

Desarrollo de una plataforma computacional de alto rendimiento (HPC) para la industria biofarmacéutica cubana.



*Autor: Ing. Karel Asael Barberena Morales.
Ing. Daniel López González*

Varadero. 18 de Noviembre de 2017.

Sumario.

Sumario.

Plataforma computacional de alto rendimiento de la ETI-Biocubafarma. Antecedentes y solución propuesta.

Optimización de aplicaciones.

Proyecciones a corto, mediano y largo plazo.

Antecedente fundamental.

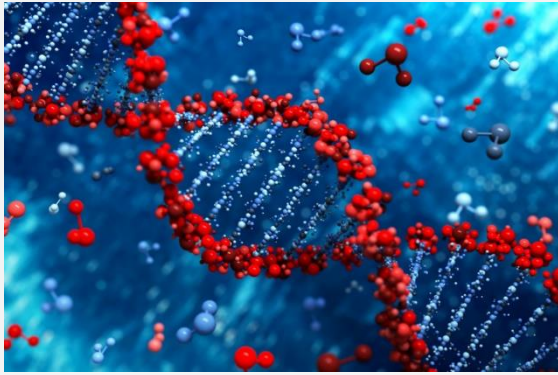
Antecedentes.

El antecedente fundamental de este trabajo fue la **necesidad de contar con una capacidad de procesamiento de alto rendimiento y almacenamiento** capaz de satisfacer la demanda actual y proyectada de los estudios de modelación y simulación computacional que se desarrollaban en Biocubafarma, lo cual fue planteado en las reuniones de la Comisión de Computación de Alto Rendimiento de Biocubafarma durante 2013-2014.

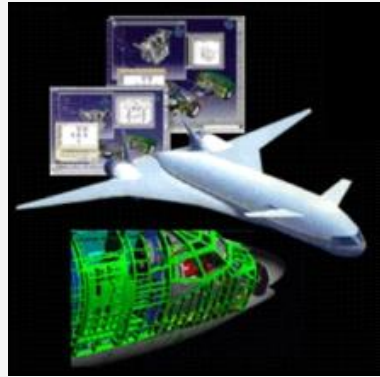
Comprender la importancia de los estudios in-silico

Antecedentes.

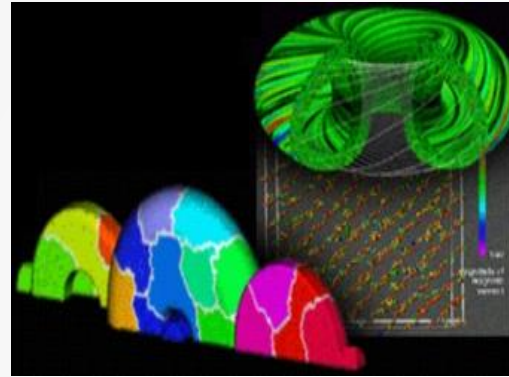
La **experimentación** en estos ámbitos es:



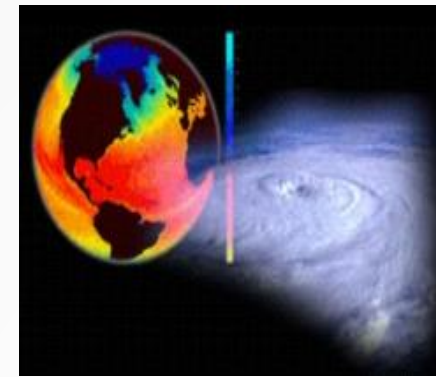
Demorada



Costosa



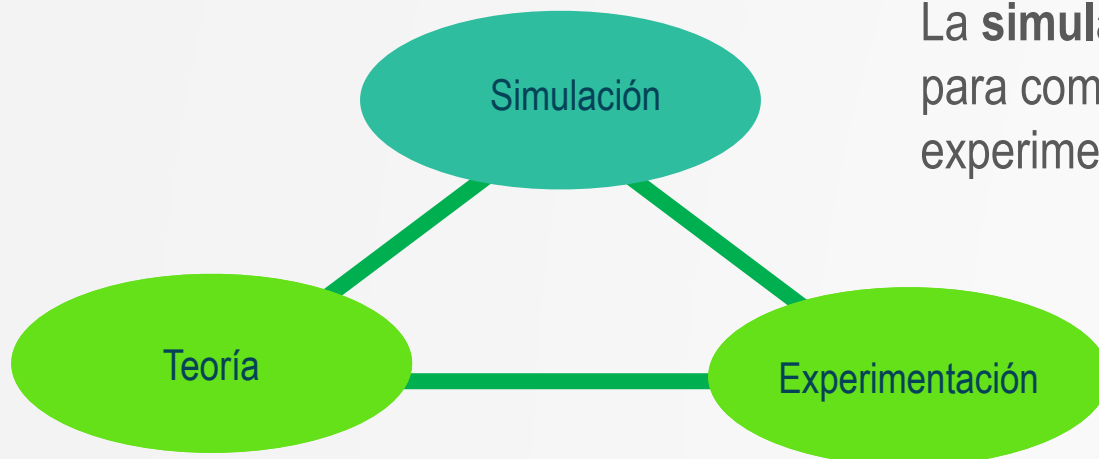
Peligrosa



Complicada



Imposible



La **simulación** permite calcular las ecuaciones planteadas por la teoría para comprender el comportamiento de un sistema o fenómeno, sin experimentos reales.

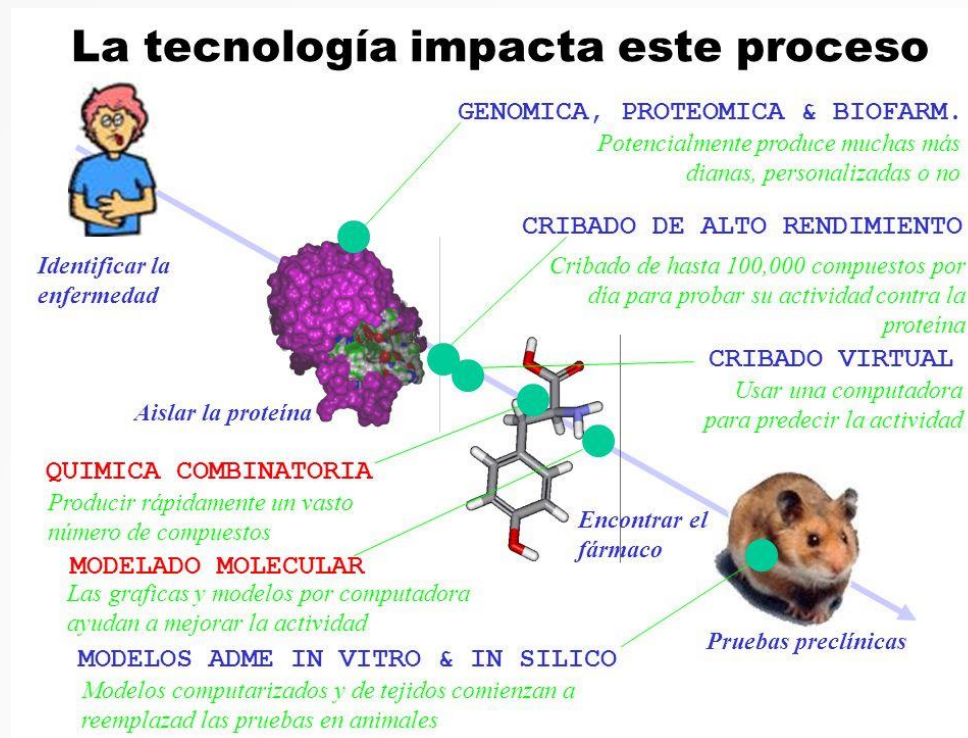
Comprender la importancia de los estudios in-silico

Antecedentes.

