

# PROTOTIPO DE CLÚSTER DE COMPUTADORAS BASADO EN OPENSTACK PARA EL DESPLIEGUE DE LABORATORIOS VIRTUALES

## PROTOTYPE OF COMPUTER CLUSTER BASED ON OPENSTACK FOR THE DEPLOYMENT OF VIRTUAL LABORATORIES

D. I. Gallardo Álvarez<sup>1</sup>  
J. P. Razón González<sup>2</sup>  
N. León Vega<sup>3</sup>  
A. E. Núñez Juárez<sup>4</sup>

### RESUMEN

Hoy en día, hablar de educación efectiva implica múltiples factores y adaptaciones a las nuevas necesidades de aprendizaje de los estudiantes, y más, si se considera la nueva realidad. En tema de innovación educativa, a medida que estas necesidades cambian y los avances en la tecnología continúan, las instituciones educativas deben hacer frente a esta adaptación proponiendo iniciativas pedagógicas hacia un futuro híbrido, en el que se combinen las clases tradicionales con la enseñanza a través de herramientas tecnológicas. En este sentido, el presente trabajo da a conocer los avances logrados de la propuesta realizada en el año 2019 y que tuvo continuidad durante el año 2020; propuesta enfocada al diseño de una infraestructura de cómputo en la nube que se incorpore como herramienta didáctica, que ayude a mitigar los problemas derivados de las limitantes de hardware especializado que se requiere para el desarrollo de prácticas de laboratorio, en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Irapuato. Dicho proyecto, desde el 2019, se ha tomado como área de oportunidad que permita la obtención de aprendizaje significativo de y para los estudiantes del tecnológico que ayude a fortalecer su formación. Al finalizar el año 2020, se ha logrado la participación de cuatro estudiantes que con su contribución obtuvieron el grado como Ingenieros en Sistemas Computacionales.

### ABSTRACT

Currently, talking about effective education implies multiple factors and adaptations to students' new learning needs, and more, if the new reality is considered. In terms of educational innovation, as these needs change and advances in technology continue, educational institutions must face this adaptation by proposing pedagogical initiatives towards a hybrid future, in which traditional classes are combined with teaching through of technological tools. In this sense, this paper presents the progress made in the proposal made in 2019 and which continued during 2020; proposal focused on the design of a cloud computing infrastructure that is incorporated as a didactic tool, which helps to mitigate the problems derived from the limitations of specialized hardware that is required for the development of laboratory practices, in the Systems Computers Engineering career of the Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Irapuato. This project, since 2019, has been taken as an area of opportunity that allows obtaining meaningful learning by and for students at this university that helps strengthen their training. At the end of the year 2020, the participation of four students has been achieved, who with their contribution obtained the degree as Computer Systems Engineers.

---

<sup>1</sup> Profesor de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [dennise.ga@irapuato.tecnm.mx](mailto:dennise.ga@irapuato.tecnm.mx)

<sup>2</sup> Profesor de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [juan.rg@irapuato.tecnm.mx](mailto:juan.rg@irapuato.tecnm.mx)

<sup>3</sup> Profesor de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [nestor.lv@irapuato.tecnm.mx](mailto:nestor.lv@irapuato.tecnm.mx)

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [LIS16110176@irapuato.tecnm.mx](mailto:LIS16110176@irapuato.tecnm.mx)

## ANTECEDENTES

Actualmente, la mayoría de las organizaciones brindan servicios a una suma importante de usuarios y procesan una inmensa cantidad de datos, y las instituciones educativas no son excepción; por ello, el contar con una infraestructura tecnológica capaz, es sumamente importante para brindar estos servicios de manera adecuada y lograr altos niveles competitivos.

