



## Evaluación del algoritmo Contact Graph Routing en el caso de constelaciones satelitales LEO

Juan Pablo Astudillo León

**Director:**

Dr. José Ignacio Alvarez-Hamelin

Escuela de Graduados en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (EGRIET)  
Grupo de redes complejas y comunicación de datos (CoNexDat)

12 de agosto de 2015

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

- Desafíos en las comunicaciones por satélite
- Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

- Descripción de los escenarios.

- Escenario 1: Simulación Base

- Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

- Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

- Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

- Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

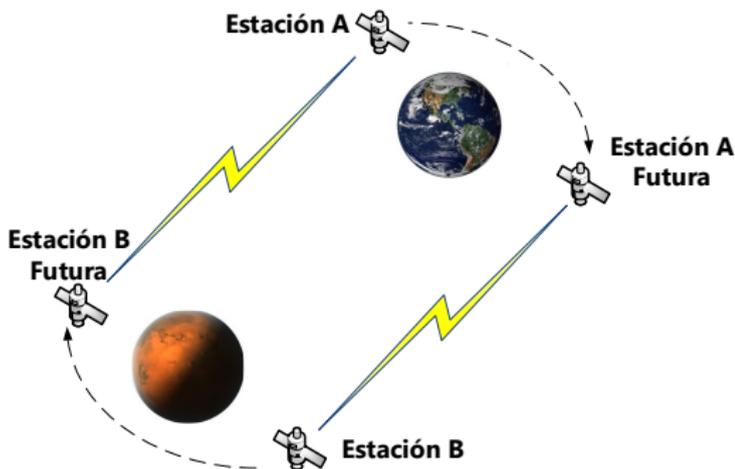
# Desafíos en las comunicaciones por satélite

# Desafíos en las comunicaciones por satélite

- i. **Distancia**, movilidad, escasa conectividad y **retardos de propagación**.

# Desafíos en las comunicaciones por satélite

- i. **Distancia**, movilidad, escasa conectividad y **retardos de propagación**.





# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Objetivo en los esquemas de enrutamiento

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Objetivo en los esquemas de enrutamiento

- i. Tradicionalmente: selección de una ruta que **minimice** una **métrica**.

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Objetivo en los esquemas de enrutamiento

- i. Tradicionalmente: selección de una ruta que **minimice** una **métrica**.
- ii. Redes DTN: aumentar la **probabilidad** de **transmitir** un paquete.

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Objetivo en los esquemas de enrutamiento

- i. Tradicionalmente: selección de una ruta que **minimice** una **métrica**.
- ii. Redes DTN: aumentar la **probabilidad** de **transmitir** un paquete.

## Contact Graph Routing (CGR)

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Objetivo en los esquemas de enrutamiento

- i. Tradicionalmente: selección de una ruta que **minimice** una **métrica**.
- ii. Redes DTN: aumentar la **probabilidad** de **transmitir** un paquete.

## Contact Graph Routing (CGR)

- i. Orientado a **redes DTN**.

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Objetivo en los esquemas de enrutamiento

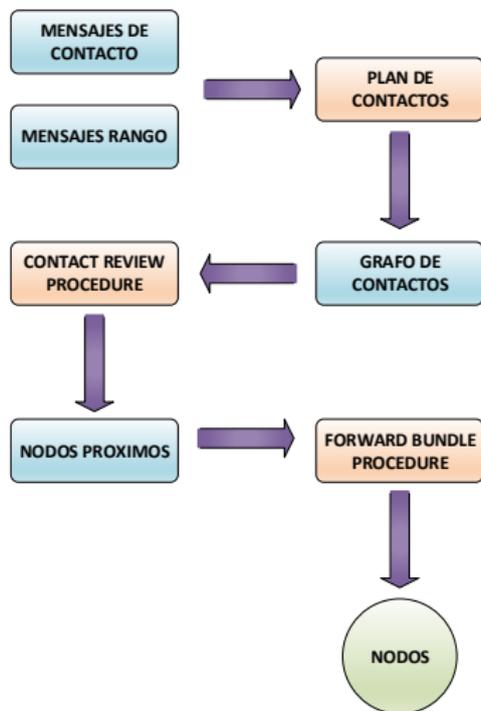
- i. Tradicionalmente: selección de una ruta que **minimice** una **métrica**.
- ii. Redes DTN: aumentar la **probabilidad** de **transmitir** un paquete.

## Contact Graph Routing (CGR)

- i. Orientado a **redes DTN**.
- ii. Conectividad entre nodos: **programada** e **intermitente**.

# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

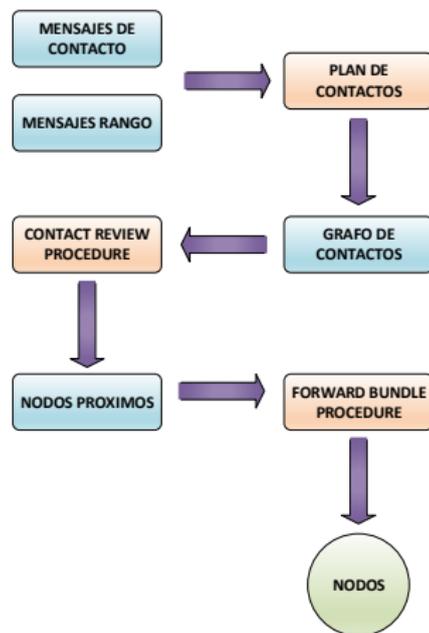
## Procesamiento de CGR



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Procesamiento de CGR

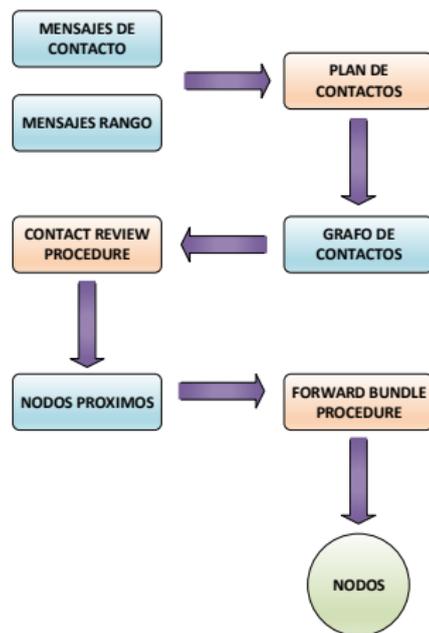
- i. **Plan de contactos:** mensajes de contacto y sus capacidades.



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Procesamiento de CGR

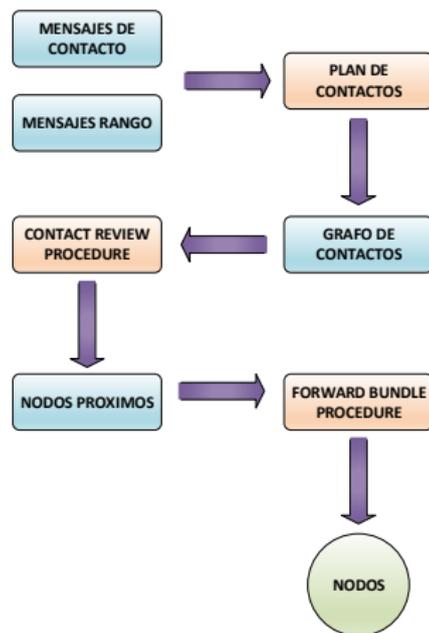
- i. **Plan de contactos:** mensajes de contacto y sus capacidades.
- ii. **Grafo de contactos.**



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Procesamiento de CGR

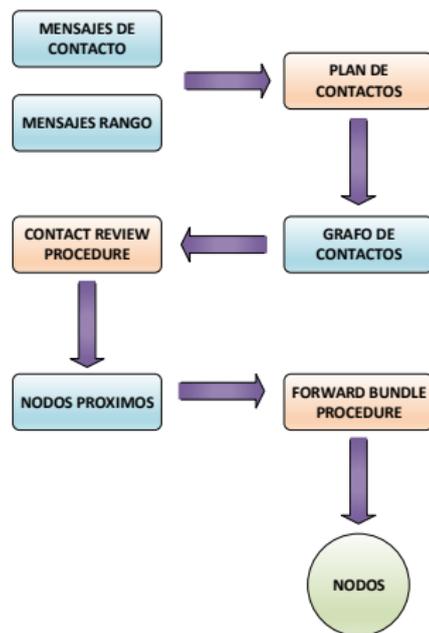
- i. **Plan de contactos:** mensajes de contacto y sus capacidades.
- ii. **Grafo de contactos.**
- iii. Algoritmo *Contact Review Procedure* (CGR-CRP).



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

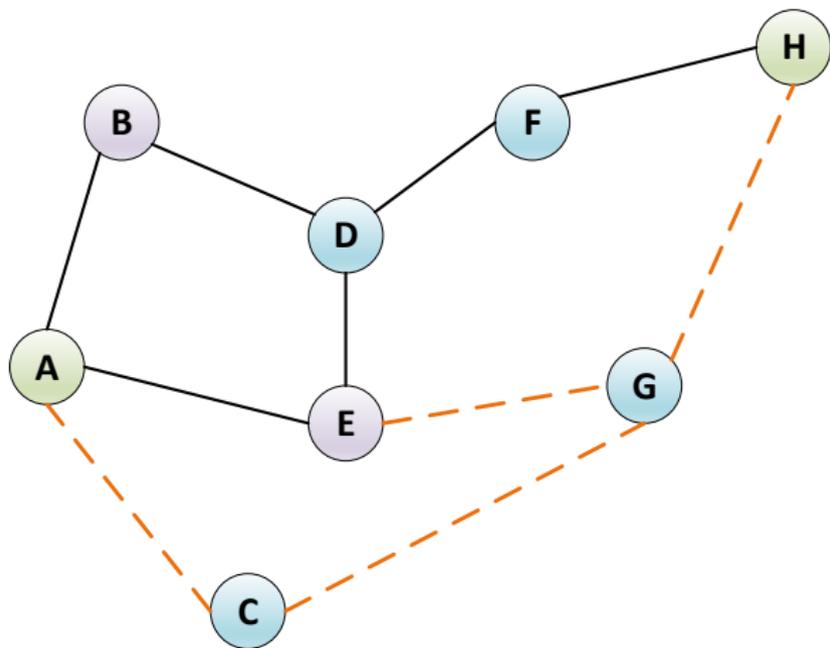
## Procesamiento de CGR

- i. **Plan de contactos:** mensajes de contacto y sus capacidades.
- ii. **Grafo de contactos.**
- iii. Algoritmo *Contact Review Procedure* (CGR-CRP).
- iii. Algoritmo *Forward Bundle Procedure* (CGR-FBP).