La **simulación** es un pilar fundamental para **acelerar el desarrollo de nuevos medicamentos** e **incrementar la competitividad** en la industria biofarmaceútica



Nuevo medicamento puede demorarse entre 10-20 años.
¿Y para cuando es la medicina personalizada?



La simulación ya impacta en casi todos los pasos del proceso.

Problemática. Antecedentes.



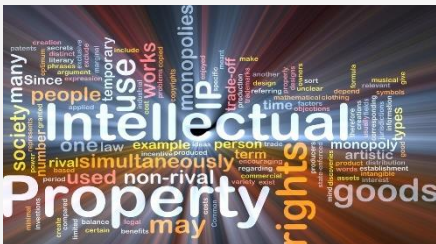
Equipamiento obsoleto.

- Hardware de escritorio inadecuado.
- Falta de precisión y robustez.



Baja productividad de infraestructura utilizada.

- No se utilizan sistemas gestores de recursos.
- Aplicaciones sin optimizar, no se aprovecha toda la potencialidad del paralelismo de aplicaciones.



Riesgo de robo de la propiedad intelectual y los intangibles, de gran valor para la organización.

- En ocasiones se hace necesario el acceso a plataformas externas.



A pesar de la necesidad, **no se dispone de una fuente de financiamiento a corto plazo** para adquirir tecnologías que permitan satisfacer las necesidades expuestas.

Problemática. Antecedentes.



Los avances en el equipamiento tecnológico disponible y el desarrollo de nuevas metodologías de trabajo han generado un **crecimiento cada vez más acelerado de datos a procesar.**



Disminución de la competitividad de la industria al no disponer de capacidad de procesamiento. Nuevos productos y servicios con mayores costos demoran más tiempo en salir al mercado.



Déficit de recursos humanos con preparación, tanto para la administración como para la utilización de las aplicaciones en función de los proyectos de I+D.

Conclusión: los centros de investigación de Biocubafarma no disponen de una plataforma HPC que satisfaga las necesidades de los proyectos de investigación para el modelado y la simulación computacional de procesos en el ámbito de las ciencias de la vida.

Cada año realizamos una actualización del levantamiento de las necesidades, de conjunto con los especialistas e investigadores vinculados a esta temática.

Proyecto de I+D para obtener la solución. Solución propuesta.

Proyecto de I+D: Implementación de Sistemas de Computación de Alto Rendimiento para la modelación y simulación computacional en las Ciencias de la Vida.

1. Identificar las necesidades de procesamiento y almacenamiento de los investigadores (2014, 2016).
2. Diseño de la arquitectura del sistema para cómputo compartido y distribuido usando los recursos de cómputo disponibles.
Planificación de la instalación y puesta en marcha de la Infraestructura HPC.
3. Puesta en producción de paquetes de software para el cálculo científico (a partir de los proyectos iniciales que se puedan asumir según el levantamiento inicial de las necesidades): CIM, CNEURO, CIGB.
4. Preparación de la documentación técnica y actividades de superación en la esfera de HPC.

Dificultades tecnológicas presentadas. Solución propuesta.



Punto de partida: equipamiento disponible fruto de la optimización de hardware por la migración a la nube de los servicios de la ETI.

CERO COSTO INVERSIÓN!!!



Dificultades tecnológicas propias del uso intensivo del hardware en HPC (03/16 Consejo Científico BCF).



Se decide revitalizar la infraestructura e incrementar sus capacidades, minimizando los costos.



1.92Tflops



8



Nuevo NFS con 21.6TB RAID 5

Características del equipamiento HPC de la ETI.

Solución propuesta.



Servidor Principal de Gestión: Dell PowerEdge R530 con 2x Intel Xeon E5-2603 1.6GHz (6C), 32GB RAM (virtualizado usando VMware ESXi 6.0).

Almacenamiento producción (NFS): 21.6TB de datos crudos. Dell PowerEdge R530 con 2x Intel Xeon E5-2603 1.6GHz (6C), 32GB RAM, 8x 4TB SATA 7.2K RPM SATA 6Gbps 3.5in configurados en RAID5 + 1Hots Spare.

Almacenamiento largo plazo (experimental): 5TB. SAN EMC Clariion AX4 + DAE configurados en RAID5 + 1Hots Spare.

13 nodos de cómputo: 2.87Tflops , 140 núcleos físicos y 556GB RAM

- 5 Dell PowerEdge M600: 2x Intel Xeon E5410 2.33GHz (4C), 8GB RAM
- 5 Dell PowerEdge M610: 2x Intel Xeon E5620 2.4GHz (4C), 40GB RAM
- 1 Dell PowerEdge R720: 2x Intel Xeon E5-2620 2GHz (6C), 60GB RAM
- 2 Dell PowerEdge M630: 2x Intel Xeon E5-2680v3 2.5GHz (12C), 128GB RAM

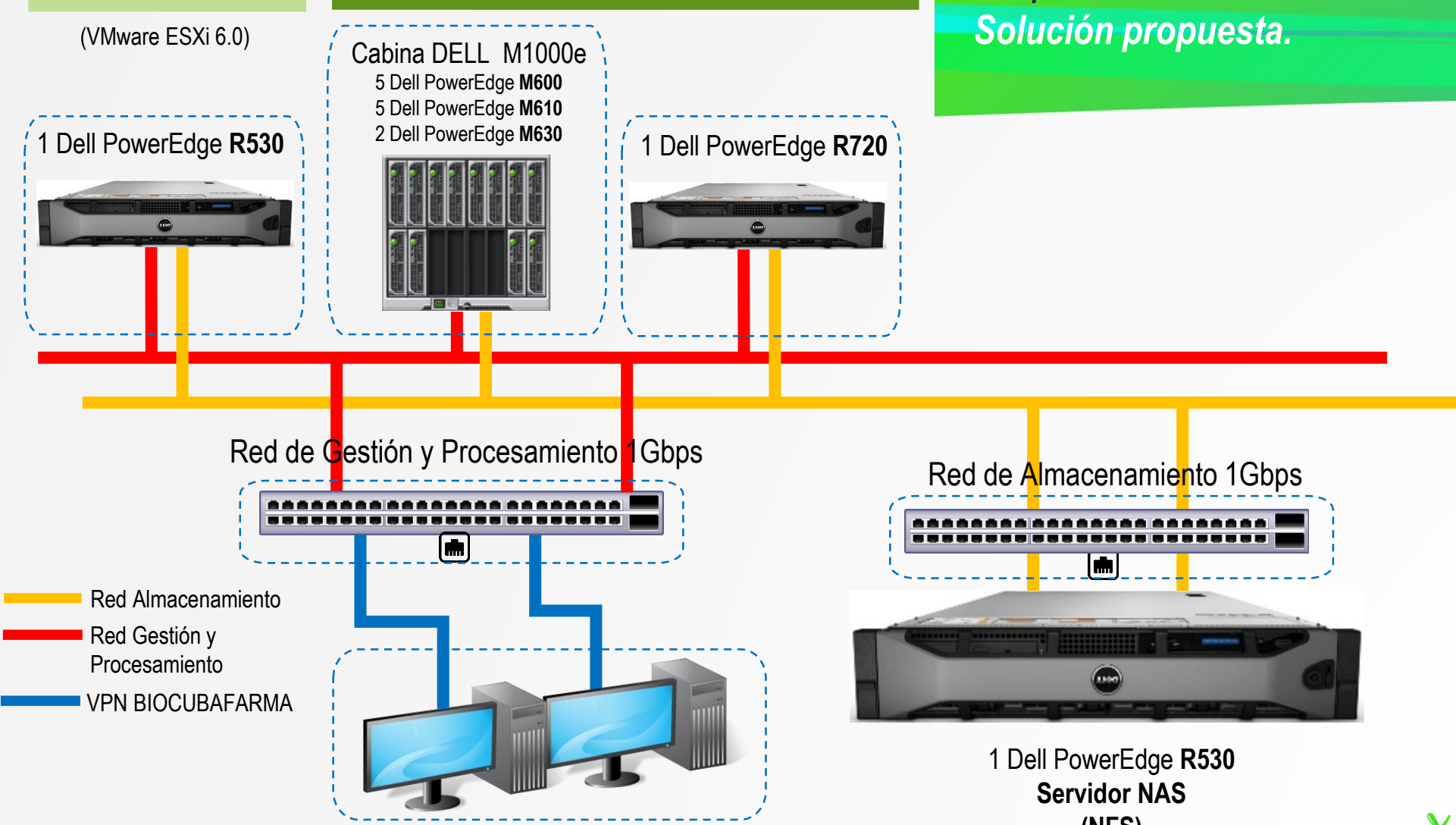
Sistemas auxiliares para su funcionamiento 24h/7: Respaldo eléctrico con UPS, grupo electrógeno, climatización redundante, sensores remotos, etc.



