

Ingeniería de Nube para el Sector Eléctrico: Desafíos y Oportunidades en Paraguay

Ariel Guerrero, Fabio López Pires, David Cabañas

Parque Tecnológico Itaipu - Paraguay

Paraguay

Resumen

El modelo de Computación en la Nube (Cloud Computing) presenta el concepto de provisión de infraestructura, plataforma y software como servicios provisionados bajo demanda. En ese sentido, ha presentado importantes avances en todas las verticales de negocios, siendo el Sector de Energía uno de los más relevantes y emergentes a nivel de tecnologías operacionales (Operational Technologies, OT). Para el contexto de los sistemas críticos se presentan importantes oportunidades con la adopción de Cloud Computing, principalmente orientados a mejorar tolerancia a fallas, incorporar resiliencia y elasticidad de recursos computacionales.

Los sistemas industriales contemporáneos enfrentan el desafío de los requisitos de rápido crecimiento para una reactividad ágil y efectiva a las demandas. Para lograr este conjunto de requisitos se están introduciendo en los entornos industriales nuevas tecnologías y paradigmas tales como Internet de las cosas (Internet of Thing, IoT) , Big Data, computación móvil, los sistemas ciberfísicos (Cyber Physical Systems, CPS) quienes pueden acoplar estrechamente el ciberespacio con el mundo físico. Estos avances dan como resultado la confluencia de dos dominios diferentes pero complementarios. La convergencia de estos dos dominios en forma de capas cruzadas implica un nuevo conjunto de dos requisitos principales de componentes y sistemas: 1) conectividad estructural y 2) interoperabilidad funcional. Sin embargo, la gran variedad y heterogeneidad de los sistemas industriales -especialmente en la planta de producción- conlleva una complejidad de integración que contrasta con los requisitos mencionados. Desde nuestro punto de vista, el CPS integrado en la nube (Cloud Cyber Physical Systems, CCPS) abrirá la puerta para permitir que se construyan, implementen, administren y controlen de manera efectiva escenarios de aplicaciones de ingeniería que antes eran inalcanzables.

En este trabajo se exploran los principales desafíos existentes para la incorporación de Ingeniería de Nube (Cloud Engineering) en el diseño e implementación para Sistemas de Automatización y Control Industrial (Industrial Automation and Control Systems, IACS), principalmente enfocados al Sector de Energía. Estos desafíos podrán ser de utilidad a la hora de planificar y ejecutar procesos de actualización tecnológica y transformación digital para este importante sector de la economía mundial. Además, en base a los desafíos identificados, se detallan oportunidades de innovación y mejora continua existentes con la adopción de Cloud Computing dentro de las tecnologías operacionales orientados principalmente a la seguridad, privacidad y criticidad de los sistemas en cuestión.

Palabras clave:

Cloud Computing, Cloud Engineering, CPS, CCPS, IACS, Actualización Tecnológica, Transformación Digital.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

1. INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías Operacionales (TO) y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) interactúan en diferentes niveles en el diseño y desarrollo de los Sistemas de Automatización y Control Industrial (IACS). Se cree ampliamente que los IACS necesitan una acumulación continua de conocimiento en campos de dominio de ingeniería bien específicos [02]. En las últimas décadas, la revolución tecnológica de la tecnología de la información están conectando estrechamente a personas, equipos y procesos, que originalmente estaban aislados. El campo industrial también se hace eco de esta tendencia, adoptando nuevas tecnologías emergentes tales como Computación en la Nube y otras tecnologías de base, con el objeto de satisfacer las crecientes demandas de los clientes.

