQL de clave/valor, los cuales son: CouchBase, Redis y Amazon DynamoDB más usadas en la actualidad.



Para la comparación, se tomó en cuenta varios datos que eran relevantes que se especifican en el cuadro comparativo Tabla 1. Haciendo redundancia que los desarrolladores pueden utilizar DynamoDB, Couchbase y Redis para crear aplicaciones modernas, con o sin servidores que pueden comenzar a pequeña escala y alcanzar una escala global, además son utilizados por grandes empresas, empresas emergentes y organizaciones gubernamentales para potenciar casos de uso como la detección de fraudes en tiempo real y disponen de variedad de opciones cliente - servidor con código abierto.

Con los resultados obtenidos, se pudo finalizar que, a través del método cuantitativo DynamoDB es la base de datos con la calificación más alta de acuerdo con las características evaluadas. Por otra parte, a través del método cualitativo, Couchbase resalta por ser de multiplataforma donde se puede adaptar a diferentes sitios web, aplicaciones, etc. Es una base de datos robusta, creada para microservicios y computación basada en el consumo sin servidor en la nube en un extremo, y computación perimetral para dispositivos móviles/IoT perimetrales conectados ocasionalmente y localmente en el otro, más rentable y dispone de una variedad de funciones que lo hacen ser mejor en estabilidad, fragmentación y replicación.

4. Discusión

Analizando los resultados obtenidos en la presente investigación y los resultados según Matallah, et al (12), se concuerda en gran parte con lo expuesto por ello, donde no se puede llegar a decir que existe una ganadora como tal, debido a que todas las bases de datos NoSQL garantizan un buen rendimiento, y de acuerdo a los criterios que se tiene, se puede elegir una base de datos que depende de los requisitos de la aplicación a realizar. No obstante, la base de datos NoSQL clave/valor a utilizar es CouchBase, debido a que se puede realizar aplicaciones de cualquier tipo, de acuerdo a los requerimientos y criterios establecidos, se considera a ésta como adecuada para trabajos en aplicaciones online, móviles, locales, híbridas, etc.

5. Conclusiones

En esta investigación se presentó una comparativa de características principales de tres bases de datos NoSQL con un tipo de almacenamiento de clave-valor: Redis, CouchBase y DynamoDB, frecen opciones multiplataformas, en lo cual podemos realizar proyectos de páginas web ya sea en un servidor o sin servidor con código, también



ayudan a la detección de fraudes en tiempo real y disponen de variedad de opciones cliente-servidor.

Con respecto a la comparación de desempeño de acuerdo a los resultados se obtiene una adecuada puntuación de las características principales de los tres productos de bases de datos NoSQL clave/valor que son Couchbase, Redis y Amazon Dynamodb. Con los resultados del análisis de los datos cuantitativos se obtuvo que DynamoDB se destaca por su facilidad de configuración, calidad de servicio y recuperación. En cambio, en las características del cuadro comparativo Couchbase se distingue por ser de multiplataforma que se puede adaptar a sitios web, aplicaciones, etc.

Agradecimientos

Para el desarrollo del presente artículo agradecemos de manera especial a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO SEDE ORELLANA, a la facultad Informática y Electrónica. A nuestro distinguido docente, él PhD: Wilson Chango, docente de la materia de Base de Datos Avanzada y a la Magister Ana Salguero, docente de la materia de Tecnología Web. También a nuestro compañero Darwin Romero por su colaboración del presente artículo. De igual manera un agradecimiento especial a nuestros padres, amigos y demás familiares por ser nuestro motor a seguir y ser parte de este gratificante y arduo trabajo

References

- [1] Pereira DA, Ourique de Morais W, Pignaton de Freitas E. NoSQL real-time database performance comparison. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. 2018 Mar 4;33(2):144–156, doi: 10.1080/17445760.2017.1307367
- [2] Matallah H, Belalem G, Bouamrane K. Evaluation of NoSQL Databases. *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*. 2020 Sep 16;12(4):71–91, doi: 10.4018/IJSSCI.2020100105
- [3] Osés Martín A. Desarrollo de un framework para la creación de aplicaciones móviles con tecnologías web. 2014 [cited 2022 Nov 29]; Available from: <https://hdl.handle.net/2454/10385>
- [4] Ouaknine K, Agra O, Guz Z. Optimization of RocksDB for redis on flash. In: *ACM International Conference Proceeding Series*. Association for Computing Machinery; 2017. p. 155–161, doi: 10.1145/3093241.3093278