Servidor de Administración.
Servidor de Login (usuarios)
TODOS los servicios de monitoreo

13 Nodos de cómputo

Esquema de la solución.
Solución propuesta.



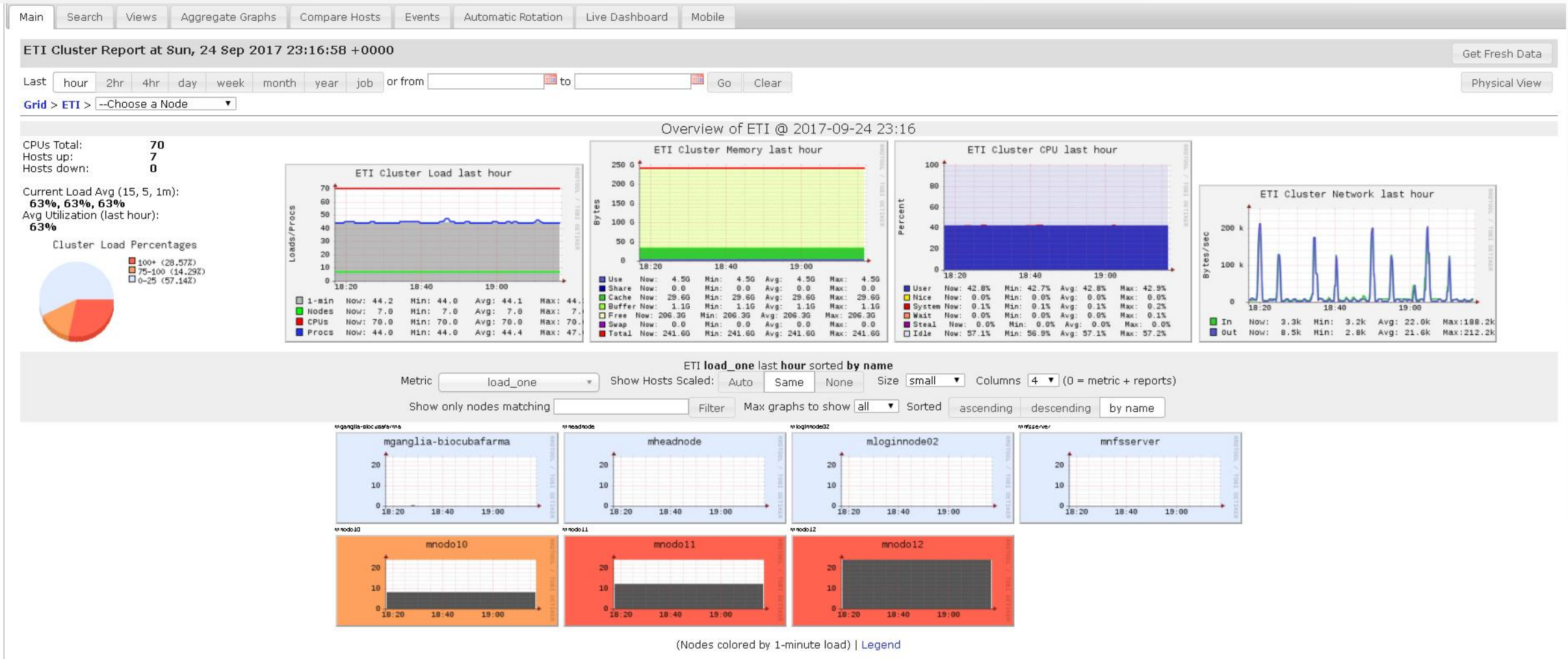
Acceso Investigadores a la plataforma:
(a través de la VPN Biocubafarma) CIGB 10Mbps
CIM 4Mbps
CNEURO 1Mbps



La plataforma realmente. Solución All-in-one rack

Utilización actual. Sistema de monitoreo Ganglia <http://ganglia.biocubafarma.cu>

Solución propuesta.



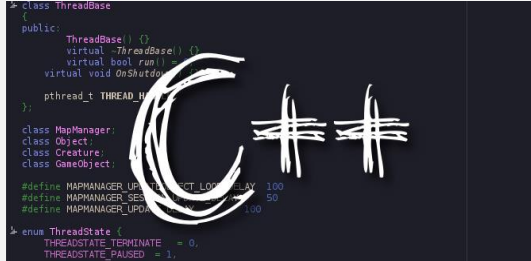
40.06% de la capacidad total en funcionamiento.

Que hacemos para la optimización de aplicaciones.

Optimización de aplicaciones.

En cada nuevo proyecto de investigación los especialistas de la ETI realizan un **perfil de paralelismo** y evalúan **todas las mejoras que son posible implementar en la ejecución de una aplicación.**

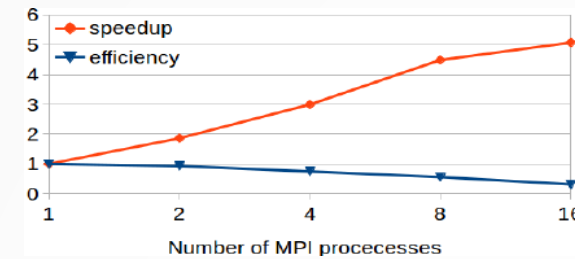
Se ha implementado un flujo de trabajo para la optimización de aplicaciones bioinformáticas, basados en la experiencia y diversos conceptos de ingeniería de rendimiento.



1. Compilar código fuente si está disponible.



2. Obtener varios binarios usando diversas etiquetas de compilación.



3. Comparar los resultados en cuanto al factor de mejora de rendimiento (Speedup) y la eficiencia paralela

De esta manera podemos contribuir a que los investigadores obtengan el resultado en el menor tiempo posible haciendo un uso eficiente de la plataforma.