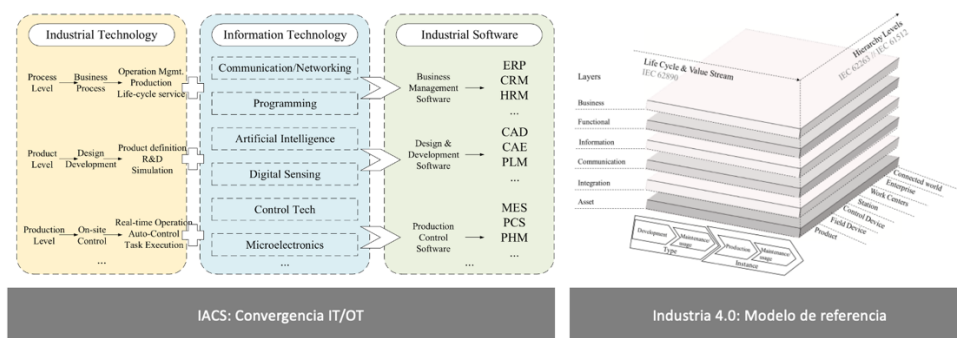


Figura 1 -IACS y la Industria 4.0 (Extraído de [02])

De acuerdo a la finalidad del sistema, los IACS pueden ser divididos en diferentes categorías como se indica en la **Figura 1** tales como software de gestión empresarial (ERP, Enterprise Resource Planning) o software de gestión de clientes (CRM, Customer Relation Management), software de gestión de producción tales como los PCS (Process Control System), PHM (Prognosis Health Management) y MRO (Maintenance, Repair & Operations). Esta clasificación es ampliamente aceptado y ha sido adoptado por diferentes empresas tales como SIEMENS en su framework de la Industria 4.0.

La industria 4.0 presenta una imagen mas amplia de la cuarta revolución industrial basada en CPS, la cual puede conducir a la mejora substancial de los procesos industriales, incluida la fabricación, la gestión de la cadena de suministro y la gestión del ciclo de vida de los activos de ingeniería en forma integrada y simultanea.

En el campo del diseño industrial y el desarrollo de sistemas softwares, nos enfocamos en una tecnología disruptiva clave, el software industrial basado en computación en la nube y sus tecnologías habilitadoras tal como IIOT y CPS. Estos avances clave no solo atrajeron la atención de la academia sino que guiaron a muchos gigantes y consorcios de software industrial para lanzar un progreso real y efectivo, con énfasis a los diferentes campos, escenarios de uso y situación técnica.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

El objetivo principal de esta breve revisión bibliográfica es introducir al lector en los conceptos clave de esta tecnología así como introducir las primeras experiencias de aplicar la solución de la computación en la nube para la automatización industrial

2. VISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés) define la “Computación en la Nube” como “un modelo para permitir el acceso de red ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto de recursos informáticos configurables (por ejemplo: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se puede provisionar y liberar rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el proveedor de servicios” [10] Este modelo está compuesto de cinco características esenciales, tres modelos de servicios y cuatro modelos de negocio, como se indica en la **Figura 2**.

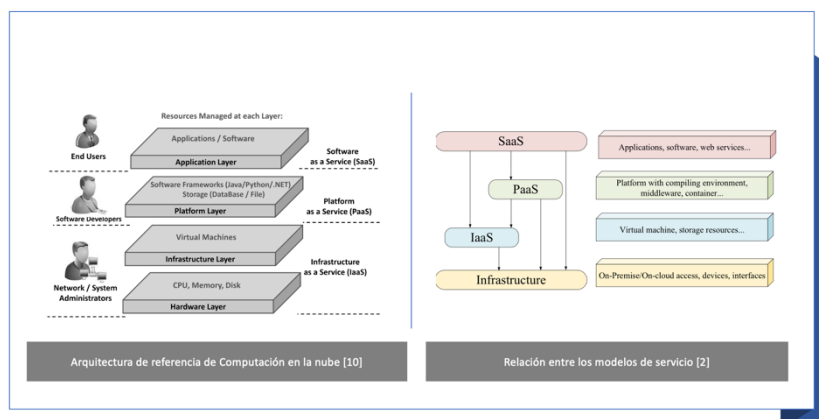


Figura 2 - Arquitectura y modelo de servicios de Computación en la nube

En el modelo de servicios, los recursos de hardware y software se entregarán como servicios bajo demanda y se clasifican en:

IaaS: aprovisiona recursos de infraestructura como máquinas virtuales bajo demanda. Es el modelo de servicio en la nube más esencial. Amazon EC2, Microsoft Windows Azure y otros proveedores ofrecen sus recursos a los usuarios con menor complejidad utilizando este modelo de servicio.