- [5] Yin Mok W. A feasible schema design strategy for Amazon DynamoDB: A nested normal form approach. En: 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). IEEE; 2020.
- [6] Tang W, Lu Y, Xiao N, Liu F, Chen Z. Accelerating redis with RDMA over infiniband. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer Verlag; 2017. p. 472–483, doi: 10.1007/978-3-319-61845-6_47
- [7] Diogo M, Cabral B, Bernardino J. Consistency models of NoSQL databases. Vol. 11, Future Internet. MDPI AG; 2019, doi: 10.3390/fi11020043
- [8] Arturo C, Álvarez M, Surcolombiana U, De F, Sociales C, Humanas Y, et al. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA Guía didáctica. 2011.
- [9] Ferrari D, Carminati M, Polino M, Zanero S. NoSQL Breakdown: A Large-scale Analysis of Misconfigured NoSQL Services. In: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery; 2020. p. 567–581, doi: 10.1145/3427228.3427260
- [10] Truică CO, Apostol ES, Darmont J, Pedersen TB. The Forgotten Document-Oriented Database Management Systems: An Overview and Benchmark of Native XML DODBMSes in Comparison with JSON DODBMSes. Big Data Research. 2021 Jul 15;25.
- [11] Detti A, Rossi G, Melazzi NB. Exploiting information-centric networking to federate spatial databases. IEEE Access. 2019;7:165248–165261, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953043
- [12] Gamal A, Barakat S, Rezk A. Integrated document-based electronic health records persistence framework [Internet]. Vol. 12, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications. Available from: www.ijacsa.thesai.org
- [13] Davoudian A, Chen L, Liu M. A survey on NoSQL stores. ACM Computing Surveys. 2018 Apr 1;51(2). doi: 10.3390/mi11121075
- [14] Borkar D, Mayuram R, Sangudi G, Carey M. Have your data and query it too: From key-value caching to big data management. In: Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Association for Computing Machinery; 2016. p. 239–251. doi: 10.1145/2882903.2904443
- [15] Potey MM, Dhote CA, Sharma DH. Homomorphic encryption for security of cloud data. In: Procedia Computer Science. Elsevier B.V.; 2016. p. 175–181. doi: 10.1016/j.procs.2016.03.023.



- [16] Hoffmann J, Das A, Weng SC. Towards automatic resource bound analysis for OCaml. *ACM SIGPLAN Notices*. 2017 Jan 1;52(1):359–373, doi: 10.1145/3093333.3009842
- [17] Cai X. Agricultural environment information management. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*. 2020 Jul 1;11(3):48–60, doi: 10.4018/IJAEIS.2020070104
- [18] MIT World Peace University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Pune Section, Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon): MIT World Peace University, Pune, India. Dec 18-20, 2019, doi: 10.1109/PuneCon46936.2019.9105762
- [19] Chakrabarti S, Saha HN, Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York Section, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Region 1, IEEE-USA, Columbia University, et al. 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON): 10th-12th October, 2019, Columbia University, New York, USA, doi: 10.1109/UEMCON47517.2019.8992924
- [20] Chawathe SS. Estimating Predicate Selectivities in a NoSQL Database Service. In: 2020 11th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference, UEMCON 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2020. p. 0414–20, doi: 10.1109/UEMCON51285.2020.9298056
- [21] Hewasinghage M, Abelló A, Varga J, Zimányi E. A cost model for random access queries in document stores. *VLDB Journal*. 2021 Jul 1;30(4):559–578, doi: 10.1007/s00778-021-00660-x
- [22] Lakshman S, Liang J, Mayuram R. Nitro: A fast, scalable in-memory storage engine for NoSQL Global Secondary Index. 2150, doi: 10.14778/3007263.3007278
- [23] Ahn JS, Seo C, Mayuram R, Yaseen R, Kim JS, Maeng S. ForestDB: A fast key-value storage system for variable-length string keys. *IEEE Transactions on Computers*. 2016 Mar 1;65(3):902–915. doi: 10.1109/TC.2015.2435779
- [24] Lu J, Holubová I. Multi-model databases: A new journey to handle the variety of data. Vol. 52, *ACM Computing Surveys*. Association for Computing Machinery; 2019, doi: 10.1145/3323214
- [25] Chopade R, Pachghare V. A data recovery technique for Redis using internal dictionary structure. *Forensic Science International: Digital Investigation*. 2021 Sep 1;38. doi: 10.1016/j.fsidi.2021.301218
- [26] el Hajj I, Merritt A, Zellweger G, Milojevic D, Achermann R, Faraboschi P, et al. SpaceJMP: Programming with multiple virtual address spaces. *ACM SIGPLAN Notices*. 2016 Apr 1;51(4):353–368. doi: 10.1145/2954679.2872366