El uso de las tecnologías de clúster de computadoras es una solución común a los problemas relacionados con infraestructuras tecnológicas, para mitigar las limitantes de hardware que surgen al ejecutar todos los servicios en un solo servidor, es decir, una arquitectura monolítica (Hernández *et al.*, 2003). Desde su comienzo, la técnica de unir recursos de almacenamiento y procesamiento de hardware para trabajar como una única entidad ha sido muy útil para procesar problemas científicos, y en estos años ha tomado importancia para ejecutar una serie de aplicaciones de forma conjunta y aparecer ante clientes y aplicaciones como un solo sistema, aumentando la escalabilidad, disponibilidad y fiabilidad de múltiples niveles de red.

Particularmente, para las Instituciones de Educación Superior (IES), principalmente escuelas de ingeniería, contar con infraestructura tecnológica que permita al alumno realizar prácticas de laboratorio actualizadas y acordes con su formación, es fundamental; en este sentido, en el TecNM campus Irapuato, se identificó la importancia de la implementación de una arquitectura de nube institucional que ayude a resolver la problemática detectada y abordada en el artículo “Diseño de prototipo didáctico de cómputo en la nube para el despliegue de laboratorios virtuales”, referente a que no todos los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de este tecnológico, cuentan con una computadora con la capacidad de realizar prácticas de virtualización de sistemas operativos que presenten una funcionalidad adecuada; práctica común que se realiza en diversas asignaturas del programa académico mencionado (Gallardo *et al.*, 2020).

En 2019, se inició el desarrollo de un prototipo de infraestructura de cómputo en la nube basado en OpenStack, en el que participaron dos alumnos y tres profesores; considerándose una primera fase, este prototipo se implementó en una arquitectura monolítica que concluyó de manera exitosa. Primeramente, se logró que los dos alumnos al involucrarse con un contexto real desarrollaran competencias en temas que actualmente demanda el sector público y privado.

Por su parte, en cuestión tecnológica, se logró la validación de las ventajas referentes al consumo de recursos de hardware por parte de los clientes al usar el cómputo en la nube contra la virtualización basada en host (que es la que actualmente utilizan los estudiantes), sin embargo, cabe resaltar que al haber sido desarrollado sobre una sola computadora se tuvieron limitaciones en el rendimiento del sistema en sí, lo cual reveló la necesidad de implementarlo sobre un arreglo de computadoras o un servidor dedicado.

Partiendo del concepto de unir varios equipos de cómputo para que trabajen como uno solo y del hecho de que adquirir un servidor dedicado no siempre es algo sencillo, surge este nuevo proyecto, que al igual que la primera fase, se traduce en una excelente oportunidad para involucrar estudiantes del tecnológico que les permita adquirir experiencias, fortalecer sus conocimientos y desarrollar competencias que difícilmente en el aula se logran.

El proyecto consiste en la creación de un clúster de computadoras, con la participación de dos estudiantes, que permita el despliegue del servicio de virtualización de OpenStack, con el fin de analizar el rendimiento del sistema en comparación con una arquitectura monolítica, y tener el sustento tecnológico para proponerlo e implementarlo como herramienta institucional.

El objetivo se centra en aprovechar este tipo de proyectos de innovación para que, en primera instancia, los estudiantes se involucren y fortalezcan su formación y aunado a esto, que los resultados den solución a los problemas detectados en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

A lo largo de este artículo se presenta el procedimiento para el reclutamiento de estudiantes participantes en este proyecto, además de cada una de las fases de la metodología seguida para el desarrollo del clúster; finalmente se describen los resultados obtenidos, así como las conclusiones a las que se ha llegado después de la culminación del estudio.

## **METODOLOGÍA**

Para iniciar el proyecto y considerando el contexto descrito anteriormente, los autores de este trabajo primeramente definieron el tipo de investigación a realizar y los conocimientos requeridos, esto con la finalidad de establecer los aspectos a considerar de los estudiantes elegibles y lograr culminar con éxito el trabajo.

Dado que el objetivo, tecnológicamente hablando, es solucionar un problema y debido a que el proyecto en su totalidad consiste en aplicaciones prácticas que requieren conocimiento previo, el proyecto se define como una investigación aplicada (Hernández Sampieri, 2017).