PaaS: proporciona recursos de capa de plataforma, como marcos de desarrollo de software y componentes de implementación. Los desarrolladores de software emplean estos servicios para desarrollar e implementar aplicaciones con una instalación y preparación de recursos mínimas. Google App Engine, Microsoft Windows Azure son ejemplos de proveedores de PaaS.

SaaS: ofrece aplicaciones en la nube bajo demanda a los usuarios a través de la red. Este servicio ofrece abstracción completa de la complejidad para los usuarios. No necesitan lidiar con la preparación de los recursos de hardware y software requeridos y se puede acceder a la aplicación a través de una interfaz estándar, tales como navegadores web. Los ejemplos de proveedores de SaaS incluyen Microsoft Office 365, Google Calendar entre otros.

Según las aplicaciones y la arquitectura de las nubes, se pueden dividir en cuatro modelos de despliegue:

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

Nube privada: La infraestructura de la nube está aprovisionada para uso exclusivo de una sola organización que comprende múltiples consumidores (por ejemplo, unidades de negocio). Puede ser propiedad, ser administrada y operado por la organización, un tercero o alguna combinación de ellos, y puede existir dentro o fuera de las instalaciones.

Nube comunitaria: La infraestructura en la nube está aprovisionada para uso exclusivo de un determinado comunidad de consumidores de organizaciones que tienen preocupaciones compartidas (por ejemplo, misión, requisitos de seguridad, políticas y consideraciones de cumplimiento). Puede ser propiedad, administrado y operado por una o más de las organizaciones en la comunidad, un tercio partido, o alguna combinación de ellos, y puede existir dentro o fuera de las instalaciones.

Nube pública: La infraestructura de la nube está aprovisionada para uso abierto por parte del público en general. Puede ser propiedad, administración y operación de una organización comercial, académica o gubernamental, o alguna combinación de ellos. Existe en las instalaciones del proveedor de la nube.

Nube híbrida: La infraestructura de la nube es una composición de dos o más nubes distintas infraestructuras (privadas, comunitarias o públicas) que siguen siendo entidades únicas, pero están vinculadas juntos por tecnología estandarizada o propietaria que permite que los datos y la aplicación portabilidad.

Dentro de las tecnologías de vanguardia utilizadas en la Computación en la Nube para ofrecer estos servicios se encuentran: Virtualización, gestión de Máquinas Virtuales, Calidad de Servicio, Asignación de Recursos, job scheduling. [03]

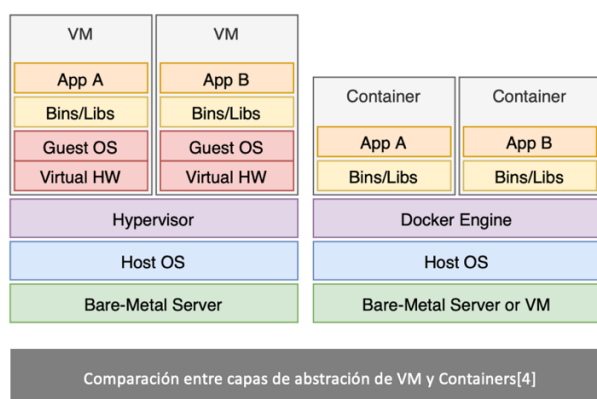


Figura 3 - Máquinas Virtuales y Contenedores

A continuación, se brindará una breve introducción a las tecnologías de máquinas virtuales y contenedores, tenga en cuenta que otras tecnologías de virtualización menos comunes existen pero no son viables para la virtualización en el contexto industrial.[4]

La **Virtualización** se refiere a la sustitución de recursos físicos por réplicas virtuales. La virtualización ofrece numerosas ventajas, comenzando con la facilidad de implementación, el uso más económicamente eficiente del hardware físico y la seguridad mejorada habilitada por el aislamiento que acompaña a la virtualización.