Métricas utilizadas.

Optimización de aplicaciones.

Una vez comprobada la correcta ejecución de una aplicación: se analizan las métricas de rendimiento

- ✔ Factor de Mejora de Rendimiento (Speed-Up) indica la mejora de rendimiento obtenida relativa a una ejecución base.

En paralelismo, se toma como base la ejecución secuencial (T_1) y con ella se relacionan el resto de ejecuciones incrementando el número de procesadores (T_p)

$$SpeedUp = \frac{T_1}{T_p}$$

- ✔ Eficiencia paralela es la relación entre el Speed Up y el número de procesadores utilizados en la aplicación.

De manera ideal, el tiempo de ejecución de un programa se reduce de manera proporcional al número de procesadores que utilizamos. En la práctica esto no sucede, hay muchas maneras de perder eficiencia

$$Eff_p = \frac{S_p}{P}$$

Algunas referencias.

Optimización de aplicaciones.

R. Al-Ali et al. / Journal of Computational Science 15 (2016) 3–10

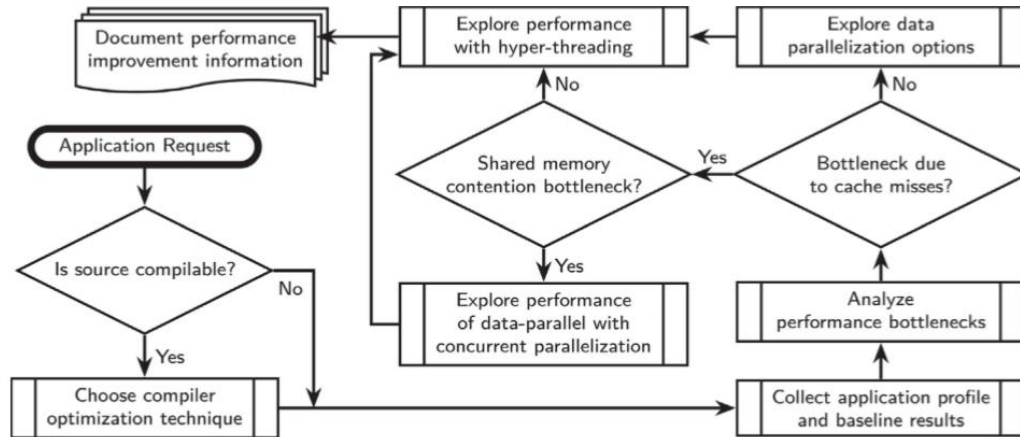


Fig. 1. Optimization workflow for bioinformatics applications.

WHITE PAPER
Intel® Advanced Vector Extensions
Processor Performance
September 2014



Optimizing Performance with Intel® Advanced Vector Extensions

Intel® Advanced Vector Extensions 2 instructions can provide significant performance increases.

Intel® Advanced Vector Extensions Performance
Relative Power (measured at the wall)



Figure 1. Measuring performance on the same processor using Linpack* benchmarks shows substantial increases from Intel® Streaming SIMD Extensions 4.2 (Intel® SSE 4.2) to Intel® Advanced Vector Extensions (Intel® AVX) and from Intel AVX to Intel® AVX2, with up to 2.8x the GFLOPS throughput when comparing Intel SSE 4.2 to Intel AVX2.²

Executive Summary

The release of the Intel® Xeon® processor E5 v3 family includes the Intel® Advanced Vector Extensions 2 (Intel® AVX2) instruction set, which can provide significant performance improvement over Intel® Advanced Vector Extensions (Intel® AVX)¹ and Intel® Streaming SIMD Extensions (Intel® SSE). The benefits include doubling the number of FLOPS (floating-point operations per second) per clock cycle, 256-bit integer instructions, floating-point fused multiply-add instructions, and gather operations.

Intel AVX instructions² require more power to run. When executing these instructions, the processor may run at less than the marked frequency to maintain thermal design power (TDP) limits.

Beginning with the Intel Xeon processor E5 v3 family, Intel will provide two sets of frequency specifications:

- **Marked TDP and max all core turbo.** These are the frequencies that have traditionally been specified. Workloads that do not utilize Intel AVX instructions will operate in this frequency range.
- **AVX base and AVX max all core turbo.** These are the new frequencies for workloads that utilize Intel AVX instructions. These frequencies are defined in the "Intel® Xeon® Processor E5-1600 and E5-2600 v3 Product Families Specification Update."

Intel® Turbo Boost Technology continues to provide opportunistic frequency increases based on workload, number of active cores, temperature, power, and current. If there is power and thermal headroom, Intel AVX workloads could still opportunistically run at higher turbo frequencies. The actual

BIOS Setup User Guide for 13th Generation Dell PowerEdge Servers

Wei Liu
Dell Server BIOS Development
September 2014

Optimal BIOS settings for HPC with Dell PowerEdge 12th generation servers

This Dell technical white paper analyses the various BIOS options available in Dell PowerEdge 12th generation servers and provides recommendations for High Performance Computing workloads.



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

SoftwareX 1–2 (2015) 19–25

SoftwareX

www.elsevier.com/locate/softx

GROMACS: High performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers

Mark James Abraham^{a,*}, Teemu Murtola^d, Roland Schulz^{b,c}, Szilárd Páll^a, Jeremy C. Smith^{b,c}, Berk Hess^a, Erik Lindahl^{a,d}

^aTheoretical Biophysics, Science for Life Laboratory, KTH Royal Institute of Technology, 17121 Solna, Sweden

^bOak Ridge National Laboratory, 1 Bethel Valley Road, Oak Ridge, TN 37831, United States

^cDepartment of Biochemistry and Cellular and Molecular Biology, University of Tennessee, M407 Walters Life Sciences, 1414 Cumberland Avenue, Knoxville, TN 37996, United States

^dCenter for Biomembrane Research, Department of Biochemistry & Biophysics, Stockholm University, SE-10691 Stockholm, Sweden

Received 23 February 2015; received in revised form 15 June 2015; accepted 25 June 2015

Garima Kochhar and Nishanth Dandapanthula

High Performance Computing Engineering

July 2012 | Version 1.0

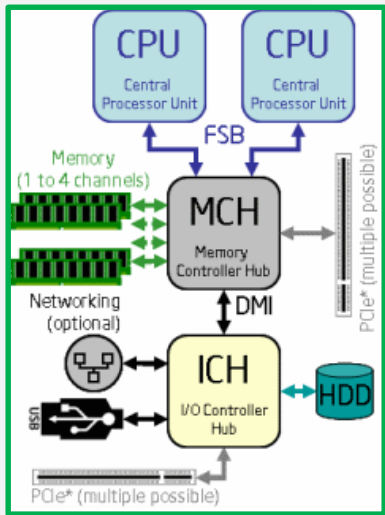


Una desventaja convertida en ventaja. Optimización de aplicaciones.

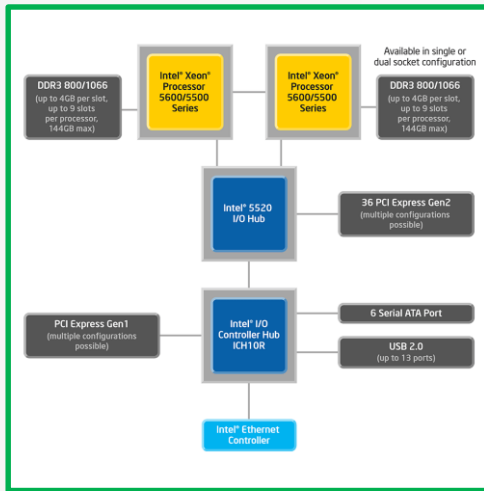
La plataforma HPC de la ETI es un **clúster de memoria distribuida HETEROGÉNEO**. Para aprovechar al máximo sus potencialidades hay que generar binarios adecuados a cada tipo de nodo de cómputo.