Por otro lado, considerando que el producto final es un clúster de computadoras, se establece que los conocimientos requeridos de manera general son: redes de computadoras, sistemas operativos y cómputo en la nube.

Una vez especificado lo anterior, en enero de 2020 es realizado el proceso de asignación de proyecto, considerando los siguientes aspectos:

1. Área de especialidad, que en este caso la competente es Redes de computadoras debido a los conocimientos determinados inicialmente.
2. Actividades académicas. Aunque el proyecto es presentado bajo el esquema de proyectos para titulación, que es un proceso que inicia en el octavo semestre; este aspecto es valorado (revisando el historial académico de los candidatos), con el fin de observar las materias pendientes por cursar para verificar la disponibilidad de tiempo que podrán invertir en el proyecto.

Con la revisión de estos dos aspectos y considerando el alcance del proyecto, se eligen a dos estudiantes aptos para la participación en este, quienes, mediante la entrega de los formatos para titulación al departamento correspondiente, se responsabilizan del cumplimiento.

Por su parte, la construcción del clúster de computadoras se basa en la metodología PDIOO de Cisco Systems, la cual permite formalizar el ciclo de vida de una red en cinco fases: Planeación, Diseño, Implementación, Operación y Optimización; de ahí el origen de sus siglas (Cisco Systems, Inc., 2004).

**Planeación**

En esta fase los requisitos de la red deben identificarse. En la Tabla 1 se describe tanto el hardware como el software utilizado para el desarrollo del prototipo.

**Tabla 1.** Hardware y software utilizado

Hardware			
	RAM	Procesador	Disco Duro
Nodo controlador	4 GB	Intel Pentium CPU 2117U 1.80 GHz	50 GB
Nodo esclavo 1	1.5 GB	Intel Celeron CPU J1800 2.41 GHz	50 GB
Nodo esclavo 2	2 GB	AMD E-450 apu 1.65 GHz	500 GB
Nota: Los tres equipos utilizados requieren de dos tarjetas de red.			
Software			
Software IaaS	OpenStack versión Stein		
Sistema Operativo	Ubuntu 18.04 LTS “Bionic Beaver”		