La **Máquina virtual (VM)**: El software de virtualización de hardware, o Hipervisor puede ejecutarse como una aplicación sobre un sistema operativo host en ejecución o ejecutarse sin sistema operativo

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022**

con un kernel personalizado que proporciona un mayor rendimiento. Además del hipervisor, varias máquinas virtuales invitadas pueden ejecutarse en paralelo, por lo que cada máquina virtual puede tener un sistema operativo y un hardware virtual diferentes.

El término **Contenedor** se refiere a un entorno virtualizado a nivel del sistema operativo que ofrece ventajas similares a las de las máquinas virtuales con respecto al aislamiento y la facilidad de implementación, a la vez que cuesta significativamente menos recursos, ya que varios contenedores aislados pueden ejecutarse directamente en el sistema operativo subyacente y el hardware físico o virtual simultáneamente con otros contenedores. Como se puede ver en la **Figura 3**, una aplicación y sus dependencias se pueden empaquetar en un contenedor, que se ejecuta en un software de administración de contenedores. Los contenedores ofrecen una virtualización eficiente y liviana y permiten una implementación de aplicaciones de servidor independiente de la plataforma fácil y escalable y presentan muchas herramientas de automatización novedosas que ayudan a la operación.

3. RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Para Givechi et al [10] los trabajos existentes relacionados con la Computación en la Nube pueden caracterizarse en función de su enfoque a cada nivel de Automatización individual. La mayoría de los trabajos tienen como objetivo migrar funciones y servicios de la arquitectura de automatización a a un arquitectura plana, como se indica en la **Figura 4**.

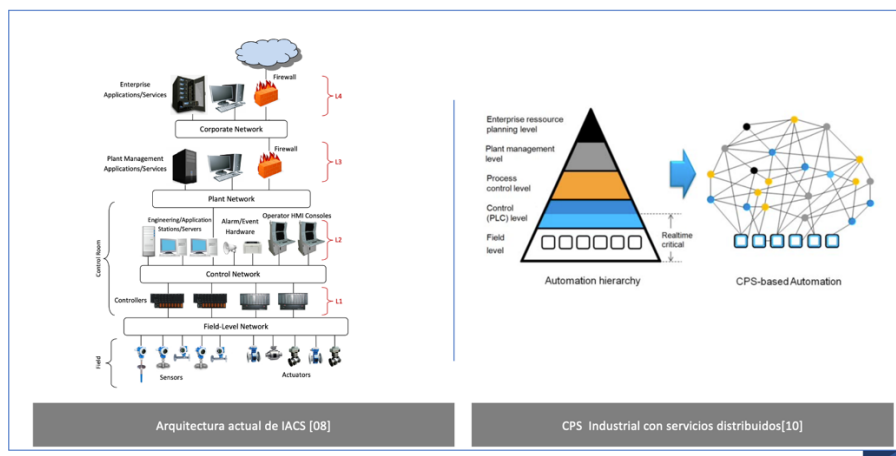


Figura 4 - Mapeo de IACs actual a una Nube Industrial

Shu et al [07] las técnicas de gestión de recursos virtualizados deben estar orientados al campo de uso. Las aplicaciones complejas industriales requieren mucho cálculo, baja latencia. En forma adicional estos componentes pueden tener requerimientos diferentes, por ejemplo el tipo de recurso y capacidad. Así una aplicación puede requerir computo intensivo y menos almacenamiento, mientras que otra aplicación puede ser de entrada/salida intensiva y computacionalmente menos demandante.

