

Hacia una arquitectura de software y hardware más fiable y escalable para los sistemas de salud

Towards a more reliable and scalable software and hardware architecture for Healthcare systems

Fabricio Marcillo^a, Raúl H. Palacios^b, Eugenio Rafael Mora-Zambrano^c, José Daniel Shauri-Romero^c, Jimmy Patricio Torres-Bastidas^c, Susana Magdalena Cobeña-Cobeña^c

Abstract:

In this work, an architecture that includes software and hardware with reliability and scalability properties for the Red Pública Integral de Salud (RPIS) of Ecuador is proposed. The architecture consists of a group of Corporate Data Center clusters hosted locally, each individual cluster represents an instance of RPIS, and the clusters replicate data to the Amazon Web Services cluster (Amazon RDS and Amazon S3). The proposal has been developed for Windows desktop environments, based on an n-layers client-server architecture. In the results, aspects of scalability, replication and data availability were made in the RPIS nodes. The proposed system has the capacity to be complemented with automated systems, such as, LIS, RIS and PACS.

Keywords:

PACS, RPIS, HIS, Amazon S3

Resumen:

En este trabajo se propone una arquitectura que comprende software y hardware con propiedades de fiabilidad y escalabilidad para la Red Pública Integral de Salud (RPIS) de Ecuador. La arquitectura consiste de un grupo de clusters Corporate Data Center alojados localmente, cada cluster individual representa una instancia de la RPIS, los cluster replican datos al clúster Amazon Web Services (Amazon RDS y Amazon S3). La propuesta se ha desarrollado para entornos Windows desktop, basado en una arquitectura cliente-servidor de n capas. En los resultados, se realizaron aspectos de escalabilidad, replicación y disponibilidad de datos en los nodos de la RPIS. El sistema propuesto tiene capacidad de complementarse con sistemas automatizados, tal como, LIS, RIS y PACS.

Palabras Clave:

PACS, RPIS, HIS, Amazon S3

Introducción

En entornos de computación de alto rendimiento (HPC por sus siglas en inglés), surge la necesidad acceder a grandes volúmenes de información distribuida en diferentes centros de datos. La transferencia manual de datos podría ser un proceso enfadoso que complicaría la transferencia de gran cantidad de archivos.

Además, las aplicaciones actuales demandan gran capacidad de cómputo, así como seguridad en la información que se transmite entre los nodos involucrados en el procesamiento y almacenamiento de la información.

De esas aplicaciones, en los últimos años, los hospitales han impulsado una modernización en la infraestructura y sistemas para procesamiento y almacenamiento de la información. Tal es el caso del Sistema de Información Hospitalaria (HIS por sus siglas en inglés) que consiste en un sistema integral para gestionar todas las áreas de operación de un hospital, entre las que se encuentran, tratamiento médico, administrativo, financiero y el procesamiento de servicios, entre otros.

El sistema HIS se ajusta específicamente a las necesidades de toda institución de salud donde se pretende implementar. Además, facilita la automatización de las operaciones básicas de la institución, así como la

^a Autor de Correspondencia, Instituto Superior Tecnológico Japón, Ecuador, Email: fmarcillo@itsjapon.edu.ec

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-1131-4545>, Email: raul_palacios@uaeh.edu.mx

^c Instituto Superior Tecnológico Japón, Ecuador, Email: eugenio.mora@itsjapon.edu.ec, jshauri@itsjapon.edu.ec, ttorres@itsjapon.edu.ec, scobena@itsjapon.edu.ec

Fecha de recepción: 22/10/2020, Fecha de aceptación: 29/10/2020, Fecha de publicación: 05/01/2021

reducción de costos, agilizando las tareas y mejorando la gestión de la información que se produce en la institución. Es importante resaltar que en un HIS se integran procesos importantes tales como: historia clínica de los pacientes, el Sistema de Información Radiológica (RIS por sus siglas en inglés) y los Sistemas de Almacenamiento y Comunicación de Imágenes (PACS por sus siglas en inglés).

En la actualidad el gobierno de Ecuador ha implementado la Red Pública Integral de Salud (RPIS) a través del proyecto nacional para transformar el sector salud con miras a lograr la universalidad de salud y la gratuidad de los servicios en el punto de recepción del servicio. La RPIS está integrada por: Ministerio de Salud Pública (MSP), Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IEES), Instituto de Seguridad Social de las Fuerzas Armadas (ISSFA), Instituto de Seguridad Social de la Policía Nacional (ISSPOL).