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Ejemplo de ruteo



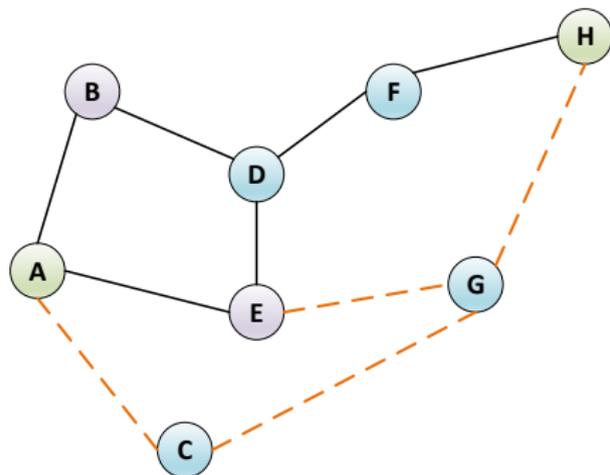




# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Ejemplo de ruteo

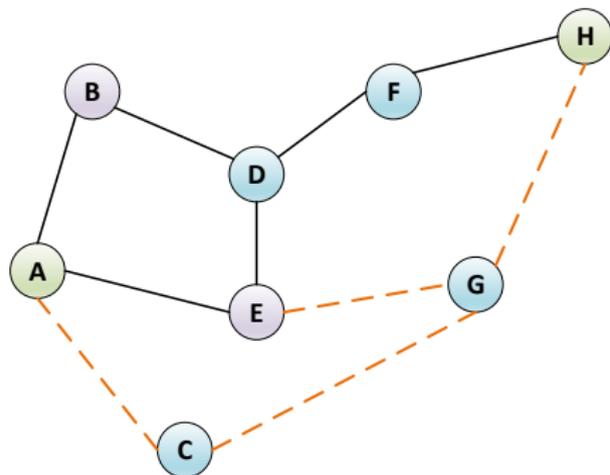
- i. Si **A** desea enviar un paquete a **H**, *CGR* produce un conjunto  $\{\mathbf{B}, \mathbf{E}\}$ .
- ii. **Selecciona el nodo con menor métrica.**
  1. **Tiempo** de entrega.



# Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

## Ejemplo de ruteo

- i. Si **A** desea enviar un paquete a **H**, *CGR* produce un conjunto  $\{\mathbf{B}, \mathbf{E}\}$ .
- ii. **Selecciona el nodo con menor métrica.**
  1. **Tiempo** de entrega.
  2. Número de **saltos**.









# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

- Desafíos en las comunicaciones por satélite
- Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

### Escenarios estudiados y análisis de los resultados

- Descripción de los escenarios.
- Escenario 1: Simulación Base
- Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos
- Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica
- Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.
- Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Topología de red

# Topología de red

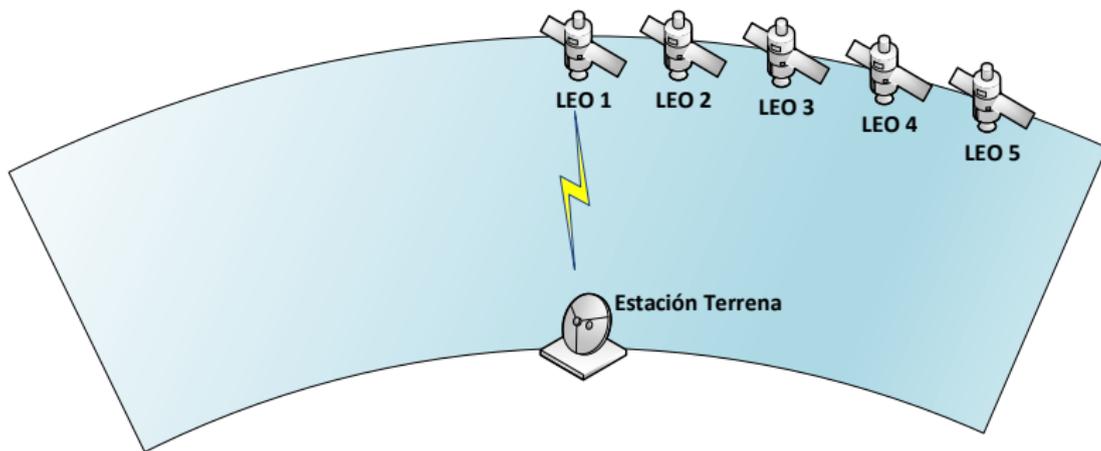
- i. Tren de **cinco satélites**.

# Topología de red

- i. Tren de **cinco satélites**.
- ii. Caso ideal: **conexión** con alguna **estación terrena** por **período orbital**.

# Topología de red

- i. Tren de **cinco satélites**.
- ii. Caso ideal: **conexión** con alguna **estación terrena** por **período orbital**.



# Plan de contactos

## Consideraciones

# Plan de contactos

## Consideraciones

- i. Nodos se **comunican** con **un vecino**.

# Plan de contactos

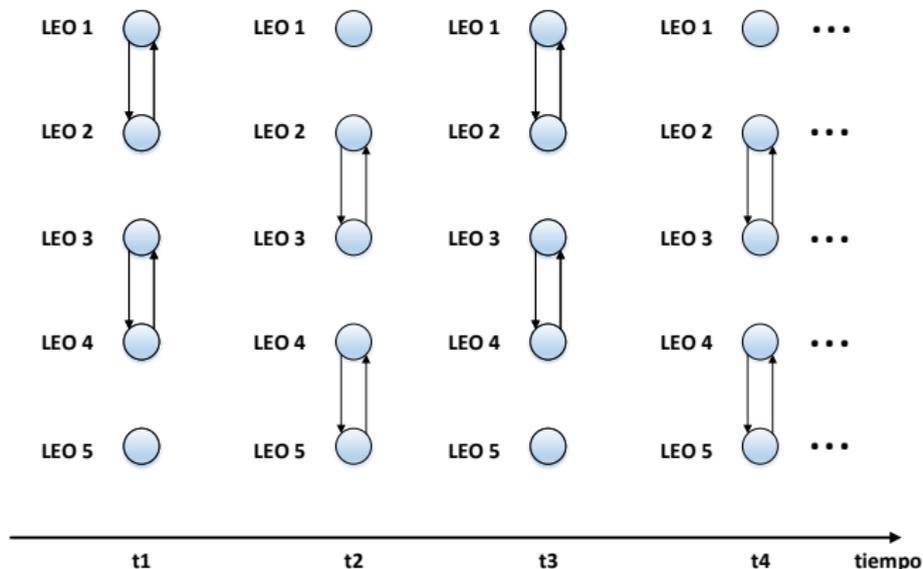
## Consideraciones

- i. Nodos se **comunican** con **un vecino**.
- ii. **Tiempos definidos** por las **ventanas de contactos**.

# Plan de contactos

## Consideraciones

- i. Nodos se **comunican** con **un vecino**.
- ii. **Tiempos definidos** por las **ventanas de contactos**.



# Configuración de las descargas en la estación terrena

## Consideraciones

# Configuración de las descargas en la estación terrena

## Consideraciones

- i. **Únicamente** un **nodo** puede **descargar datos**.

# Configuración de las descargas en la estación terrena

## Consideraciones

- i. **Únicamente** un **nodo** puede **descargar datos**.
- ii. Comienza *LEO1* y lo termina *LEO5*.



# Formato del plan de contactos

# Formato del plan de contactos

Archivo de texto plano: cada **línea** representa un **mensaje de contacto**.

# Formato del plan de contactos

Archivo de texto plano: cada **línea** representa un **mensaje de contacto**.

# Archivo que contiene las ventanas para cada segmento del sistema.

# Formato de los Datos:

# id      SegmA   SegmB   Tiempo\_de\_inicio(seg)   Duracion\_ventana(seg)

1	LEO1	LEO2	1	899
2	LEO3	LEO4	1	899
3	LEO2	LEO3	900	900
4	LEO4	LEO5	900	900
5	LEO1	LEO2	1800	900
6	LEO3	LEO4	1800	900
7	LEO2	LEO3	2700	900
8	LEO4	LEO5	2700	900
9	LEO1	LEO2	3600	900
10	LEO3	LEO4	3600	900
11	LEO2	LEO3	4500	900
12	LEO4	LEO5	4500	900

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite  
Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Descripción de los escenarios

# Descripción de los escenarios

Escenarios estudiados

# Descripción de los escenarios

## Escenarios estudiados

- i. **Simulación Base:** **escenario ideal**, todas las imágenes llegan completas.

# Descripción de los escenarios

## Escenarios estudiados

- i. **Simulación Base:** **escenario ideal**, todas las imágenes llegan completas.
- ii. **Límite** en la capacidad de **almacenamiento** en los **nodos**.

# Descripción de los escenarios

## Escenarios estudiados

- i. **Simulación Base:** **escenario ideal**, todas las imágenes llegan completas.
- ii. **Límite** en la capacidad de **almacenamiento** en los **nodos**.
- iii. Sistema al **máximo** de su **capacidad** teórica: analiza el **valor óptimo del sistema**.

# Descripción de los escenarios

## Escenarios estudiados

- i. **Simulación Base:** **escenario ideal**, todas las imágenes llegan completas.
- ii. **Límite** en la capacidad de **almacenamiento** en los **nodos**.
- iii. Sistema al **máximo** de su **capacidad** teórica: analiza el **valor óptimo del sistema**.
- iv. **Pérdida intermitente** de **contactos** entre enlaces.