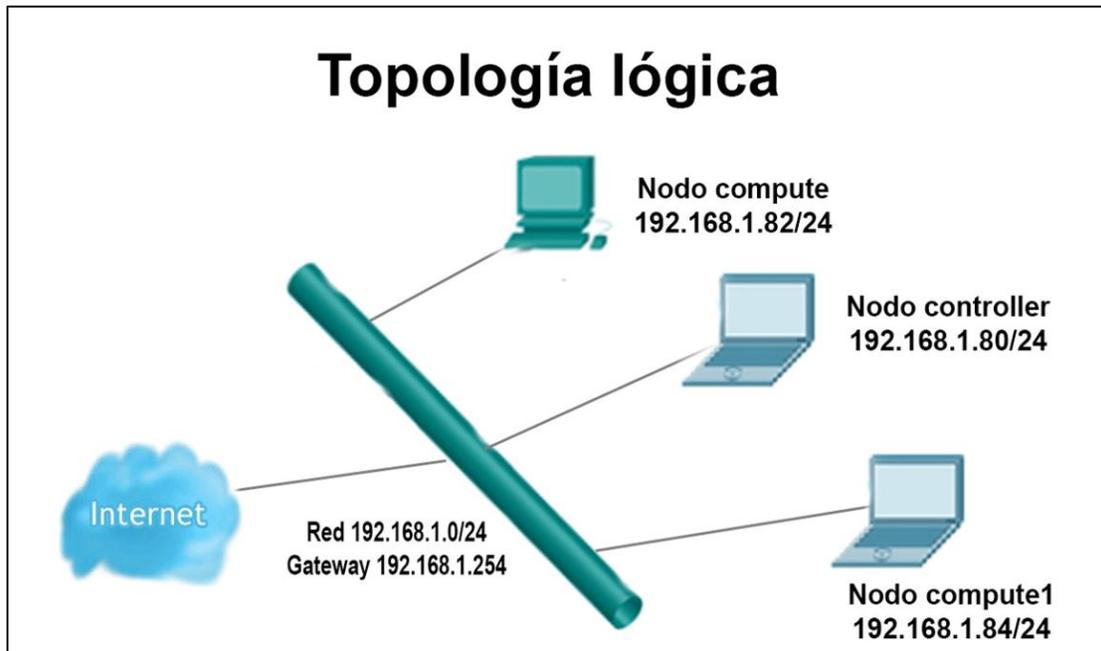
**Diseño**

Esta fase incluye el diseño que se desea para la red. En la Figura 1, se visualiza la topología que presenta la distribución física de cada uno de los dispositivos que conforman el clúster; la red está conformada por tres nodos, una computadora de escritorio y dos computadoras portátiles, cuyas características se mencionan en la fase de planeación.



**Figura 1.** Topología física de la red

En la Figura 2 se muestra el diseño de la topología lógica; la red utiliza la dirección 192.168.1.0 con una máscara de subred 255.255.255.0 y un Gateway 192.168.1.254. Dentro de la red se encuentra el nodo maestro y los nodos esclavos los cuales tienen el número de host 80, 82 y 84, respectivamente.



**Figura 2.** Topología lógica de la red

OpenStack (2020) cuenta con diversos componentes que pueden ser instalados en cada uno de los nodos de la red, pero debido al objetivo que se tiene, a la investigación realizada y a la problemática que se desea solucionar solo se utilizan los siguientes componentes:

- Keystone. Servicio de autenticación para acceder a los servicios mediante una API (Application Programming Interface) que se encarga de enlazar aplicaciones y procesos.
- Horizon. Proporciona una interfaz de usuario basada en web para los servicios de OpenStack.
- Glance. Servicio encargado de la creación de imágenes; permite almacenar las imágenes que son transferidas a los nodos esclavos cuando se deba crear una nueva instancia.
- Nova. Servicio que se encarga de la gestión y control de los nodos para distribuir la carga en el procesador de cada uno de los nodos esclavos.
- Neutron. Servicio que se encarga de manejar y crear las interfaces de red entre las instancias creadas, y de la entrega y recepción de paquetes dependiendo cuál de las redes se use.

Los componentes mencionados, anteriormente, son instalados y configurados en el nodo controller, mientras que, los componentes nova y neutron son instalados en los nodos

esclavos (compute y compute1). En el esquema de la Figura 3 se puede observar dicha distribución.

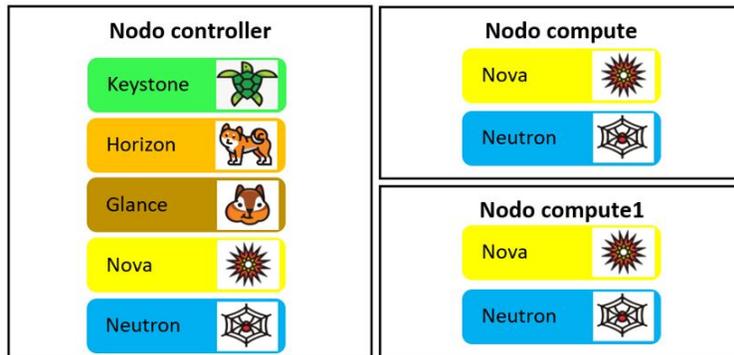


Figura 3. Distribución de componentes en los nodos.

### Implementación

Con respecto al proceso de implementación de cada componente de OpenStack, en este artículo, se presenta solo el resumen de los pasos requeridos tanto en el nodo controlador como en el nodo esclavo para construir el clúster. En la Figura 4 se presentan los procesos seguidos en el controlador (inciso a) y en el esclavo (inciso b).