Aunado al objetivo de la RPIS, los hospitales tienen la necesidad de compartir información de los pacientes con el fin de optimizar los procesos y recursos para la atención sanitaria. Tal es el caso de Digital Imaging and Communication On Medicine (DICOM) [1] que consiste en un estándar de transmisión de imágenes médicas. DICOM es un protocolo utilizado para comunicación entre los equipos que componen una red DICOM [2]. Además, DICOM integra el sistema PACS, este último se ha convertido en el principal enfoque de almacenamiento de imágenes médicas (tal como, radiología, imágenes de ultrasonido, medicina nuclear, etc.) [3]. El término de sistema de información médica se refiere al sistema de comunicación y almacenamiento de imágenes médicas que se basa en la solución para el sistema de gestión de tecnología de procesamiento de imágenes de un entorno hospitalario. Además, la implementación de un PACS permite reducir significativamente las dosis de radiación en los pacientes y los costos operativos del departamento de radiología [4].

Tal como indica [3], en la industria de la medicina moderna, el sistema de información de imágenes médicas incluye: RIS, DICOM3.0, servidores HPC, las redes y los dispositivos de almacenamiento forman una plataforma de soporte de hardware para grandes bases de datos relacionales como herramientas de gestión de almacenamiento de datos e imágenes.

Aunque la implementación de un HIS tiene el potencial de mejorar la calidad y eficiencia de la prestación de atención médica y reducir los costos, es crucial comprender a fondo los flujos de trabajo de dónde se implementará el HIS para evitar las complejidades que puedan surgir [5].

Derivado del análisis realizado en la revisión de la literatura y a la necesidad que conlleva la implementación de la RPIS para la compartición de la información a través de las Tecnologías de la Información y las

Comunicaciones (TICs), en el presente trabajo se propone una arquitectura integral distribuida geográficamente donde se integran los servicios sanitarios de las entidades que forman la RPIS.

La estructura del artículo se describe de la siguiente manera. En la sección II se describe detalladamente la arquitectura del sistema propuesto, la sección III se menciona la implementación del sistema, sección IV recoge algunos resultados derivados de la implementación, la sección V proporciona las conclusiones del trabajo y finalmente se refiere al trabajo futuro.

Sistema propuesto

En la Figura 1 se muestra, los cluster Corporate Data Center 1, 2 y 3 alojados localmente y representan a cada instancia de la RPIS, estos cluster replican los datos al clúster Amazon Web Services (AWS) (Amazon RDS y Amazon S3).

En este caso, las instancias de SQL Server y la base de datos local funcionan con servidores físicos y máquinas virtuales. Las instancias de SQL Server en AWS están alojadas en Amazon EC2, y las bases de datos de SQL Server están configuradas en volúmenes de Amazon EBS. Se establece una conexión dedicada desde el cluster local a AWS a través de Direct Connect.

Como se presenta en el diseño propuesto, el grupo de disponibilidad local Corporate Data Center 1, 2 y 3 incorporan réplica entre Nodo 1 y Nodo 2 del cluster. La transferencia de ellos es síncrona, con conmutación por error automática. Si una de las réplicas locales falla, entonces pasa a la segunda réplica, de tal manera que la base de datos está disponible para las aplicaciones HIS, RIS, PACS, así como para los usuarios.

El grupo de disponibilidad AWS también tiene dos réplicas, y la transferencia de datos entre ellos es síncrona con conmutación por error automática. En caso de falla en alguna instancia o zona de disponibilidad es imperceptible para los usuarios y pasa a la siguiente zona de disponibilidad. Como parte de esta solución, se propone este sistema HPC distribuido. El mismo que contiene disponibilidad local así como en la nube. El grupo de disponibilidad distribuida mantiene las bases de datos sincronizadas de manera asíncrona.

El reenviador es responsable de enviar los datos a otras réplicas de lectura AWS. Este reenvío de datos reduce el flujo de tráfico entre las instalaciones y AWS. Los datos se envían una sola vez desde la réplica principal y el reenviador se encarga del resto. En cualquier momento dado, solo hay una base de datos que está disponible para escritura. Se puede usar el resto de bases de datos en las réplicas secundarias para las peticiones de lectura. En la arquitectura propuesta, la base de datos primaria se

encuentra alojada en los Corporate Data Center y está disponible para lectura y escritura y el resto son bases de datos secundarias (Nodo 2 en Local Corporate Data Center) y (Zona1 y

Zona2 en AWS) están disponibles solo para lectura y pueden ser utilizadas por cualquier unidad operativa de la RPIS.