# Descripción de los escenarios

## Escenarios estudiados

- i. **Simulación Base:** **escenario ideal**, todas las imágenes llegan completas.
- ii. **Límite** en la capacidad de **almacenamiento** en los **nodos**.
- iii. Sistema al **máximo** de su **capacidad** teórica: analiza el **valor óptimo del sistema**.
- iv. **Pérdida intermitente** de **contactos** entre enlaces.
- v. **Plan de contactos** calculado en función de **parámetros orbitales**.

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

### **Escenario 1: Simulación Base**

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Variables de configuración del Escenario 1

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$

# Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps

# Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos

# Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos

# Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75

# Variables de configuración del Escenario 1

Variable	Valor configurado
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75
timeGenImage	3.200 segundos

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75
timeGenImage	3.200 segundos
imagenSize	10 MB

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75
timeGenImage	3.200 segundos
imagenSize	10 MB
cantBundles	686

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75
timeGenImage	3.200 segundos
imagenSize	10 MB
cantBundles	686
bundleSize	14.9 KB

# Variables de configuración del Escenario 1

## Variables de configuración del Escenario 1

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
simulationTime	67hs 40min
orbitalTime	90 minutos
<b>bufferSizeTerr</b>	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	$\infty$
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantImagen	75
timeGenImage	3.200 segundos
imagenSize	10 MB
cantBundles	686
bundleSize	14.9 KB
bundleTTL	10.800 segundos

# Plan de contactos

# Plan de contactos

En función de:

# Plan de contactos

En función de:

*simulationTime, orbitalTime, timeTerr y timeSat.*

# Plan de contactos

En función de:

*simulationTime, orbitalTime, timeTerr y timeSat.*

<b>Enlace</b>	<b>Cantidad de contactos</b>
Nodos ↔ Estaciones terrenas	9
LEO1 ↔ LEO2	113
LEO2 ↔ LEO3	113
LEO3 ↔ LEO4	113
LEO4 ↔ LEO5	113

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

Resultados obtenidos

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

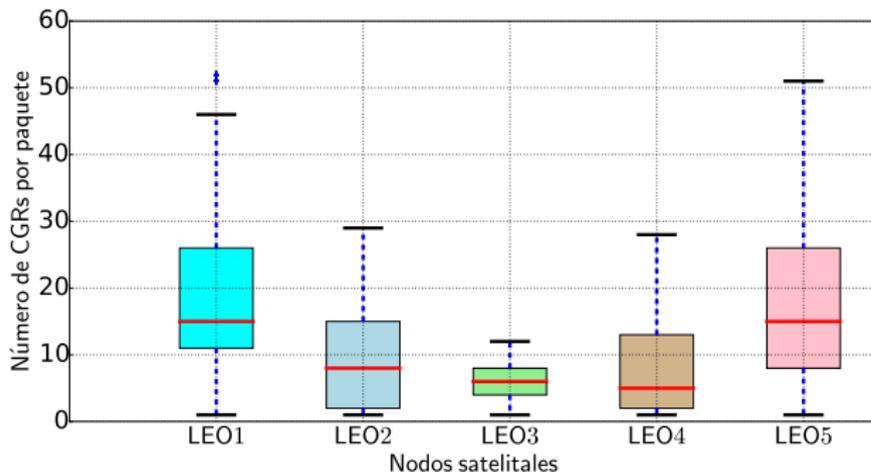
## Resultados obtenidos

- i. Calculado **6.664.573 veces**.

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

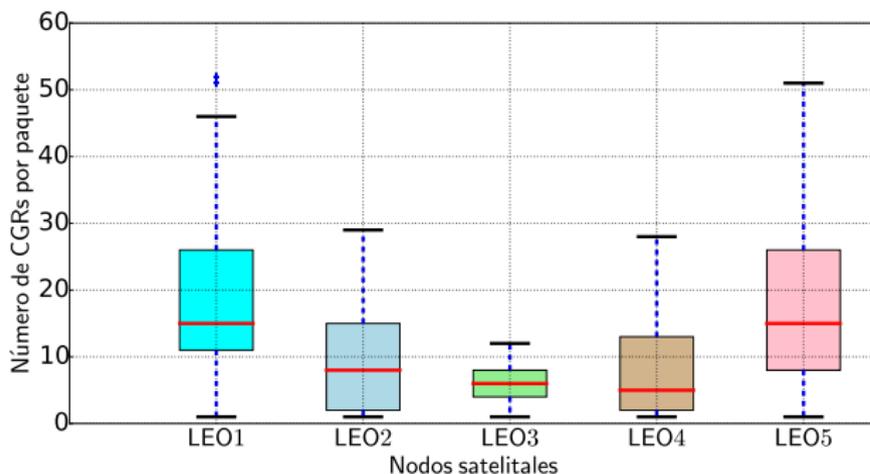
- i. Calculado **6.664.573** veces.
- ii. *LEO1* y *LEO5* calculan más veces *CGR*.



# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

- i. Calculado **6.664.573 veces**.
- ii. *LEO1* y *LEO5* **calculan más veces CGR**.



- iii. No tabla de enrutamiento: **valor mínimo de 1**.

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

Modificación del algoritmo de enrutamiento.

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

Modificación del algoritmo de enrutamiento.

- i. **Almacenan rutas** ya calculadas.

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

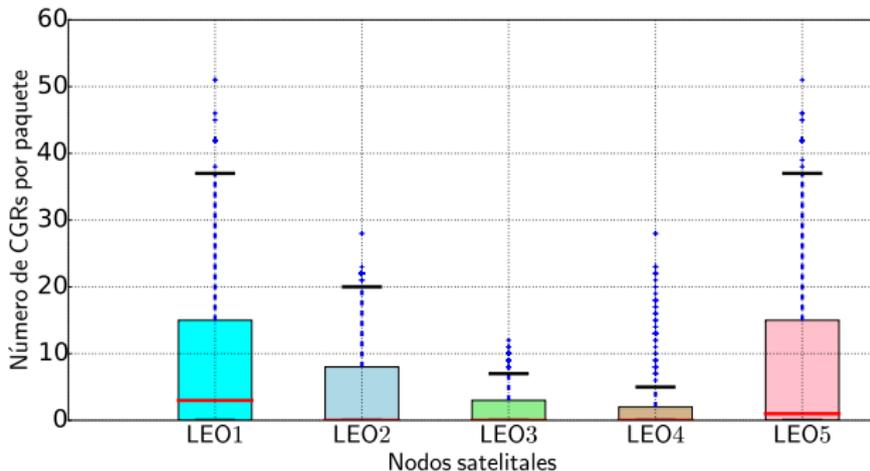
Modificación del algoritmo de enrutamiento.

- i. **Almacenan rutas** ya calculadas.
- ii. **Recalculan** cuando existen **modificaciones**.

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

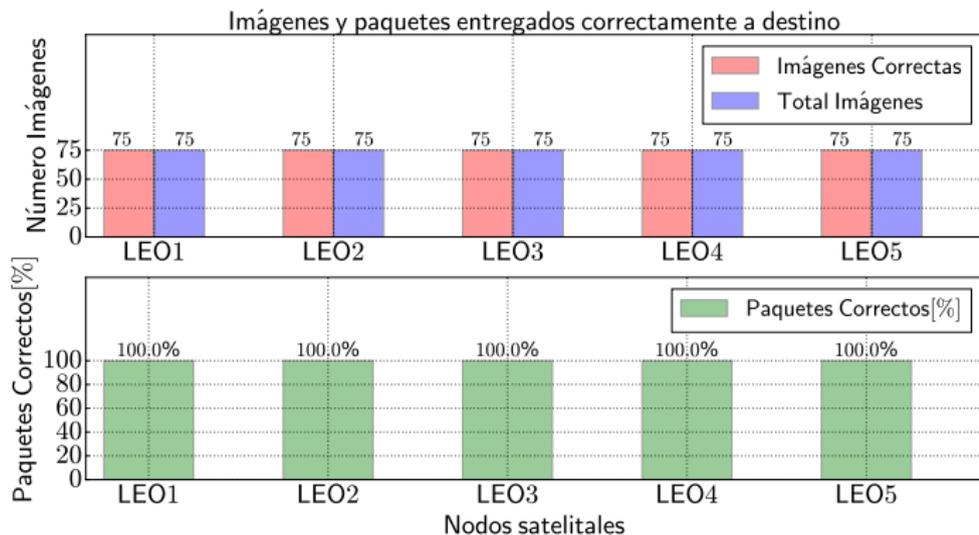
Modificación del algoritmo de enrutamiento.

- i. **Almacenan rutas** ya calculadas.
- ii. **Recalculan** cuando existen **modificaciones**.
- iii. **Disminuyó** el cálculo en un **63,71 %** (2.418.207)  $\Rightarrow$  **menor procesamiento**.



# Tasa de imágenes y paquetes transmitidos correctamente

## Imágenes transmitidas correctamente.

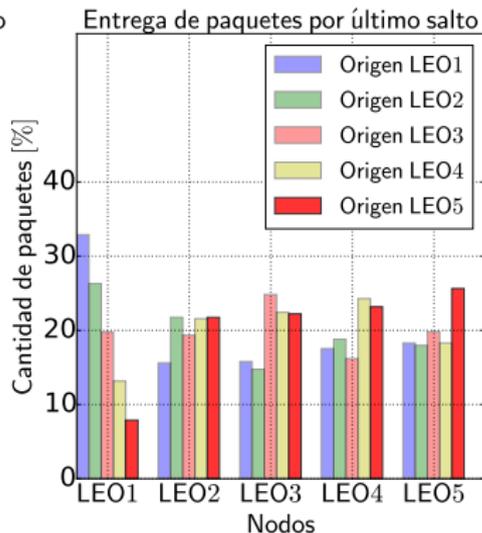
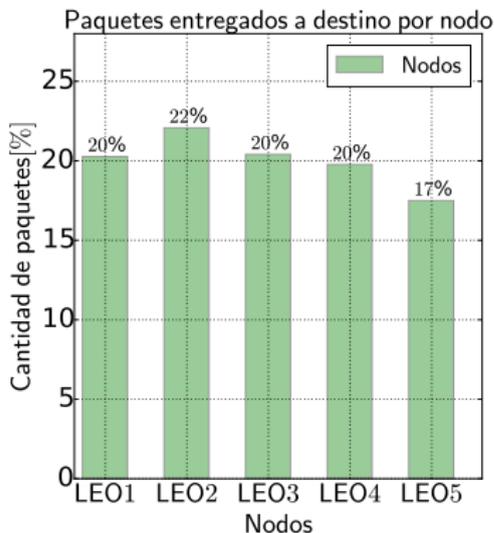


## Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

- i. Tren de 5 satélites: 20 % de la información sea **transmitida** por **nodo**.