- [27] 2018 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Ubiquitous Computing & Communications, Big Data & Cloud Computing, Social Computing & Networking, Sustainable Computing & Communications (ISPA/IUCC/BDCloud/SocialCom/SustainCom). IEEE; 2018.
- [28] Yin Mok W. A feasible schema design strategy for Amazon DynamoDB: A nested normal form approach. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE Computer Society; 2020. p. 903–907.
- [29] MIT World Peace University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Pune Section, Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon): MIT World Peace University, Pune, India. Dec 18-20, 2019.
- [30] Chakrabarti S, Saha HN, Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York Section, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Region 1, IEEE-USA, Columbia University, et al. 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON): 10th-12th October, 2019, Columbia University, New York, USA.
- [31] Deese A. Implementation of unsupervised k-means clustering algorithm within Amazon web services lambda. In: Proceedings - 18th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, CCGRID 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2018. p. 626–632, doi: 10.1109/CCGRID.2018.00093
- [32] Younes G, Shoker A, Almeida PS, Baquero C. Integration challenges of pure operation-based CRDTs in Redis. In: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery; 2016.
- [33] Zhang H, Marius Tudor B, Chen G, Chin Ooi B. Efficient in-memory data management: An Analysis. Vol. 7, doi: 10.14778/2732951.2732956
- [34] Sanka AI, Chowdhury MH, Cheung RCC. Efficient high-performance FPGA-Redis Hybrid NoSQL caching system for blockchain scalability. *Computer Communications*. 2021 Mar 1;169:81–91, doi: 10.1016/j.comcom.2021.01.017
- [35] Gade AN, Larsen TS, Nissen SB, Jensen RL. REDIS: A value-based decision support tool for renovation of building portfolios. *Build Environ*. 2018 Sep 1;142:107–118, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.016
- [36] Pan C, Wang X, Luo Y, Wang Z. Penalty-and locality-aware memory allocation in Redis using enhanced AET. Vol. 17, *ACM Transactions on Storage*. Association for Computing Machinery; 2021, doi: 10.1145/3447573
- [37] el Hajj I, Merritt A, Zellweger G, Milojevic D, Achermann R, Faraboschi P, et al. SpaceJMP: Programming with multiple virtual address spaces. *ACM SIGPLAN*



- Notices. 2016 Apr 1;51(4):353–368.
- [38] Xie G, Chung YC. Bucket-based expiration algorithm: Improving eviction efficiency for InMemory key-value database. In: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery; 2020. p. 248–259, doi: 10.1145/3422575.3422797
- [39] Wang Y, Yang J, Wang Z. Dynamically configuring LRU replacement policy in Redis. In: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery; 2020. p. 272–280, doi: 10.1145/3422575.3422799
- [40] Butgereit L. Four NoSQLs in four fun fortnights: Exploring NoSQLs in a corporate IT environment. In: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery; 2016.
- [41] Sadooghi I, Hernandez Martin J, Li T, Brandstatter K, Maheshwari K, Pitta De Lacerda Ruivo TP, et al. Understanding the performance and potential of cloud computing for scientific applications. IEEE Transactions on Cloud Computing. 2017 Apr 1;5(2):358–371.
- [42] Ahn JS, Seo C, Mayuram R, Yaseen R, Kim JS, Maeng S. ForestDB: A fast key-value storage system for variable-length string keys. IEEE Transactions on Computers. 2016 Mar 1;65(3):902–915.
- [43] Couchbase: The modern database for enterprise applications [Internet]. Couchbase Website. 2022 [citado el 29 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.couchbase.com/>
- [44] Redis [Internet]. Redis. [citado el 29 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://redis.io/>
- [45] Amazon.com. [citado el 29 de noviembre de 2022]. Disponible https://aws.amazon.com/es/dynamodb/?trk=74365dcd-ec2d-40b2-a201-8d654d09350d&sc_channel=ps&s_kwcid=AL!4422!3!590500029985!e!!g!!dynamodb&ef_id=Cj0KCCQiA-dynamodb
- [46] www.g2.com. [citado el 29 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.g2.com/compare/couchbase-vs-redis-vs-aws-amazon-dynamodb>