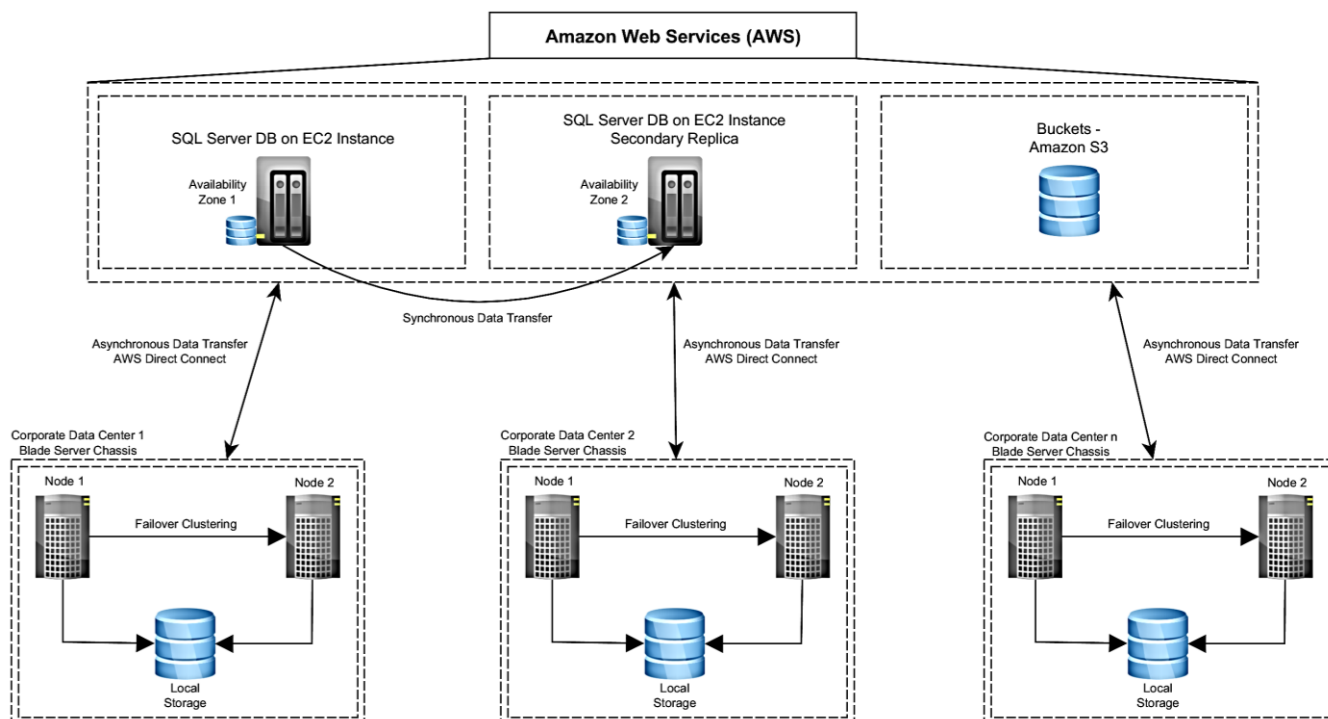


Figura 1. Arquitectura distribuida para HIS-RIS-PACS.

Un servicio adicional contemplado en la arquitectura es el uso de Buckets Amazon S3, es un almacén de valores claves diseñado para almacenar objetos. Bucket Amazon S3 se usa para almacenamiento de imágenes médicas con formato DICOM las mismas que son productos de las modalidades con las que comúnmente cuentan las unidades operativas de salud; tales como: Ecógrafos, Resonancia Magnética, Tomógrafos, Rayos X, Mamógrafos, y a su vez sincronizadas a los servicios RIS y PACS.

Implementación

Esta sección describe la implementación de un Sistema de Información Hospitalaria (HIS) para un nosocomio del Ministerio de Salud Pública de Ecuador. El HIS se ha desarrollado para entornos Windows desktop, basado en una arquitectura cliente-servidor de *n* capas, que permite aislar la lógica de negocios de la lógica de diseño.