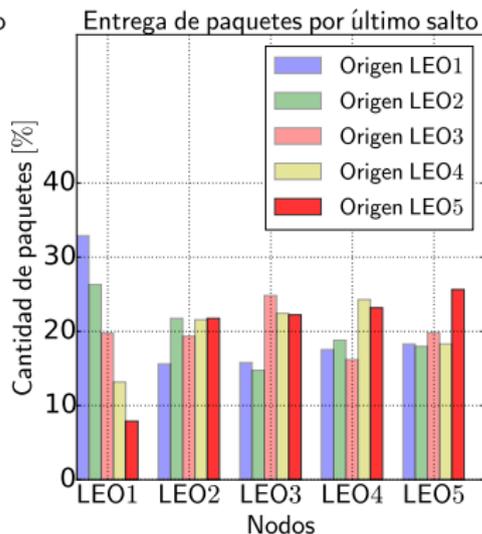
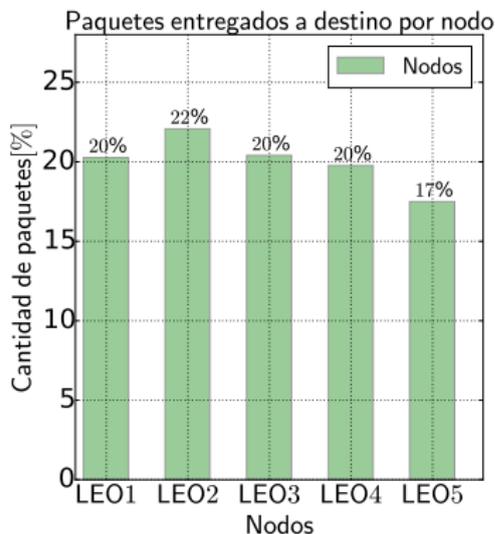
# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

- i. Tren de 5 satélites: 20 % de la información sea **transmitida** por **nodo**.



# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

- i. Tren de 5 satélites: 20% de la información sea **transmitida** por **nodo**.
- ii. **Nodos entregan la mayoría** de sus **paquetes** (excepto *LEO2*).



# Optimización del plan de contactos

## Consideraciones

# Optimización del plan de contactos

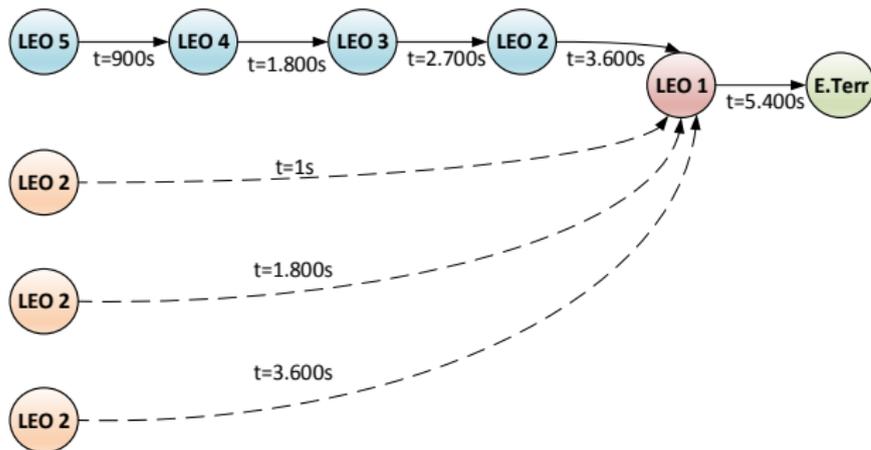
## Consideraciones

- i. Eliminar contactos innecesarios: **enlaces apagados** por **mayor** períodos de **tiempo**.

# Optimización del plan de contactos

## Consideraciones

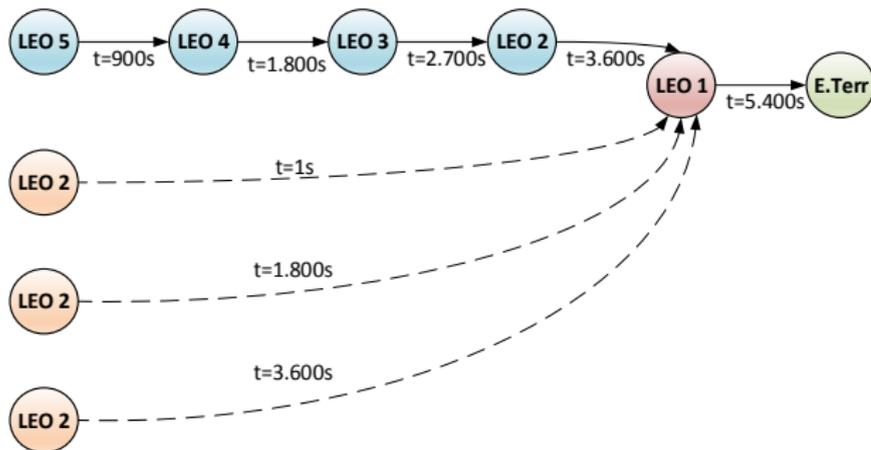
- Eliminar contactos innecesarios: **enlaces apagados** por **mayor** períodos de **tiempo**.



# Optimización del plan de contactos

## Consideraciones

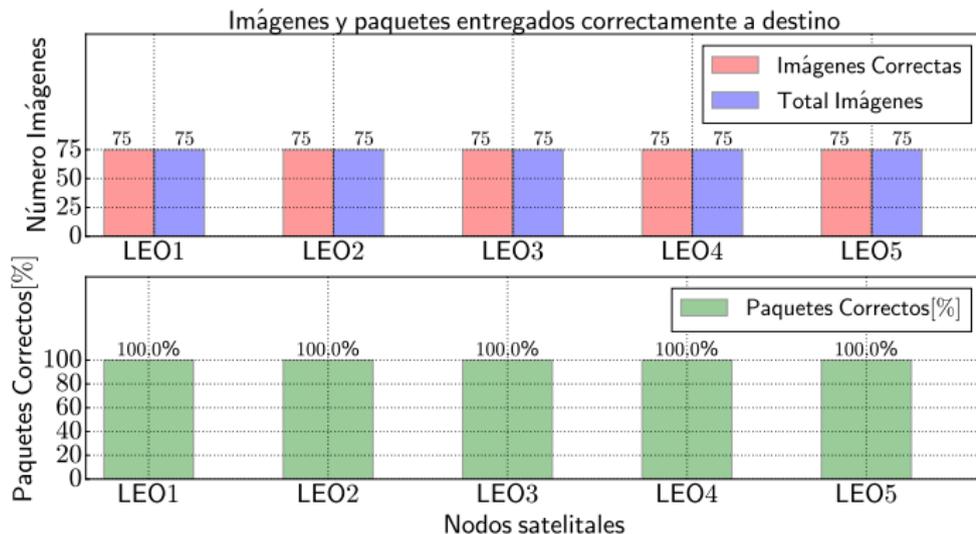
- i. Eliminar contactos innecesarios: **enlaces apagados** por **mayor** períodos de **tiempo**.
- ii. Objetivo: **Equilibrar** la cantidad de **contactos** entre nodos.



# Optimización del plan de contactos

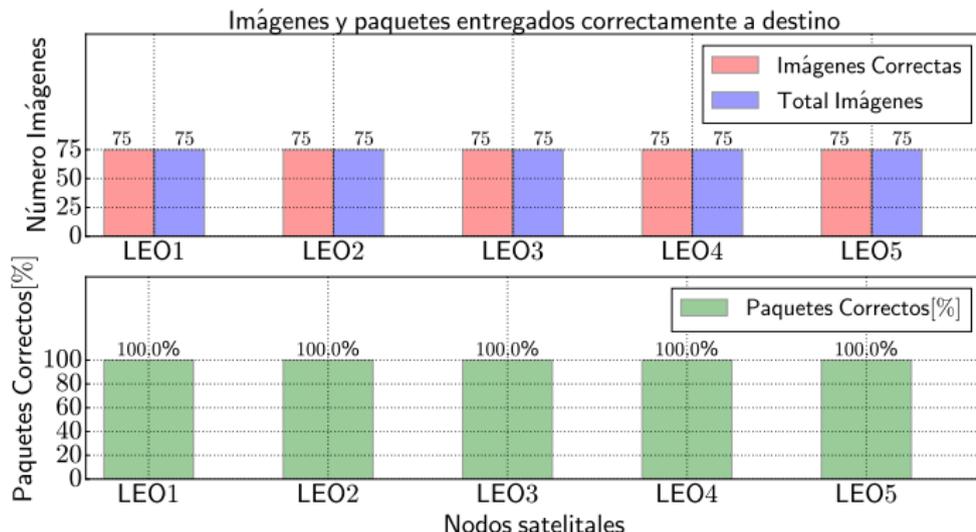
# Optimización del plan de contactos

## i. Imágenes transmitidas correctamente.



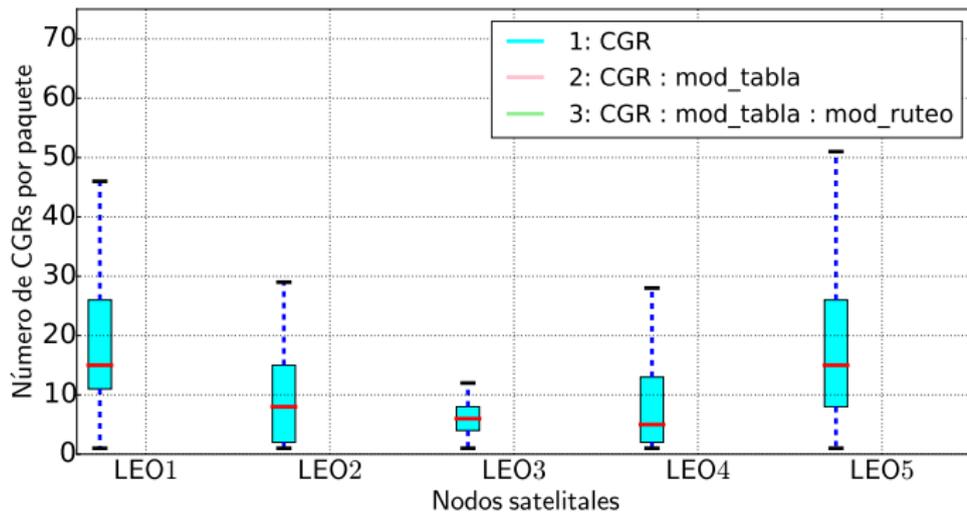
# Optimización del plan de contactos

- i. Imágenes transmitidas correctamente.
- ii. **Reducción** del plan de contactos en un **36,2 %** (Ahorro energético).