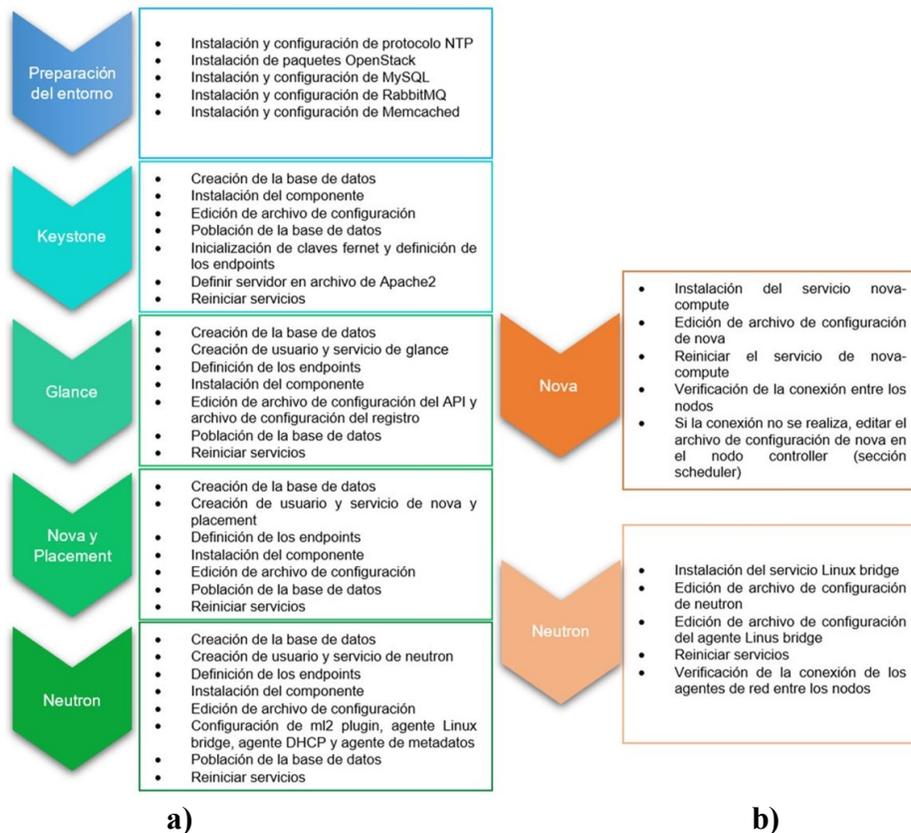


Figura 4. Pasos para la configuración de los nodos del clúster

El proceso del nodo esclavo se repite “n” veces, dependiendo de la cantidad de nodos esclavos que se deseen tener en la arquitectura.

La fase de implementación termina cuando todos los componentes definidos en el diseño son instalados y configurados en su respectivo nodo, y cuando se verifica que los servicios estén activos y en funcionamiento.

## Operación

Esta fase es de las más importantes, ya que, en ella se verifica el funcionamiento total del clúster. Para este proyecto la fase de operación se divide en tres partes clave:

1. Descarga de la imagen a virtualizar (en este caso es usada la imagen de CirrOS, es una imagen de Linux que utiliza pocos recursos y es utilizada para realizar pruebas en los entornos de desarrollo de OpenStack).
2. Creación de la red para las instancias.
3. Creación de la instancia para virtualizar el sistema.

En la Figura 5 se muestra que la instancia “CirroS” tiene establecida una dirección IP, además, se señala con un círculo y una flecha los estados de la instancia que indican que se encuentra activa y en ejecución.