Configuración

El marco de trabajo usado para el desarrollo del HIS fue .Net Framework 4.5; y utilizado C# como lenguaje de programación tanto para el backend como para el

frontend. Para el backend se utilizó Entity Framework como ORM (Object-Relational mapping), en conjunto con el motor de base de datos SQL Server que se integra con la tecnología Microsoft. El Hardware utilizado fue un Cisco UCS 5108-AC2 Blade Server Chassis, las características principales de las dos cuchillas utilizadas para este propósito fueron: Procesador Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2630 v4 @ 2.2 GHz 2.20 GHz (2 procesadores), Memoria RAM instalada 128 GB, Capacidad en Disco 1TByte. Al mismo tiempo para el NAS (Network Attached Storage), se utilizó el Hardware NetApp FAS2554 con 12 discos NL-SAS de 2TB, posterior se procedió con la instalación del sistema operativo Ontap en el sistema de almacenamiento FAS2554; asimismo se implementó (Redundant Array of Independent Disks) RAID-DP es una funcionalidad estándar de Data ONTAP que protege los datos de dobles fallos de disco. Para proyectos a gran escala, como las implementaciones de bases de datos de los HIS, es vital contar con un marco cohesivo y estructurado para ello se utilizó Microsoft Solutions Framework (MSF) como un conjunto de principios, modelos, disciplinas, conceptos y directrices para la prestación de Servicios de tecnología de la información. MSF no se limita al desarrollo de aplicaciones, sino que

también es aplicable a otros proyectos de TI como despliegue, redes o proyectos de infraestructura. Con el uso de esta metodología MSF se logró implementar un clúster de alta disponibilidad. Es decir si uno o más de los nodos del clúster fallan, otros nodos comienzan a proporcionar servicio (un proceso conocido como conmutación por error). Además, las funciones agrupadas se supervisan de forma proactiva para verificar que funcionan correctamente. Si no están funcionando, se reinician o se mueven a otro nodo. Esta característica "Failover Clustering in Windows Server", tiene muchas aplicaciones prácticas que incluyen almacenamiento de archivos compartidos de alta disponibilidad o disponibilidad continua para aplicaciones como las máquinas virtuales Microsoft SQL Server y Hyper-V. Funciones en clúster altamente disponibles que se ejecutan en servidores físicos o en máquinas virtuales que se instalan en servidores que ejecutan Hyper-V.

Resultados

En el proceso de la implementación y experimentación de la arquitectura propuesta, se consideraron diferentes instancias de la RPIS según la carga de trabajo de cada una de estas.

En primer lugar, durante la creación de una instancia de base de datos en AWS RDS, existe la opción de elegir si se desea tener una instancia de implementación única o múltiple. Si se elige una instancia con múltiples despliegues, se crea una instancia de espera en otra zona de disponibilidad, lo que aumenta la durabilidad y disponibilidad en caso de algún fallo en el sistema. Con el fin de mantener los datos actualizados con la instancia primaria, el motor de Microsoft SQL Server se utiliza la replicación lógica síncrona para lograr el mismo resultado mediante el empleo de la tecnología mirroring native de Microsoft SQL Server.

Cuando considera el almacenamiento de la base de datos, las dimensiones sustanciales son el tamaño de la información, la latencia, el rendimiento y las operaciones por segundo del volumen. Es decir, la latencia y las operaciones por segundo están estrechamente

relacionadas y son indicadores clave del rendimiento de la base de datos.

Por otro lado, en base al Registro Estadístico de Recursos y Actividades de Salud 2017, emitido por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República del Ecuador, la tasa de médicos y odontólogos a nivel país en el período 2000 / 2017 presentan una tendencia creciente, especialmente la tasa de médicos, con un incremento de 14 puntos entre el período de análisis. Para el año 2017, existen 22 médicos y 3 odontólogos por cada 10000 habitantes; en el año 2016, la tasa de obstetras es de 1,27 por cada 10000 habitantes, con un incremento de 0,02 puntos en relación al año 2016. La tasa de psicólogos muestra un crecimiento relevante a partir del año 2011, con una tasa de 0,87 por cada 10000 habitantes en el 2017.

El personal de salud (médicos, odontólogos, obstetras y psicólogos) generaron en el año 2017, 66,89 millones de consultas de morbilidad a pacientes del sector público, 5,59 millones de consultas de morbilidad a pacientes del sector privado sin fines de lucro, y 5,11 millones de consultas de morbilidad a pacientes del sector privado con fines de lucro. Es decir, existieron 77,6 millones de registros médicos en el período.