Dificulta un poco el trabajo de los administradores.

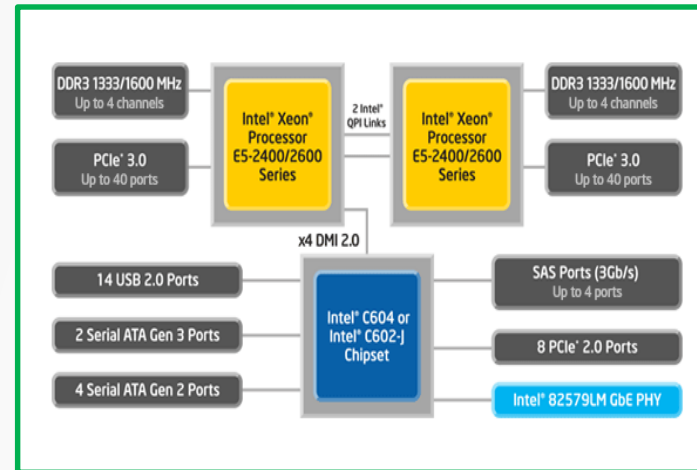
Permite aprovechar el equipamiento disponible y minimizar los costos.



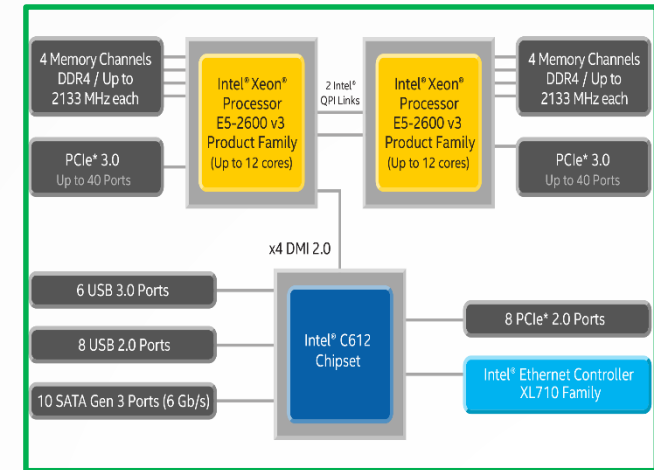
PowerEdge M600
Harpertown
Extensión Set instrucciones: No



PowerEdge M610
Westmere EP
Extensión Set instrucciones: SSE4.1



PowerEdge R720
Sandy Bridge EP
Extensión Set instrucciones: AVX



PowerEdge M630
Haswell
Extensión Set instrucciones: AVX2

Caso de estudio GROMACS. *Optimización de aplicaciones.*

Se ha escogido una aplicación de producción como ejemplo para el análisis y evaluación de las aplicaciones de cálculo científico en la plataforma HPC de la ETI .

Opciones de compilación:

- ➔ Compiladores: gcc-4.8.1, icc-13.0.1
- ➔ Librerías: fftw-3.3.4, mkl-11.0.1
- ➔ Librerías MPI: OpenMPI 1.8.3
- ➔ Flags: – O3 –enable-sse –enable-avx

El usuario (CIM) nos provee un fichero de entrada que será procesado en todas las variantes

GROMACS FAST.
FLEXIBLE.
FREE.

- ✓ Implementa múltiples optimizaciones y algoritmos para mejorar el rendimiento.
- ✓ Método más rápido en el cálculo de las interacciones no enlazantes (predominantes en dinámica molecular).

Resultados cuantitativos del caso de estudio GROMACS.

Optimización de aplicaciones.

Configuración Compilador	Biblioteca MPI	Slots utilizados	Speed Up	Effp
gcc-4.8.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	1 (secuencial)	1	-
gcc-4.8.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	4 (1*4)	3.97	0.992
gcc-4.8.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	8 (2*4)	6.86	0.857

Configuración Compilador	Biblioteca MPI	Slots utilizados	Speed Up	Effp
icc-13.0.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	1 (secuencial)	1	-
icc-13.0.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	4 (1*4)	3.98	0.996
icc-13.0.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	8 (2*4)	7.07	0.883
icc-13.0.1+mkl-11.0.1	OpenMPI-1.8.3	8 (2*4)	7.02	0.878
icc-13.0.1+fftw-3.3.4	OpenMPI-1.8.3	8 (1*8)	7.70	0.962

 Peor resultado icc
 Mejor resultado icc

Resultados cualitativos del caso de estudio GROMACS. Optimización de aplicaciones.

GROMACS

FAST.
FLEXIBLE.
FREE.



La aplicación escala adecuadamente con el incremento de los procesadores



En cada ejecución los compiladores de Intel presentaron mejor rendimiento vs GCC



Recomendado utilizar cantidad de núcleos igual a la de un nodo para mayor Effp



La librería MKL no representa una mejora respecto a FFTW 3.3.4



La mejora disminuye cuando se usa más de un nodo (latencia red)

El mejor resultado obtenido permite ahorrar el equivalente al tiempo de procesamiento de 2 nodos de cómputo tipo PowerEdge M600 durante todo un año. **Lo que permite disponer esos nodos en otros proyectos.**

Principales proyectos beneficiados en Biocubafarma.

Principales proyectos beneficiados



- Simulaciones de docking para modelar el ensamblaje de los complejos ligando-receptor del TGFb. Esto forma parte del proyecto del TGFb del CIM.
- MOPAC: optimizaciones de la geometría de ligandos pequeños acoplados a proteínas, como parte de un estudio a gran escala sobre cientos de complejos del PDB, para evaluar el efecto de encaje inducido en los ligandos.
- GROMACS: simulaciones de dinámica molecular para estudiar las propiedades estructurales de la interleucina-2 y sus variantes mutadas que se desarrollan en el CIM con fines terapéuticos. Esto aportará a la comprensión que se tiene sobre esta molécula y ayudará a desarrollar nuevas variantes mutadas de la misma con nuevos fines terapéuticos.