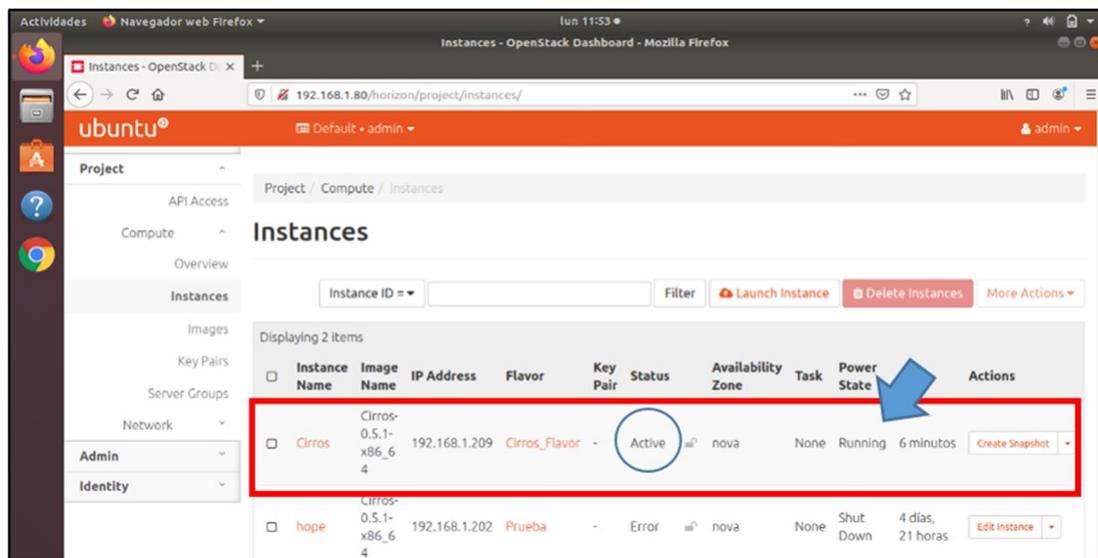


Figura 5. Instancia del sistema CirrOS activa y en ejecución.

## Optimización

Dado que la instalación de OpenStack se realizó en un entorno de prueba, el alcance de este proyecto no cubre la fase de optimización pues no se llevó a un nivel de producción e interacción con el usuario; sin embargo, para la implementación en un entorno de producción, se recomienda realizar pruebas con muestras de estudiantes que permitan detectar posibles anomalías enfocadas a la conexión concurrente de usuarios.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos al finalizar este proyecto motivan a seguir en la búsqueda de proyectos de innovación en los que los estudiantes puedan involucrarse. Los estudiantes con su participación han adquirido nuevos conocimientos gracias al acercamiento a esta tecnología, han fortalecido tanto competencias genéricas como específicas de su área de especialidad, que sin duda alguna les abrirá camino en el sector productivo, y han logrado obtener su grado académico como Ingenieros en Sistemas Computacionales.

Con respecto a los resultados tecnológicos, la evaluación del clúster y la comprobación de su rendimiento frente a una arquitectura monolítica se efectuaron a través de una comparativa entre ambas arquitecturas. En Tabla 2 se pueden observar las diferencias de recursos de hardware que posee cada una.

**Tabla 2.** *Hardware - Arquitectura monolítica vs Clúster.*

Características	Arquitectura monolítica	Arquitectura de clúster
CPU	4	6
Memoria RAM (GB)	8	7.5
Almacenamiento (GB)	80	600

De la tabla anterior, a simple vista se deduce que las características son muy similares, pero algo importante que debe tomarse en cuenta es que la totalidad de los recursos de hardware en cada arquitectura se divide en dos partes: la primera es para los recursos del servidor y la segunda es para los recursos con los que se ejecutarán las instancias de los sistemas operativos. Hecha esta aclaración, un servidor sobrecargado puede ser perjudicial para cualquier proyecto, ya que, puede frenar e incluso paralizar algún proceso; en cambio, con un clúster se asegura la distribución de las cargas entre los nodos para garantizar una velocidad estable de respuesta.

Para una mejor visualización, el componente de Horizon brinda una interfaz gráfica de los hipervisores en el sistema con sus características de almacenamiento, procesadores y memoria RAM; dando a conocer al administrador los recursos que han sido utilizados y los recursos que se encuentran disponibles. Para observar estos gráficos ver las Figuras 6 y 7.