Con los antecedentes anteriores, en la Tabla 1 se detalla una combinación de ocho instancias de propósito general (cómputo, memoria y almacenamiento optimizado), que son los tipos de instancias optativas que las Unidades Operativas de Salud que pertenecen a la RPIS, pueden considerar para sus cargas de trabajo de alto rendimiento. Todas son instancias optimizadas de Amazon EBS.

En cuanto al almacenamiento, los volúmenes SSD (GP2) de propósito general ofrecen un almacenamiento ideal para una amplia gama de cargas de trabajo de la RPIS, entre las principales latencias de milisegundos de un dígito, capacidad de explotar hasta 3.000 operaciones por segundo durante periodos de tiempo prolongados, y rendimiento de referencia de 3 operaciones por segundo /GiB hasta un máximo de 10.000 operaciones por segundo (en 3.334 GB). Los volúmenes de la GP2 pueden variar en tamaño desde 1 GB hasta 16 TB.

Type	Family	vCPU	Memory	Instance Storage	Network Performance	EBS-Optimized Max Bw	EBS-Optimized Throughput	EBS-Optimized Max 16k IOPS
General purpose	m5.xlarge	4	16	EBS only	High	2120 Mbps	265 MB/s	16000 IOPS
Storage Optimized	i3.2xlarge	8	61	1900 GB	Up to 10 Gigabit	1700 Mbps	212.5 MB /s	12000 IOPS
Storage Optimized	i3.4xlarge	16	122	3800 GB	Up to 10 Gigabit	3500 Mbps	437.5 MB /s	16000 IOPS
Memory Optimized	r4.4xlarge	16	122	EBS only	Up to 10 Gigabit	3500 Mbps	437.5 MB /s	18750 IOPS
Memory Optimized	r5d.4xlarge	16	128	600 GB	Up to 10 Gigabit	3500 Mbps	437.5 MB /s	18750 IOPS
Memory Optimized	r4.8xlarge	32	244	EBS only	10 Gigabit	7000 Mbps	875 MB /s	37500 IOPS
Memory Optimized	X1e.8xlarge	32	976	960 GB	Up to 10 Gigabit	3500 Mbps	437.5 MB /s	20000 IOPS
Memory Optimized	r4.16xlarge	64	488	EBS only	25 Gigabit	14000 Mbps	1750.5 MB /s	75000 IOPS
Memory Optimized	m5.24xlarge	96	384	EBS only	25 Gigabit	10000 Mbps	1250.5 MB /s	65000 IOPS

Tabla 1. Instancias a considerar en unidades RPIS según la carga de trabajo.

Conclusiones

Se implementó un Sistema de Información Hospitalaria (HIS), en un hardware de altas prestaciones, con el fin de proponer una arquitectura para la Red Pública Integral de Salud, compuesta por el Ministerio de Salud Pública (MSP), Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IEES), Instituto de Seguridad Social de las Fuerzas Armadas (ISSFA), Instituto de Seguridad Social de la Policía Nacional (ISSPOL); es decir los hospitales pueden considerar sus instancias y cargas de trabajo según su cartera de servicios.

El HIS brinda la posibilidad de complementarse con otros sistemas como son LIS, RIS y PACS automatizados para la evaluación de los costos y la eficiencia en el uso de los recursos, vinculados al movimiento de camas, días de estada, notas de evolución, recetas de medicamentos, imágenes médicas entre otros. La información que se genera permanentemente se origina de consulta externa, emergencias y hospitalización. Los registros médicos deben estar disponibles independientemente de la afiliación del paciente.

Referencias

- [1] Oleg S Pinykh. Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide. Springer Science & Business Media, 2009.
- [2] Luis R Alvarez and Roberto Vargas Solis. Dicom ris/pacs telemedicine network implementation using free open source software. IEEE Latin America Transactions, 11(1):168-171, 2013.
- [3] Liting Yan. Dicom standard and its application in pacs system. Medical Imaging Process & Technology, 1(1), 2018.
- [4] Marcel Modr'ak and Vladim'ir Modr'ak. The effect of a pacs on patient radiation doses and operating costs in a radiology department: A practical study. Procedia Technology, 9:1282 - 1287, 2013.
- [5] Eliza Mazlan. A qualitative study of workflow and information systems within Emergency Departments in the UK. PhD thesis, University of Sheffield, 2017.