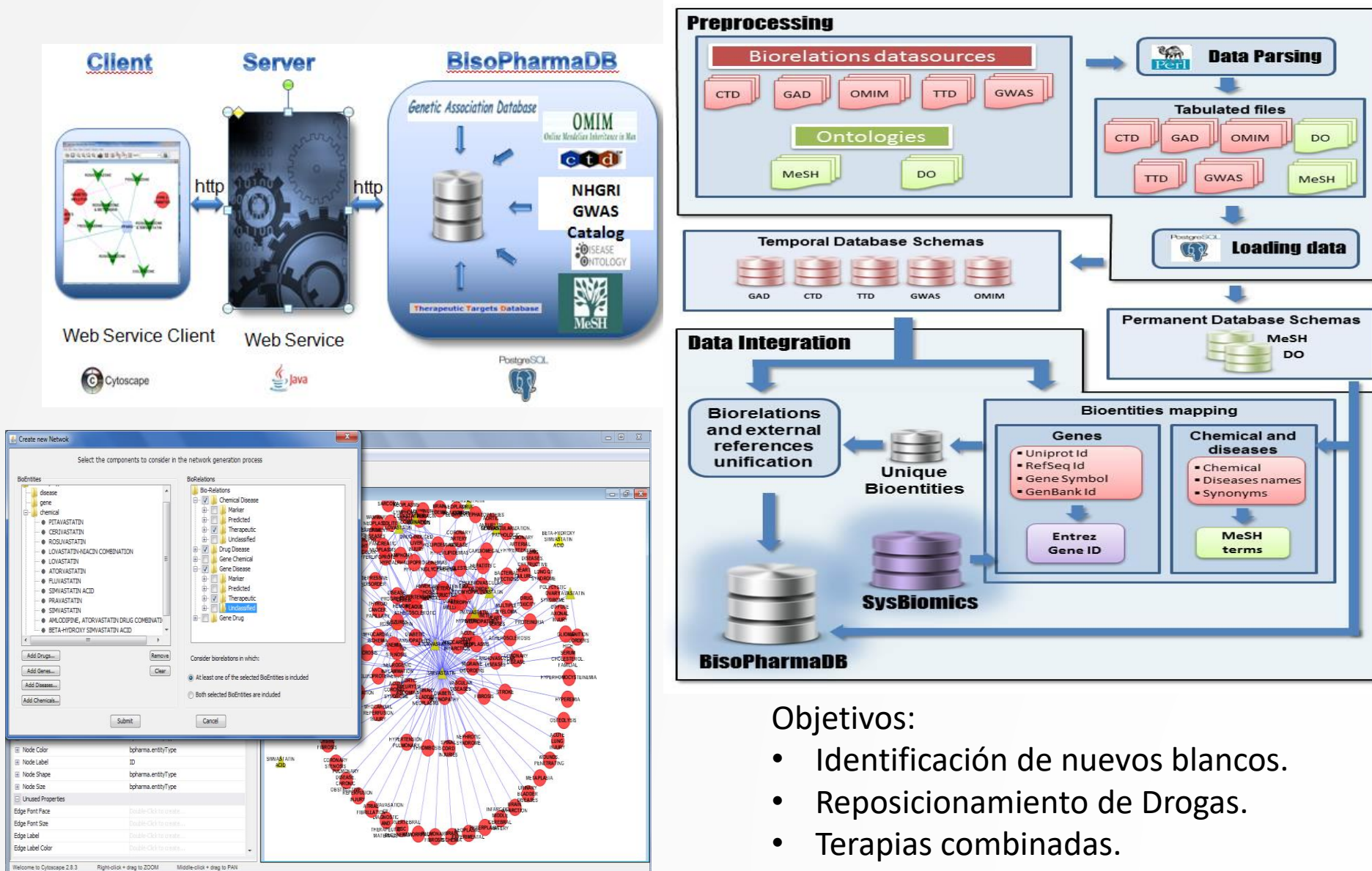
- Desarrollos propios en PYTHON.
- Cálculos con el MATHEMATICA.



- Instalación de un nuevo sistema HPC usando una infraestructura adquirida por ellos.



BisoPharma: Sistema integrado para la construcción de redes de genes, enfermedades y drogas. Autor: PhD. Ricardo Bringas Pérez



Objetivos:

- Identificación de nuevos blancos.
- Reposicionamiento de Drogas.
- Terapias combinadas.

Principales proyectos beneficiados más allá de Biocubafarma.

Principales proyectos beneficiados



Facultad de Química

Título: CONFORMATIONAL STUDY OF THREEE NOVEL ANDROSTANE[60]FULLERENE HYBRIDS.

Autores: David Hernández-Castillo(a), Margarita Suarez-Navarro(b)

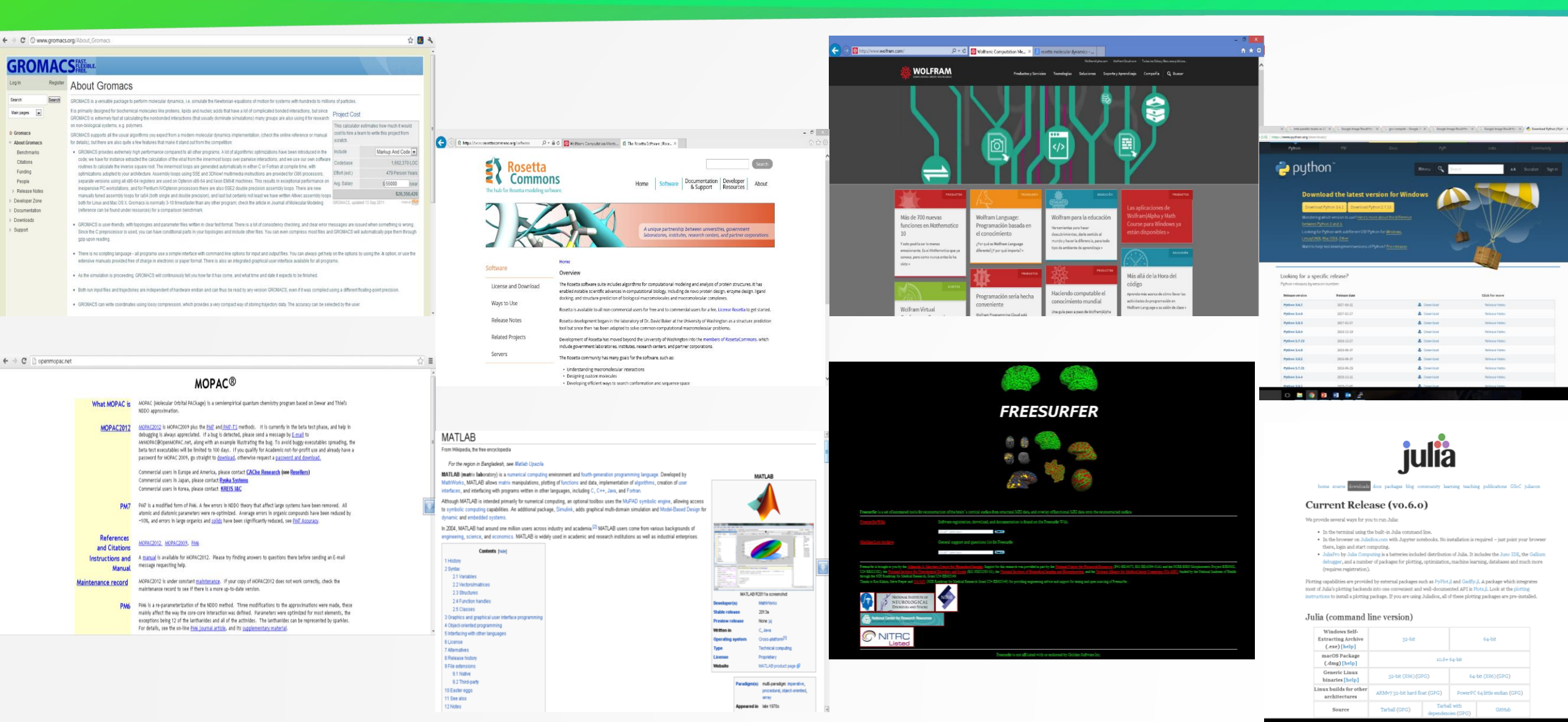
Presentado en evento: 4to Encuentro de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, XI Simposio de Diseño Molecular y Bioinformática.

Título: THEORETICAL STUDY OF A RECENTLY SYNTHETIZED PCMB-STEROID DERIVATE. PROPOSAL OF A NEW SYSTEMATIC METHODOLOGY.