Gundall et al [4] sostiene que las aplicaciones industriales poseen como requerimientos tiempo de ciclo altos, determinismo y disponibilidad. Esto incluye casos de uso como máquinas herramientas, empaquetadoras e impresoras, que normalmente requieren un tiempo de ciclo máximo de 0,5 a 2 ms,

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

y una sincronicidad de 1 a 5 μ s y una falla máxima de menos de 1 minutos por año. La IEC 61131-3 describe la funcionalidad de los PLC (Programable Logic Controller). Los PLC son controladores de hardware sofisticados, que suelen proporcionar tiempo de procesamiento bajo y una alta disponibilidad. Además del tiempo de procesamiento del PLC, el tiempo de ciclo también incluye la duración de la transmisión de datos de los sensores al PLC y la recepción de los valores de salida por parte del actuador. En consecuencia, el sistema de comunicación subyacente también tiene que cumplir con estas demandas. Para satisfacer de forma fiable los requisitos de todos los tipos de casos de uso, se desarrollaron protocolos de comunicación muy heterogéneos, los llamados protocolos de comunicación industrial, requiriendo la posibilidad de comunicación a nivel de capa 2 del modelo de referencia ISO/OSI. Las pruebas de virtualización del softPLC fueron satisfactorias para la tecnología basada en contenedores, limitando el rango de aplicaciones con requerimientos temporales de 1 ms. (soft-RT), que pueden ser demasiado alto para determinadas aplicaciones industriales.

Ferreira et al [09] propone un virtual IED basado en la IEC 61850. El caso de estudio es un sistema de control de tensión de una barra a través de un cambiador de tomas de carga, simulación basada en un sistema real existente de la Subestación Margen Derecha (SEMD). Dentro de los retos identificados se encuentran los requerimientos de rendimiento, consideraciones de tiempo real, establecimiento de métricas, mejoras en el diseño.

Finalmente, distintos autores referenciados a la bibliografía, hablan de la importancia de la arquitectura a ser adoptado para el despliegue de aplicaciones en la nube, hacen eco de la necesidad de una arquitectura que permita la interoperabilidad con sistemas legados o como ajustar a las requerimientos específicos del área.

Dentro de las implementaciones de servicios de Computación en la nube para automatización industrial se pueden identificar los siguientes servicios:

- **Control as a Service:** Los controladores industriales juegan un papel importante en los sistemas de automatización, dado que proporcionan funciones de control independientes para cada módulo de dispositivos por separado. Esto da forma a la idea principal de entregar funciones de control como servicios a la planta.
- **Engineering Applications as a Service:** La gran variedad de aplicaciones de ingeniería en diferentes niveles de la jerarquía de automatización conduce a tareas complejas de instalación y mantenimiento de plantas. Estas aplicaciones de ingeniería, son utilizadas por los usuarios para configurar los diferentes dispositivos de la planta. Estas aplicaciones pueden encapsularse dentro de los servicios y entregarse a los usuarios a través de la red, independientemente de una plataforma en particular. Como se menciona en la arquitectura de la nube, el software como servicio (SaaS).

4. CASOS DE USO

4.1. Migración de un sistema SCADA a IaaS

Church et al [6] presentan los resultados de un estudio experimental de migrar un sistema SCADA a la nube utilizando el enfoque “levantar y llevar” como se ilustra en la **Figura 5**. Los sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) son fundamentales para una amplia gama de sistemas industriales de misión crítica, desde instalaciones de infraestructura como tuberías de gas o instalaciones de control de agua hasta plantas industriales. Los sistemas SCADA permiten

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

a un usuario monitorear (usando sensores) y controlar (usando actuadores) un sistema industrial de forma remota. Como estos sistemas son críticos para los procesos industriales, a menudo se ejecutan en hardware dedicado y altamente confiable.