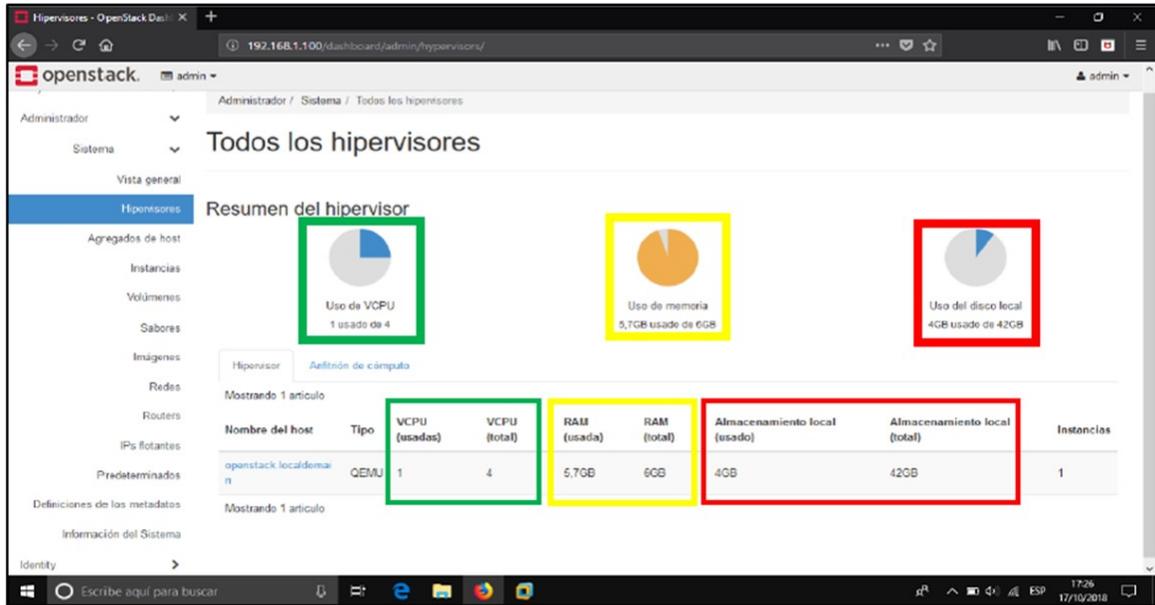


Figura 6. Hardware para instancias-arquitectura monolítica

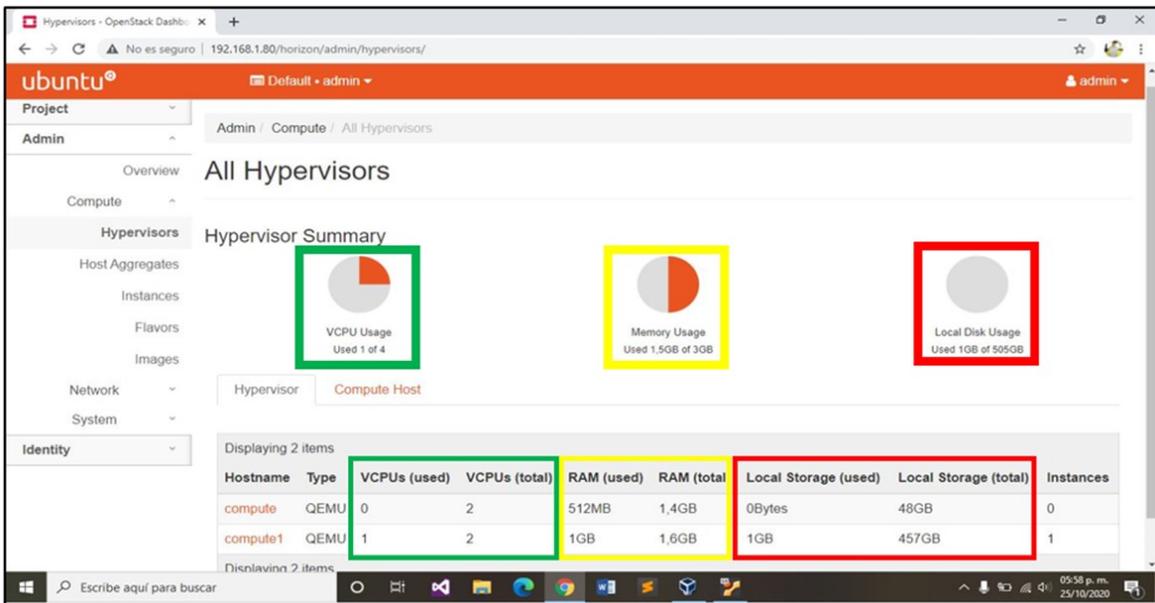


Figura 7. Hardware para instancias-arquitectura de clúster.

A partir de los gráficos presentados en las imágenes anteriores, se determina que la construcción del clúster optimiza los recursos de hardware mejorando el rendimiento de la arquitectura monolítica, cabe aclarar que, mejorar no se refiere únicamente a agregar mayor capacidad a los equipos, sino que también se refiere a minimizar recursos.

Con el uso de los tres equipos de cómputo se combinan los recursos de hardware, permitiendo así un balance entre el procesamiento, almacenamiento en disco y distribución de memoria.

## CONCLUSIONES

Hoy en día se habla mucho de cómputo en la nube y transformación digital; OpenStack es una tecnología clave en dicha transformación, ya que, aporta las herramientas necesarias para hacer frente de una forma rápida y ágil, a las experiencias a las que se enfrentan las organizaciones y en este caso las IES.

Los resultados esperados de este proyecto se cumplieron en un 100%. Se logró crear un clúster con tres equipos de cómputo sumando 6 unidades de procesamiento, 7.5GB de memoria RAM y 600GB de disco duro; la memoria RAM total del clúster no superó la cantidad de RAM de la arquitectura monolítica presentada del proyecto anterior, pero el diseño del clúster permite la agregación de nodos para aumentar los recursos de hardware. El clúster creado ejecutó de manera satisfactoria los servicios de virtualización de OpenStack (keystone, glance, nova y neutron) y se verificó el funcionamiento de este con la ejecución de una instancia de prueba con el sistema operativo CirrOS.