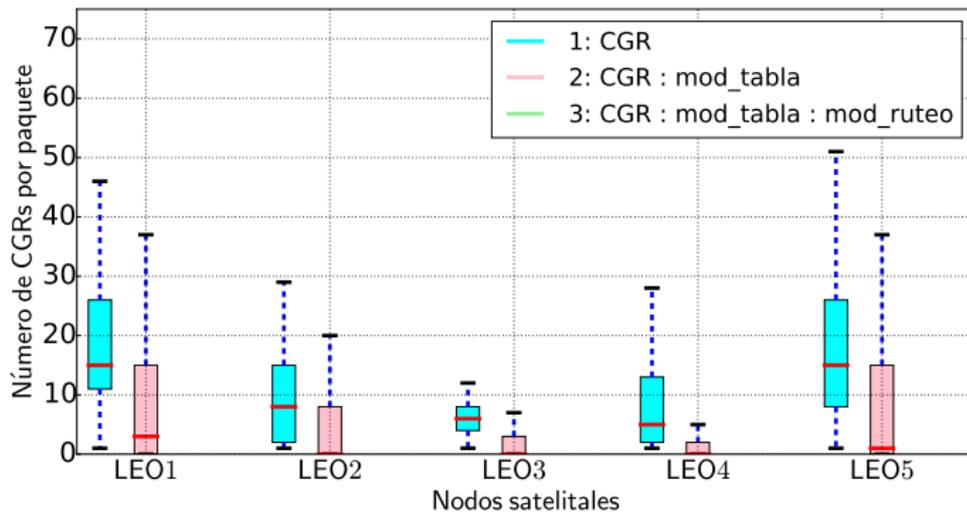
# Cálculo del algoritmo CGR para los tres casos analizados.

## 1. CGR normal.



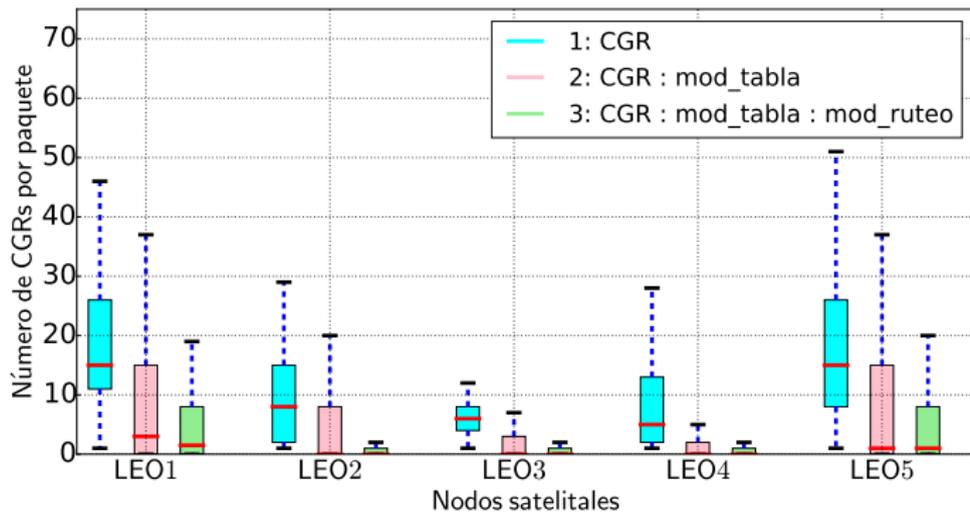
# Cálculo del algoritmo CGR para los tres casos analizados.

1. *CGR* normal.
2. *CGR* con **tabla de ruteo**.



# Cálculo del algoritmo CGR para los tres casos analizados.

1. *CGR* normal.
2. *CGR* con **tabla de ruteo**.
3. *CGR* con **tabla de ruteo** y **optimización** del **plan de contactos**.



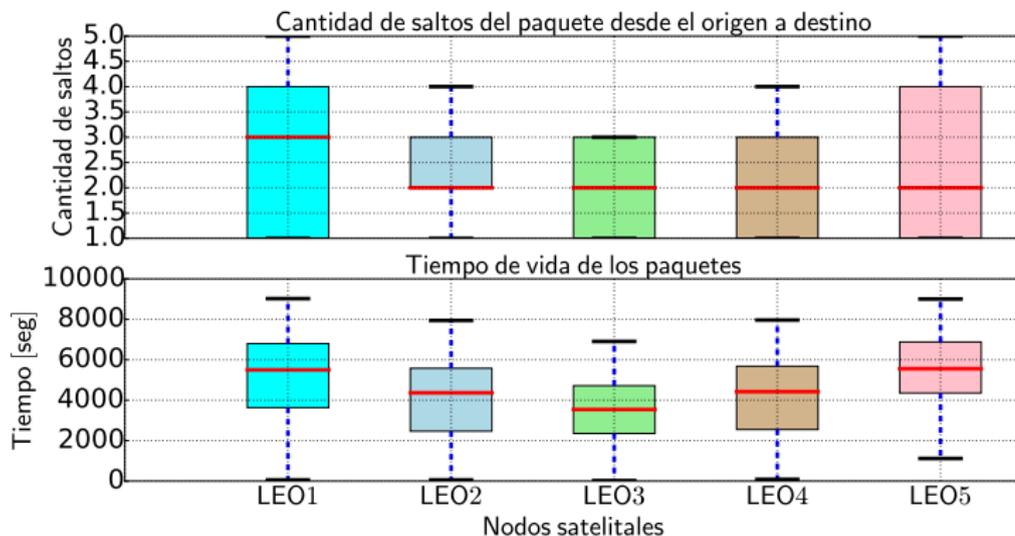
# Distancia de red y tiempo de vida de los paquetes

Resultados obtenidos

# Distancia de red y tiempo de vida de los paquetes

## Resultados obtenidos

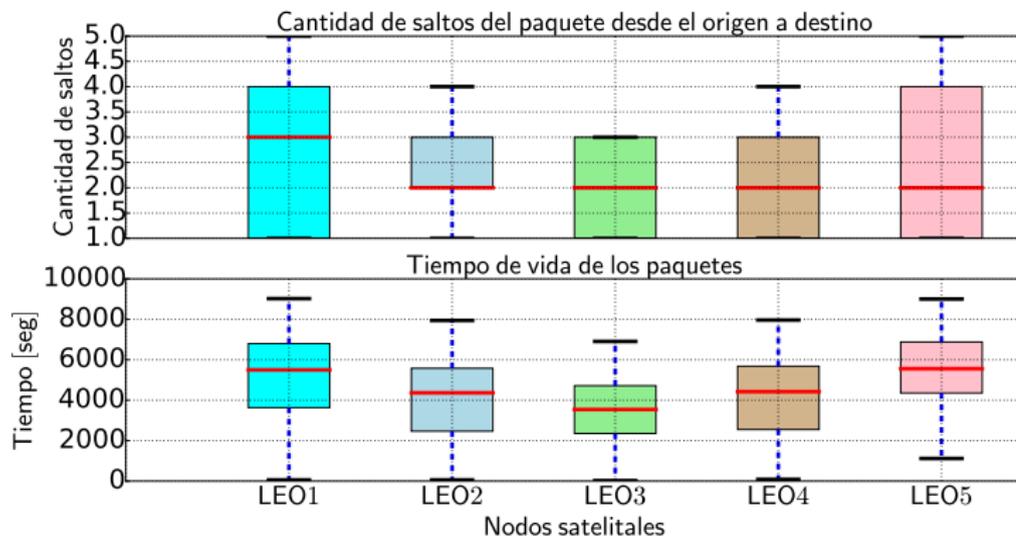
- i. *LEO1* y *LEO5* requieren de 1 a 5 saltos (**localización**).



# Distancia de red y tiempo de vida de los paquetes

## Resultados obtenidos

- i. *LEO1* y *LEO5* requieren de 1 a 5 saltos (**localización**).
- ii. **Tiempos** por **debajo** del *TTL* (**10.800s**).



# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

**Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos**

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

## Variables de configuración del Escenario 2

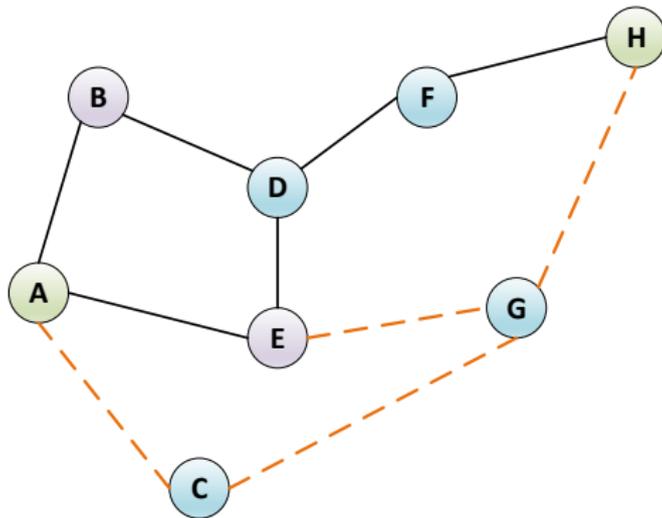
<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
orbitalTime	90 minutos
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
bufferSizeTerr	$\infty$
<b>bufferSizeSat</b>	<b>100 MB</b>
simulationTime	67hs 40min
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantBundles	686
<b>bundleSize</b>	<b>29,9 KB</b>
bundleTTL	10.800 segundos
cantImagen	75
<b>imagenSize</b>	<b>20 MB</b>
timeGenImage	3.200 segundos



## Estado de los enlaces

**Capacidad Enlace:**  $F \longleftrightarrow H = 10000$ .

**A** envía 2000 bits a **H**  $\Rightarrow$  **Capacidad Enlace:**  $F \longleftrightarrow H = 8000$ .

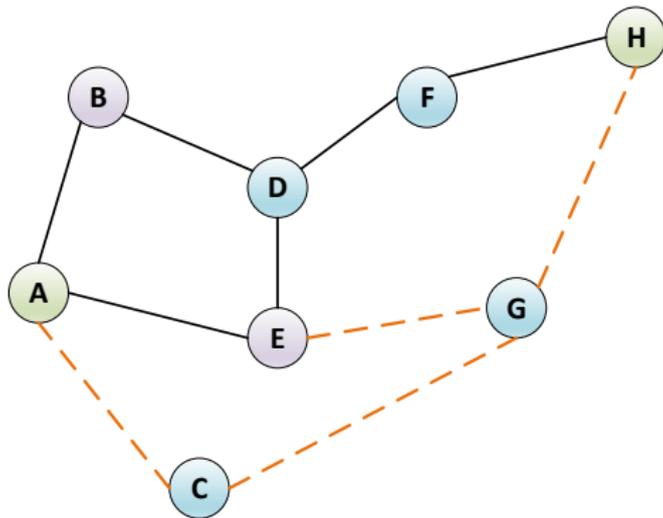


## Estado de los enlaces

**Capacidad Enlace:**  $F \longleftrightarrow H = 10000$ .

**A** envía 2000 bits a **H**  $\Rightarrow$  **Capacidad Enlace:**  $F \longleftrightarrow H = 8000$ .

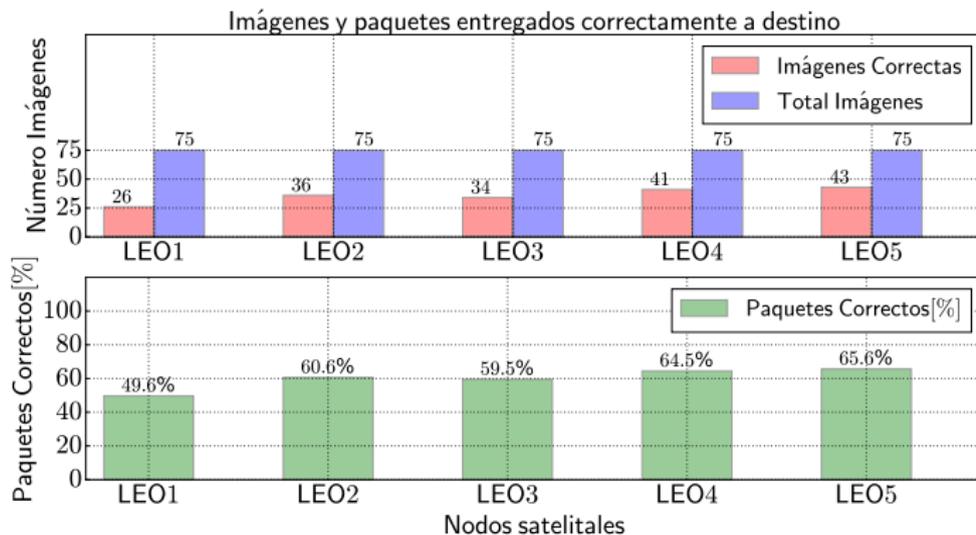
**D** envía 2000 bits a **H**  $\Rightarrow$  **Capacidad Enlace:**  $F \longleftrightarrow H = 8000$ .





# Tasa de imágenes y paquetes transmitidos correctamente a la estación terrena

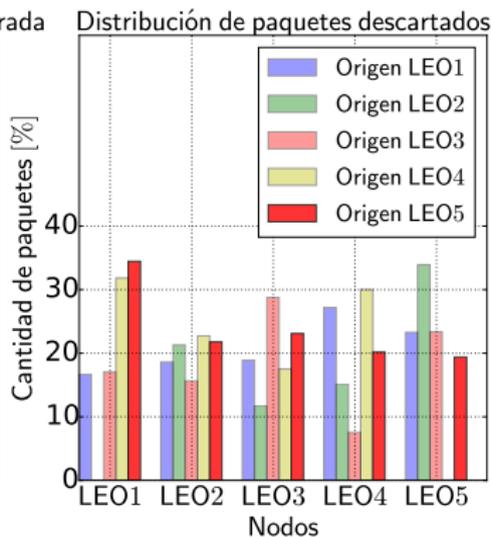
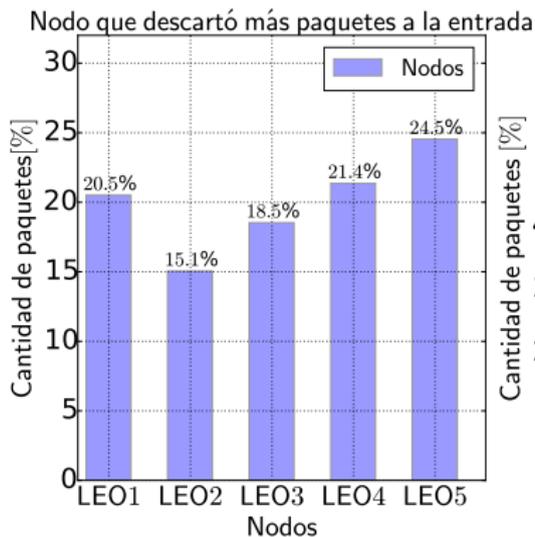
Escenario 1: nodos no rechazan paquetes entrantes.



# Paquetes descartados por limite en la capacidad de almacenamiento

## Resultados obtenidos

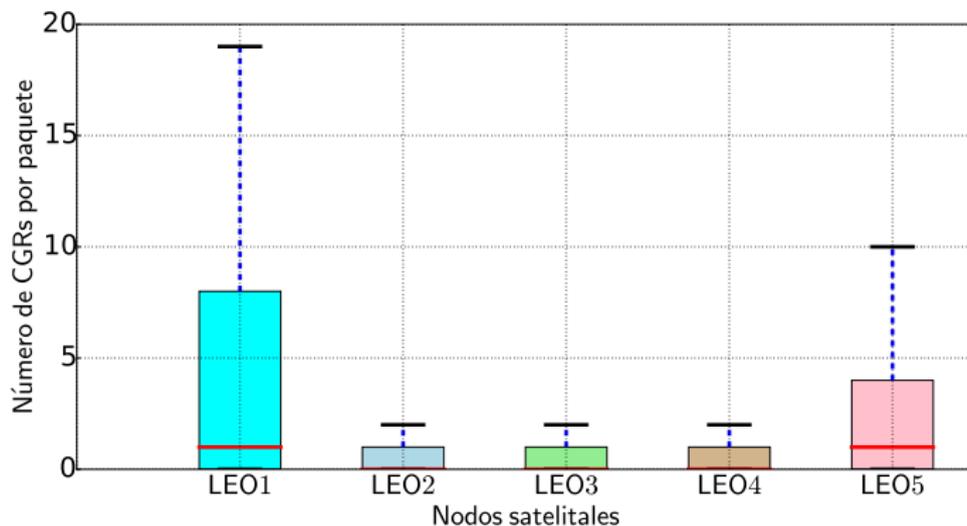
LEO5 descartó la mayor cantidad de paquetes (**32 % de LEO2**)



# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

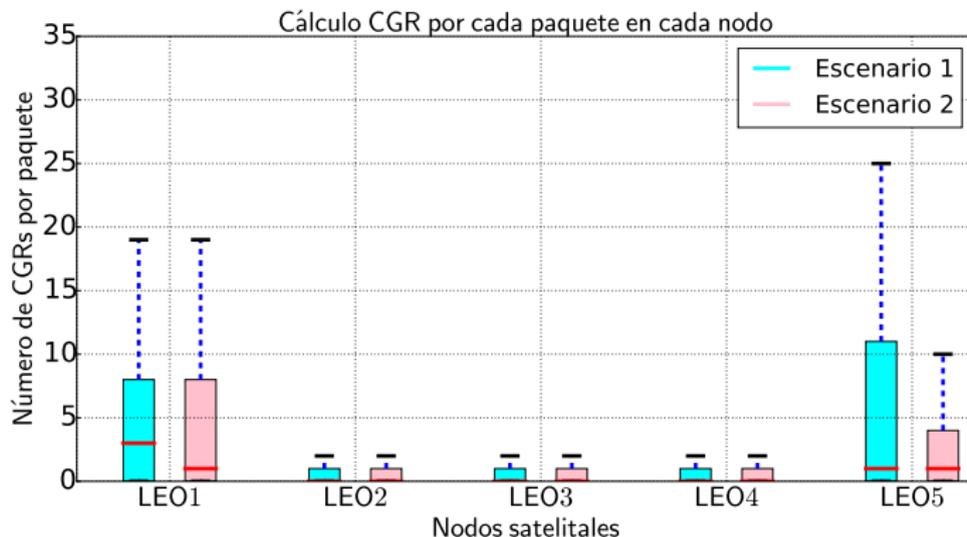
- i. Calculado 1.079.129 veces.



# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

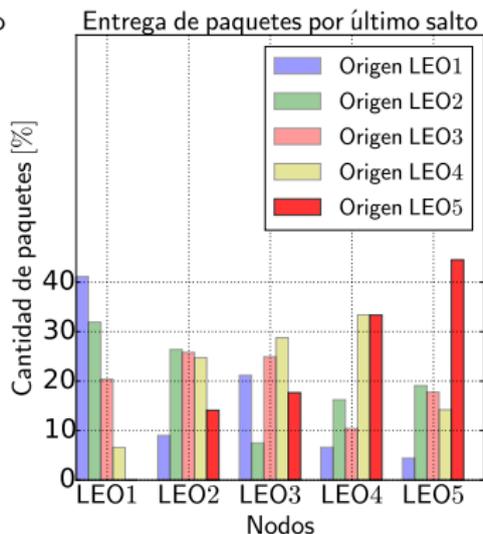
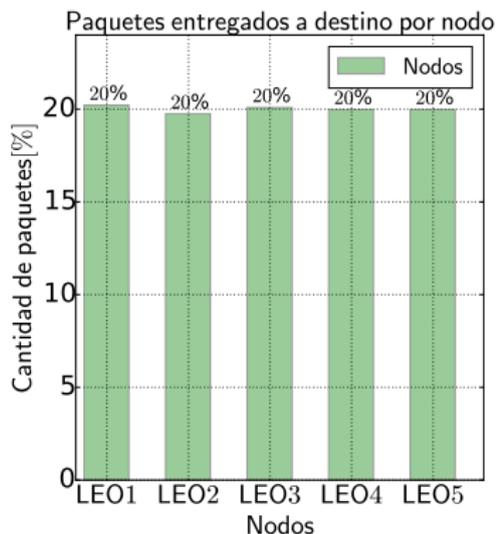
- i. Calculado 1.079.129 veces.
- ii. **Distribución similar** con respecto al Escenario 1



# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

## Resultados obtenidos

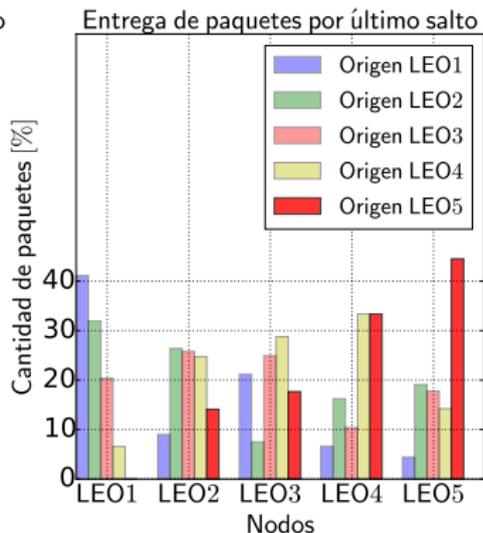
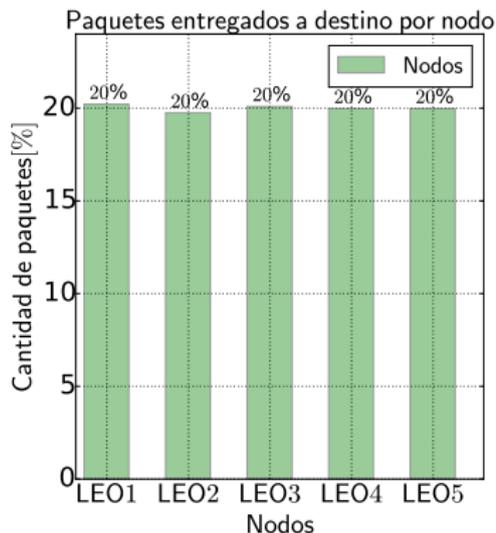
- i. Tráfico distribuido de forma **equitativa** entre nodos.



# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

## Resultados obtenidos

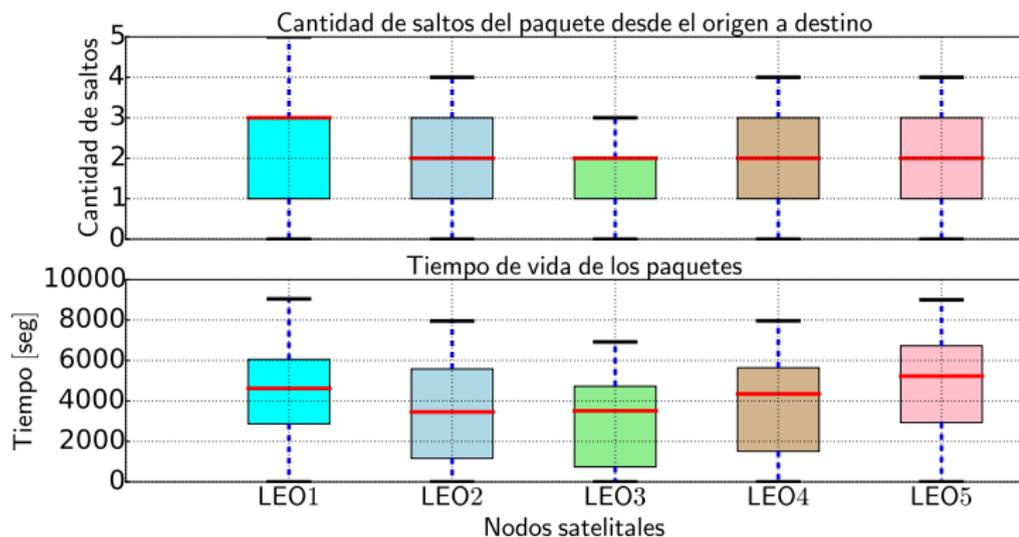
- i. Tráfico distribuido de forma **equitativa** entre nodos.
- ii. *LEO1* no transmitió paquetes de *LEO5*.



# Distancia de red y tiempo de vida de los paquetes

## Resultados obtenidos

*LEO5* no presenta valores de 5 saltos, *LEO1* no transmitió paquetes de *LEO5*.



# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite  
Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

**Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica**

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

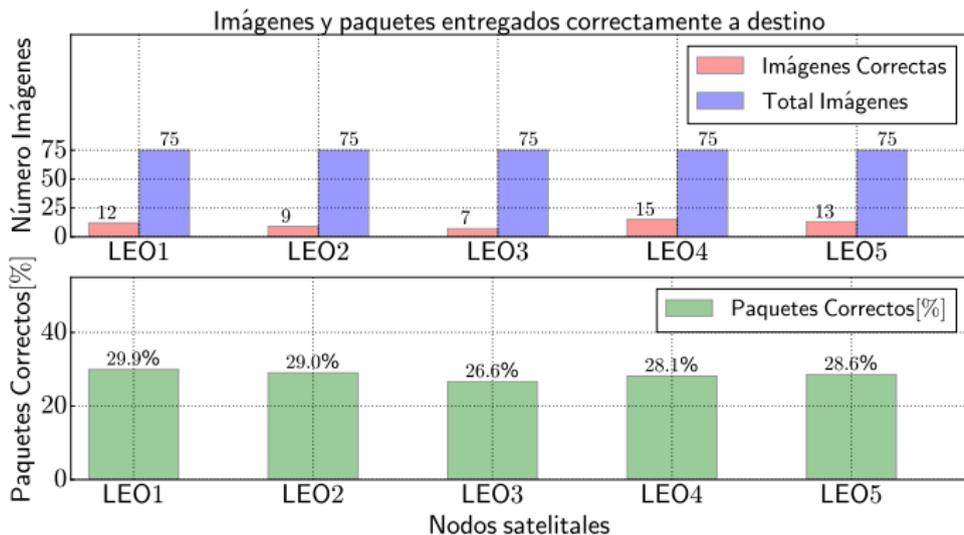
## Conclusiones

## Variables de configuración del Escenario 3.

<b>Variable</b>	<b>Valor configurado</b>
orbitalTime	90 minutos
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	2 Mbps
bufferSizeTerr	$\infty$
bufferSizeSat	$\infty$
simulationTime	67hs 40min
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantBundles	686
<b>bundleSize</b>	<b>256 KB</b>
bundleTTL	10.800 segundos
cantImagen	75
<b>imagenSize</b>	<b>171 MB</b>
timeGenImage	3.200 segundos

# Tasa de imágenes y paquetes transmitidos correctamente a la estación terrena

**Incremento** en el **tamaño** de la imagen  $\Rightarrow$  alta tasa de **pérdida de paquetes**.



## Incrementar el volumen de tráfico

- i. Se realizó 10 simulaciones variando el *datarateSat*.

<b>datarateSat [Mbps]</b>	<b>Paquetes Correctos[ %]</b>	<b>Cálculo CGR</b>
2	<b>28,4</b>	<b>672.548</b>
4	28,4	2.219.387
6	28,4	1.129.386
8	28,4	1.490.493
10	28,4	1.662.981
12	28,4	727.877
<b>14</b>	<b>28,4</b>	<b>2.790.543</b>
16	28,4	851.018
18	28,4	2.054.341
20	28,4	1.326.867

## Incrementar el volumen de tráfico

- i. Se realizó 10 simulaciones variando el *datarateSat*.
- ii. Igual cantidad de **paquetes correctos**, pero **diferentes** cálculos de **CGR**.

<b>datarateSat</b> <b>[Mbps]</b>	<b>Paquetes</b> <b>Correctos[ %]</b>	<b>Cálculo</b> <b>CGR</b>
<b>2</b>	<b>28,4</b>	<b>672.548</b>
4	28,4	2.219.387
6	28,4	1.129.386
8	28,4	1.490.493
10	28,4	1.662.981
12	28,4	727.877
<b>14</b>	<b>28,4</b>	<b>2.790.543</b>
16	28,4	851.018
18	28,4	2.054.341
20	28,4	1.326.867

## Modificación del tamaño de la imagen

- i. Nuevas simulaciones modificando el *imagenSize*.