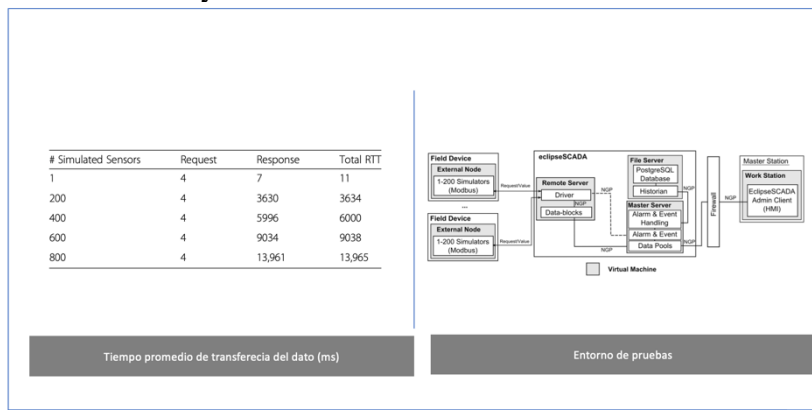


Figura 5 - SCADA como IaaS

Al trasladar un sistema SCADA a una infraestructura en la nube, es necesario garantizar que se puedan lograr las demandas de control y monitoreo en tiempo real del sistema industrial. Las latencias introducidas por la ejecución de los componentes del sistema SCADA en la nube no son un factor limitante, dado que los requisitos de tiempo de respuesta suelen ser del orden de varios cientos de milisegundos a segundos. Si bien el poder de cómputo escalable en un sistema basado en la nube tiende a centralizar las funcionalidades, esto puede generar problemas en los diseños de sistemas determinados. La complejidad de los dispositivos de campo significa que los simuladores no están fácilmente disponibles. Los protocolos de sondeo se basan en temporizadores que transfieren la misma cantidad de datos en cada intervalo de sondeo. Cuando se trabaja con simuladores controlados por eventos, la cantidad de datos que se transfieren cambia dependiendo de los eventos registrados (que depende del tamaño del sistema y la aplicación). Los experimentos con protocolos basados en eventos deben incluir la simulación de conjuntos de datos realistas, e idealmente bajo diferentes aplicaciones y escenarios.

4.2. Control de procesos como PaaS

Hegazy et al [8] en su revisión bibliográfica se enfoca en el control como la funcionalidad más crítica y exigente en cuanto a prestaciones temporales. Implementa el controlador de un modelo físico de una planta solar, como se ilustra en la **Figura 6**, con algoritmos tolerantes a fallas, emulando retrasos y perturbaciones inyectadas, demostrando que los controladores basados en la nube funcionan de manera indistinguible de sus contrapartes más conocidas: los controladores locales.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

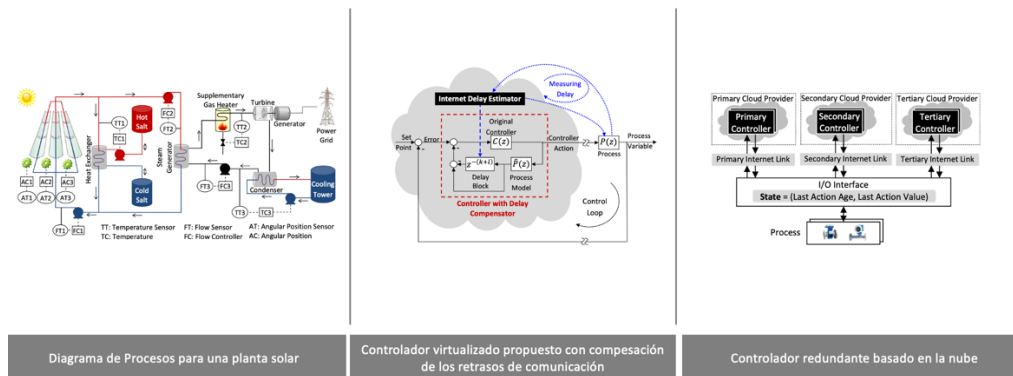


Figura 6 - Control de Procesos como PaaS

Al abordar la capa de automatización industrial más desafiante, esto implica que las otras capas son direccionables.