Autores: Claudia Iriarte-Mesa, David Hernández-Castillo, Orlando Ortiz-Rodriguez, Margarita Suarez-Navarro

Presentado en evento: XI Simposio de Diseño Molecular y Bioinformática.

Principales aplicaciones en producción.
Principales proyectos beneficiados



Incorporación de nuevas capacidades de cómputo. Proyección a corto plazo.

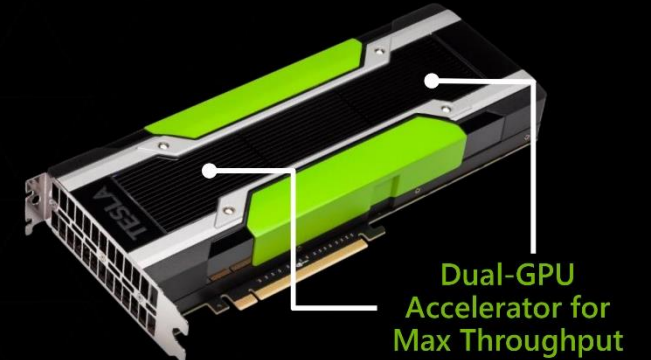
SERVIDOR DELL POWEREDGE R730 CON GPU NVIDIA K80 CONFIGURABLE A MAS DE 256GB DE MEMORIA RAM.

- Se alcanzará un rendimiento teórico pico combinado de 6.85Tflops (3.95Tflos solo CPU).

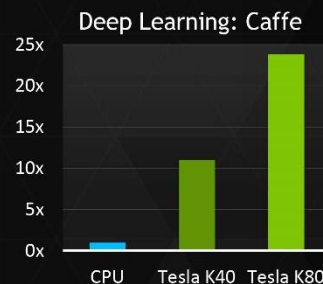


TESLA K80

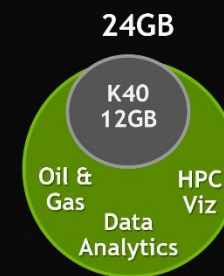
WORLD'S FASTEST ACCELERATOR
FOR DATA ANALYTICS AND
SCIENTIFIC COMPUTING



2x Faster
2.9 TF | 4992 Cores | 480 GB/s



Double the Memory
Designed for Big Data Apps



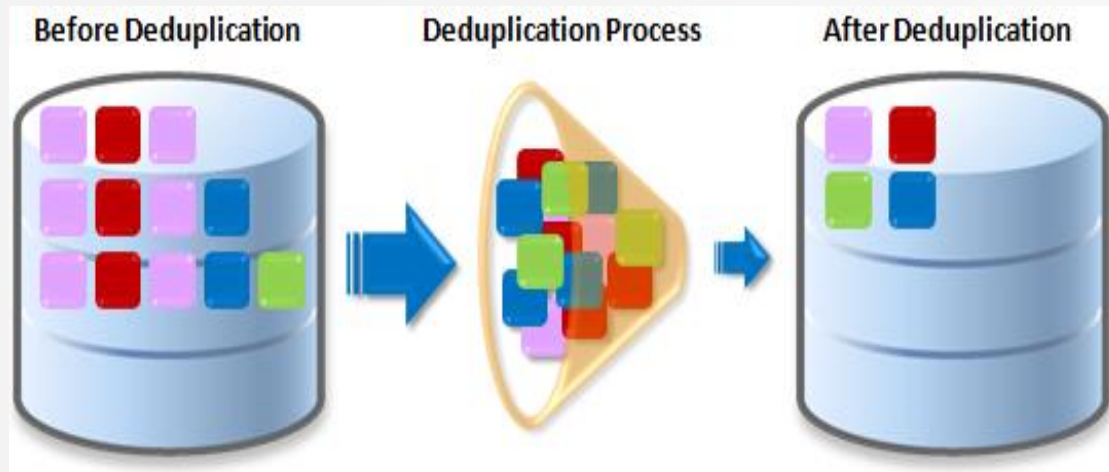
Maximum Performance
Dynamically Maximize Perf for
Every Application



Caffe Benchmark: AlexNet training throughput based on 20 iterations, CPU: E5-2697v2 @ 2.70GHz. 64GB System Memory, CentOS 6.2

Proyecto de I+D sobre almacenamiento a largo plazo. Proyección a corto plazo.

“Análisis e implantación de un sistema de deduplicación de ficheros para el almacenamiento a largo plazo y la compresión de datos bioinformáticos”.



La **deduplicación de datos** es una técnica especializada de compresión de datos para eliminar copias duplicadas de datos repetidos.

Un término relacionado con la deduplicación de datos es la compresión inteligente de datos. Esta técnica se usa para optimizar el almacenamiento de datos en disco y también para reducir la cantidad de información que debe enviarse de un dispositivo a otro a través de redes de comunicación.

1. Debe quedar en producción al finalizar **diciembre de 2017** (variante consola, variante nube).
2. Resolver cuestiones técnicas asociadas al “Garbage Collection” vinculadas al sistema Open Source que estamos utilizando.
3. Compatibilizar la solución con los órganos de control.



Proyección a mediano plazo.

Proyecto de I+D sobre Big Data para ciencias de la vida e inteligencia del negocio.

PROYECTO DE I+D PARA 2018-2019



APLICADO AL ÁMBITO DE LAS CIENCIAS DE LA VIDA Y LA INTELIGENCIA DEL NEGOCIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EMPRESARIALES.

- Integración endógena natural con la Dirección de Sistemas Informáticos.
- Incorporación de nuevos especialistas de diversas especialidades para la creación de equipos multidisciplinarios.
- Participación en cursos de postgrado y su masificación a través de Plataforma EVA de la ETI.

Proyección a largo plazo.

Instalación y puesta en marcha de un nuevo Centro de Datos TIER 3 tipo contenedor.

INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN NUEVO CENTRO DE DATOS TIER 3 TIPO CONTENEDOR.

- Nivel de disponibilidad de 99.982%.
- Componentes y sistemas auxiliares redundantes (N+1).
- Suficiente capacidad para efectuar tareas de mantenimiento en una línea, mientras se da servicio por otras.



UBICACIÓN ESTRATEGICA EN LA ROTONDA DE LA MUÑECA.

- Proyección de enlace mediante fibra óptica propietaria a las principales instituciones que han demanda demandan procesamiento.
- Es posible establecer conexiones de hasta 1Gbps.

*Proyección a largo plazo.
Imagen real de un centro de datos tipo contenedor.*

**ALGUNAS MEJORAS INCLUIDAS
(TROPICALIZACIÓN).**

- Puertas contra huracanes.
- Fijación a plataforma base resistente a huracanes.
- Superficie con revestimiento multicapas para frenar la corrosión.
- Diseño con aislamiento térmico incorporado.
- [OPCIONAL] Techo de cubierta ligera.
- Power Usage Effectiveness (PUE) por debajo de 1.5



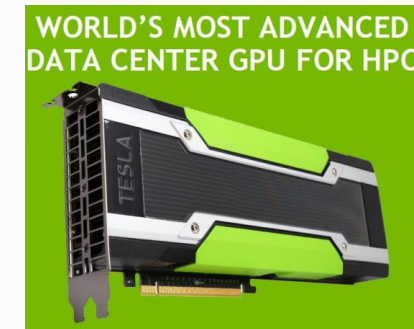
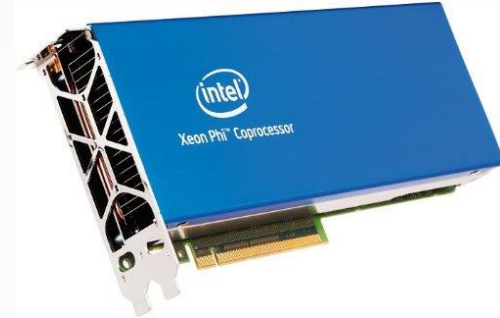
Cortesía: **inspur**

Proyección a largo plazo.