Es importante enfatizar que, al hacer uso del cómputo en la nube a través de OpenStack, el hardware disponible de los equipos cliente no es tan relevante en términos de rendimiento, ya que, el 100% del esfuerzo computacional para la virtualización recae en el servidor, dando así, solución a la problemática detectada sobre las limitantes de hardware de las computadoras de los estudiantes, que con gran posibilidad concluye en un proceso de enseñanza-aprendizaje de calidad.

Finalmente, la investigación aplicada genera pocos aportes teóricos, pero aplicándola con un nivel explicativo y predictivo genera experiencia y conocimientos para los estudiantes, los cuales quedan abiertos para futuros trabajos de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cisco Systems, Inc. (2004). *CCDA Self-Study: Designing for Cisco Internetwork Solutions (DESGN)*. Cisco Press. <https://www.ciscopress.com/store/ccda-self-study-designing-for-cisco-internetwork-solutions-9781587051418>
- Gallardo, D., Razón, J. y León, N. (2020). Diseño de prototipo didáctico de cómputo en la nube para el despliegue de laboratorios virtuales. *Revista ANFEI Digital*. <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/634>
- Hernández, L., Santillán, A. y Caballero, R. (2003). Maestros y Esclavos. Una aproximación a los cúmulos de computadoras. *Revista Digital Universitaria*, 4(2). <http://www.revista.unam.mx/vol.4/num2/art3/art3.htm>
- Hernández, R. (2017). *Fundamentos de Investigación*. McGraw-Hill
- OpenStack (2020). *Open source software for creating private and public clouds*. <https://www.openstack.org/>