5. CONCLUSION

Se puede afirmar que la automatización industrial se puede ofrecer como un servicio en la nube, dependiendo del nivel en la jerarquía de automatización, el caso más crítico es el del Control como Servicio, el mismo puede actuar como copias de seguridad de los controladores físicos de los sistemas de misión crítica. Esto es más económico que replicar todos los controladores físicos y se pueden usar para administrar sistemas temporalmente mientras sus controladores físicos se actualizan o reemplazan debido a fallas. Esto está en línea con la naturaleza bajo demanda de los servicios en la nube, y por último, los controladores se pueden implementar en nubes privadas para dar servicio a múltiples instalaciones de la misma empresa, consolidando las funcionalidades de automatización en un centro de datos.

La adopción de la computación en la nube requiere que los empleados desarrollen nuevas habilidades y adaptarse a los nuevos roles siendo las organizaciones responsables de proporcionar canales de aprendizaje continuo. Otro impacto es el modelo contractual suele adoptar la forma de acuerdos de un solo click. Sin embargo las organizaciones pueden negociar para direccionar sus preocupaciones tales como, qué y donde se almacenan los datos en las nubes, la exclusión de responsabilidad por desastres naturales, cortes de energía y ataques cibernéticos importantes, así como la gestión de un seguro por pérdidas por eventos imprevistos.

Las leyes que rigen el uso de datos en el territorio donde se encuentra el almacenamiento en la nube prevalecerán sobre los datos almacenados. La bibliografía consultada enfatiza que todos los datos de la organización sean completamente retractiles y que la propiedad total recaiga sobre la organización.

La revisión bibliográfica destaca algunos de los desafíos y beneficios y proporciona estrategias para sobrevivir a ellos y menciona algunos de los beneficios futuros de una adopción más amplia de la computación en la nube en la industria.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hästbacka, D., Halme, J., Barna, L., Hoikka, H., Pettinen, H., Larrañaga, M., ... & Elo, M. (2021). "Dynamic edge and cloud service integration for industrial iot and production monitoring"

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

- applications of industrial cyber-physical systems”. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(1), 498-508.
- [2] Chao, Y. U., Qing, L. I., Kui, L. I. U., Yuwen, C. H. E. N., & Hailong, W. E. I. (2021). “Industrial Design and Development Software System Architecture Based on Model-Based Systems”. *Engineering and Cloud Computing. Annual Reviews in Control*, 51, 401-423.
- [3] Bello, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Delgado, J. M. D., Akanbi, L. A., ... & Owolabi, H. A. (2021). “Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges”. *Automation in Construction*, 122, 103441.
- [4] Gundall, M., Reti, D., & Schotten, H. D. (2020, July). “Application of Virtualization Technologies in Novel Industrial Automation: Catalyst or Show-Stopper?”. In *2020 IEEE 18th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (Vol. 1, pp. 283-290)*. IEEE.
- [5] Church, P., Mueller, H., Ryan, C., Gogouvtis, S. V., Goscinski, A., & Tari, Z. (2017). “Migration of a SCADA system to IaaS clouds—a case study”. *Journal of Cloud Computing*, 6(1), 1-12.
- [6] Givehchi, O., Landsdorf, K., Simoens, P., & Colombo, A. W. (2017). “Interoperability for industrial cyber-physical systems: An approach for legacy systems”. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(6), 3370-3378.
- [7] Shu, Z., Wan, J., Zhang, D., & Li, D. (2016). “Cloud-integrated cyber-physical systems for complex industrial applications”. *Mobile Networks and Applications*, 21(5), 865-878.
- [8] Hegazy, T., & Hefeeda, M. (2014). “Industrial automation as a cloud service”. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(10), 2750-2763.
- [9] Lo, T. B., Mendes, M. F., Samaniego, H. A. L., & De Oliveira, R. S. (2014, November). “Cloud IEC 61850: Architecture and integration of electrical automation systems”. In *2014 Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (pp. 13-18)*. IEEE.
- [10] Givehchi, O., & Jasperneite, J. (2013). “Industrial automation services as part of the Cloud: First experiences”. *Proceedings of the Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation—KommA, Magdeburg*.