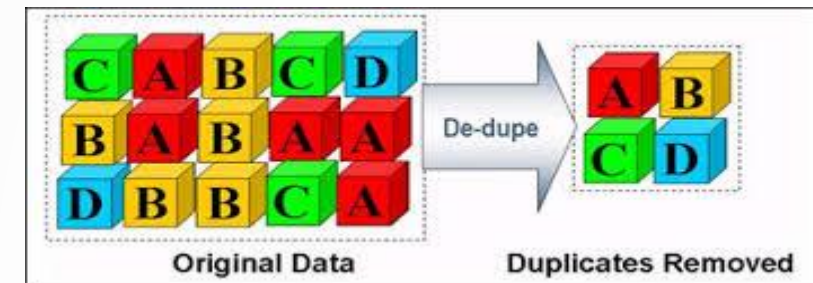
Principales capacidades de la plataforma HPC en el nuevo Centro de Datos.

PRINCIPALES CAPACIDADES DE LA NUEVA PLATAFORMA HPC.

- Capacidad de procesamiento 50 Tflops (solamente CPU).
- Utilización de los más recientes procesadores Intel Xeon Gold (familia **Skylake**). Fecha de lanzamiento: marzo de 2017 (ACTUALIZABLE).
- Nodos con coprocesadores NVIDIA TESLA e INTEL Xeon Phi para la aceleración del procesamiento en aplicaciones específicas.
- **CAPACIDAD TOTAL TEÓRICA: 100 Tflops.**
- Dispondrá de una red Infiniband a 100Gbps para almacenamiento y procesamiento.
- Sistema de almacenamiento paralelo basado en Lustre con 1PB para la producción.
- Sistema de almacenamiento primario de 500TB con réplica en otra ubicación geográfica distante (nodo secundario en OSDE BCF, enlazado a 8Gbps por fibra propietaria, salva asíncrona).
- Incluye soporte para deduplicación por hardware para la compresión de datos.



lustre®



Proyección a largo plazo.

Otras bondades de la plataforma HPC en el nuevo Centro de Datos.

OTRAS BONDADES DE LA PLATAFORMA HPC.

- Estaciones de trabajo potenciadas con procesadores gráficos para pre-procesamiento, post-procesamiento y visualización (3D) conectadas desde los centros a 100Mbps mínimo.
- Equipo multidisciplinario de especialistas e investigadores dedicados a la optimización de aplicaciones.
- Incorporar aplicaciones de Big Data para ciencias de la vida y el mundo empresarial (inteligencia del negocio).
- Posibilidad de brindar HPC como servicio.



El menor costo de utilización de la plataforma se logra mediante un uso del 100%. Esto depende de todos.

*Colaboración interinstitucional.
Con las entidades de Biocubafarma.*



Dell HPC System for Genomics v2.0

A Dell Reference Architecture
HPC Infrastructure for Next Generation Sequencing Analysis

Dell HPC Engineering
November 2015

Nishanth Dandapanthula
Kihoon Yoon



cim

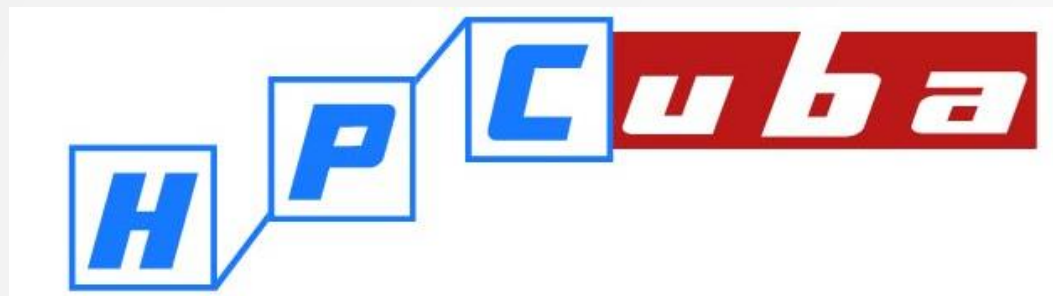
Centro de Inmunología
Molecular



CNEURO
CUBAN NEUROSCIENCE CENTER

Colaboración interinstitucional. Con las entidades del Ministerio de Educación Superior.

COLABORACIÓN CON LA UCLV, PROYECTO HPC-CUBA



www.hpc.cu, hpc.uclv.cu



**PRINCIPALES INVITADOS AL
SIMPOSIO “Nuevas tendencias y
aplicaciones para plataformas de
computación de alto
rendimiento”**



Facultades invitadas de la Universidad de la Habana:

- Facultad de Química
- Facultad de Biología
- Facultad de Matemática Computación
- Facultad de Biología
- InsTEC
- Física

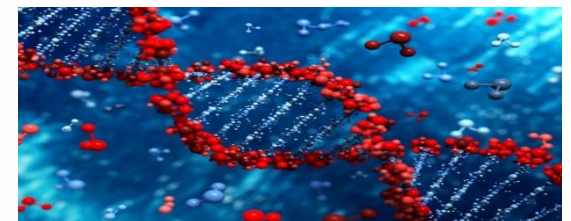
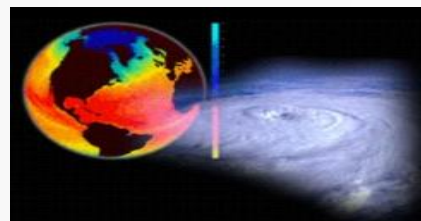
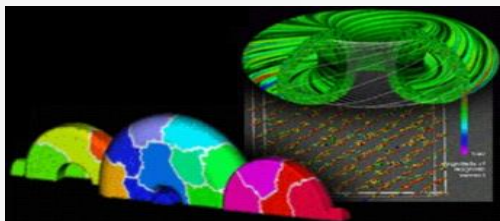
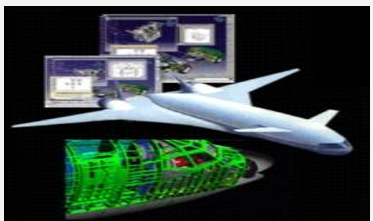
Conclusiones.

Conclusiones.

Se ha presentado la plataforma computacional de alto rendimiento de la ETI-Biocubafarma, como una solución HPC al servicio de Biocubafarma.

Se han explicado los principales métodos empleados para la optimización de aplicaciones. De esta manera se asegura un uso eficiente. Una fuente de recursos.

Se han comentado las proyecciones a corto, mediano y largo plazo para satisfacer la demanda de los investigadores de Biocubafarma y otras instituciones que lo necesiten en función del desarrollo del país, como parte de la Estrategia Nacional de Informatización.



Desarrollo de una plataforma computacional de alto rendimiento (HPC) para la industria biofarmacéutica cubana.



*Autor: Ing. Karel Asael Barberena Morales.
Ing. Daniel López González*

Varadero. 26 de Septiembre de 2017.