<b>datarateSat [Mbps]</b>	<b>imagenSize [MB]</b>	<b>Cálculo de CGR</b>
<b>2</b>	<b>37,7</b>	<b>587.423</b>
4	44,6	3.387.742
6	42,9	511.337
8	44,6	2.867.348
10	17,2	1.225.933
12	44,6	727.954
14	44,6	3.467.499
<b>16</b>	<b>44,6</b>	<b>484.849</b>
18	44,6	3.310.832
20	30,9	708.612

## Modificación del tamaño de la imagen

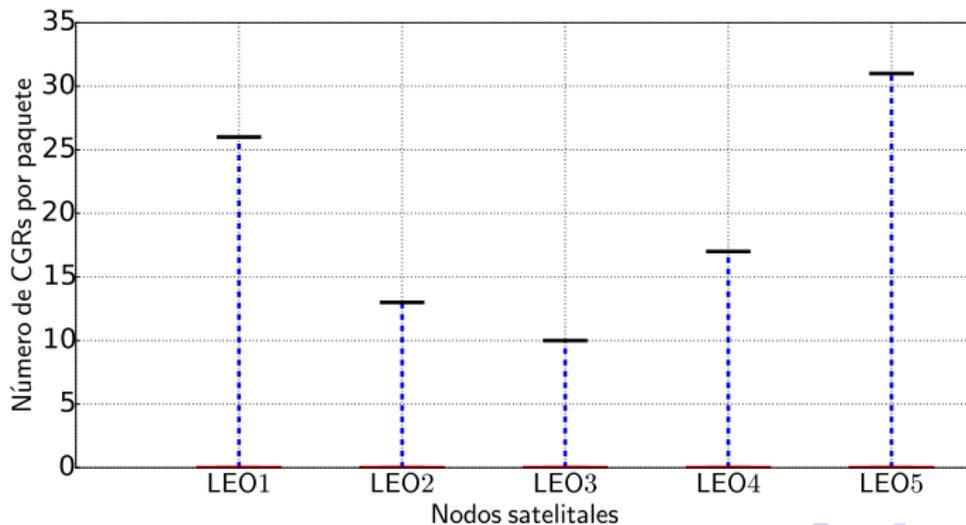
- i. Nuevas simulaciones modificando el *imagenSize*.
- ii. *imagenSize* = 44,6 MB y *datarateSat* = 16 Mbps exhibe menor cómputo de *CGR*.

<b>datarateSat [Mbps]</b>	<b>imagenSize [MB]</b>	<b>Cálculo de CGR</b>
2	<b>37,7</b>	<b>587.423</b>
4	44,6	3.387.742
6	42,9	511.337
8	44,6	2.867.348
10	17,2	1.225.933
12	44,6	727.954
14	44,6	3.467.499
<b>16</b>	<b>44,6</b>	<b>484.849</b>
18	44,6	3.310.832
20	30,9	708.612

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

- i. CGR ejecutado el **25 %** de las veces (imágenes transmitidas correctamente).

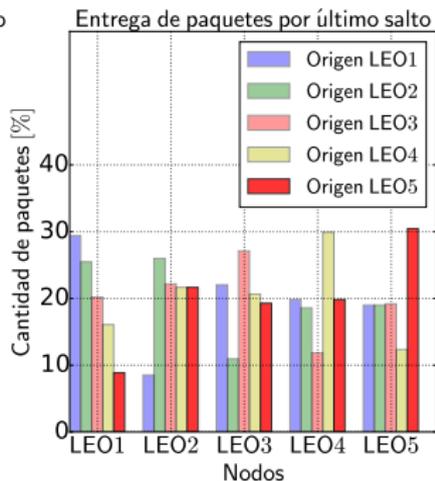
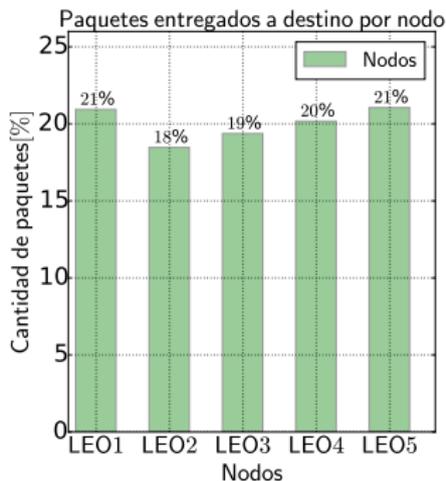




# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

## Resultados obtenidos

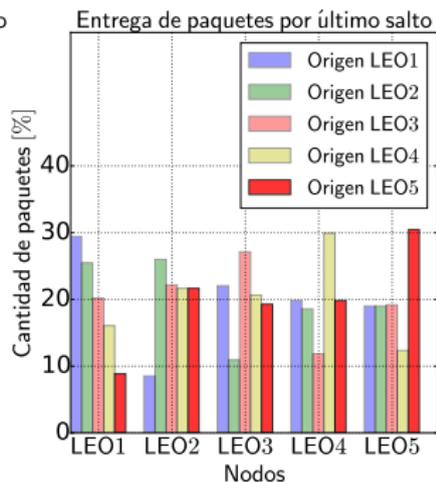
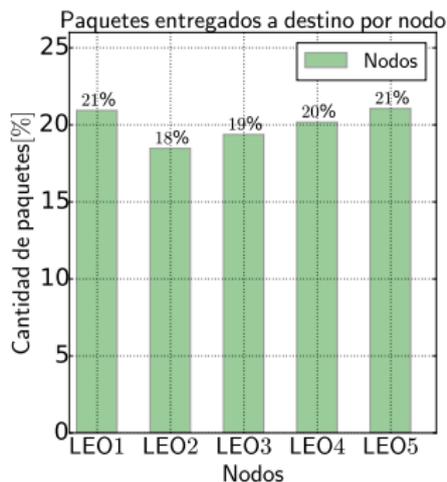
- i. Cada nodo entrega del 18% al 21% de la información.



# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

## Resultados obtenidos

- i. Cada nodo entrega del 18 % al 21 % de la información.
- ii. Nodos transmiten la mayor cantidad de paquetes que generaron.



# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

**Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.**

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

## Descripción del escenario.

Probabilidad de pérdida de contactos entre enlaces.

<b>Escenario</b>	<b>probTerr</b>	<b>probSat</b>
Escenario 4.1	0,05	0,15
Escenario 4.2	0,10	0,20
Escenario 4.3	0,15	0,25

## Descripción del escenario.

Probabilidad de pérdida de contactos entre enlaces.

<b>Escenario</b>	<b>probTerr</b>	<b>probSat</b>
Escenario 4.1	0,05	0,15
Escenario 4.2	0,10	0,20
Escenario 4.3	0,15	0,25

Plan de contactos completo.

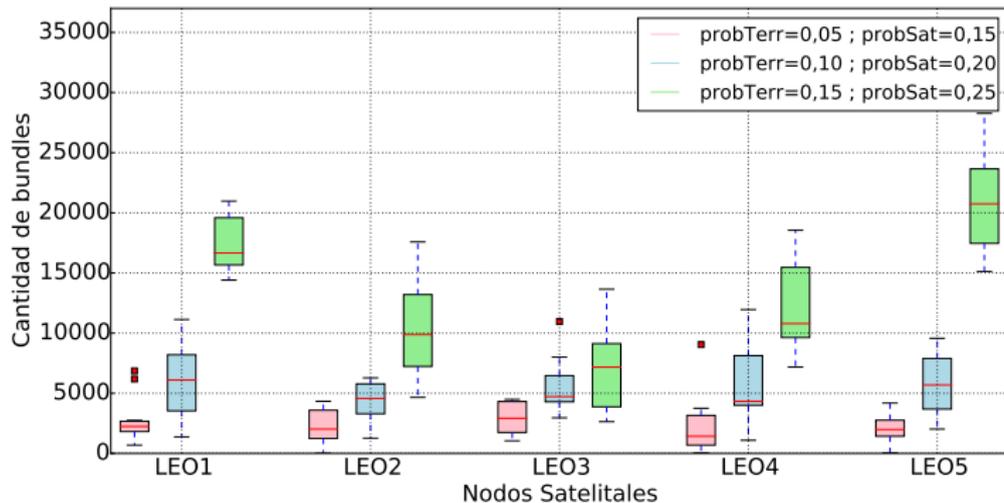
<b>Enlace</b>	<b>Cantidad de contactos</b>
Nodos ↔ Estaciones terrenas	9
LEO1 ↔ LEO2	113
LEO2 ↔ LEO3	113
LEO3 ↔ LEO4	113
LEO4 ↔ LEO5	113

## Variables empleadas en la simulación

Variable	Valor configurado
orbitalTime	90 minutos
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	16 Mbps
bufferSizeTerr	$\infty$
bufferSizeSat	$\infty$
simulationTime	67hs 40min
timeSat	15 minutos
timeTerr	10 minutos
cantBundles	686
bundleSize	67 KB
bundleTTL	10.800 segundos
cantImagen	75
<b>imagenSize</b>	<b>44,6 MB</b>
timeGenImage	3.200 segundos

# Resultados obtenidos

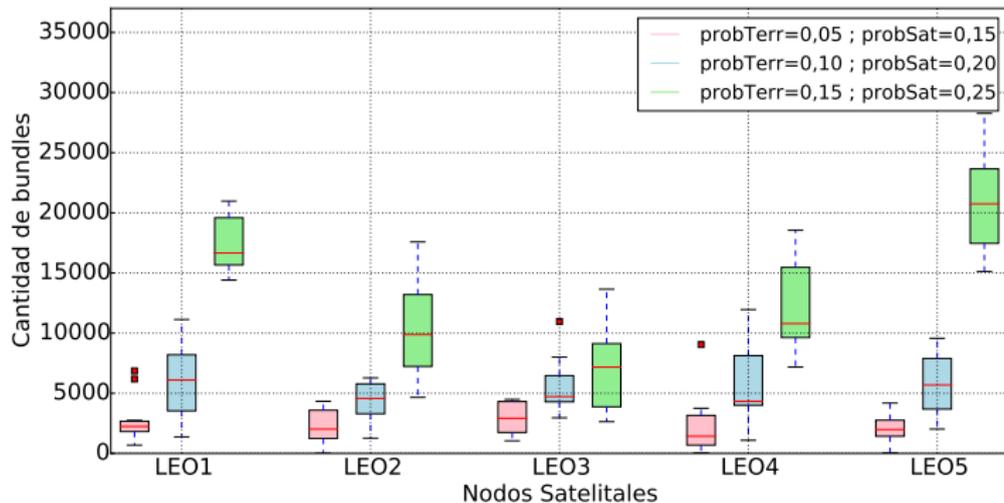
Cantidad de **paquetes almacenados** por **pérdida** de contacto entre **enlaces**.



# Resultados obtenidos

Cantidad de **paquetes almacenados** por **pérdida** de contacto entre **enlaces**.

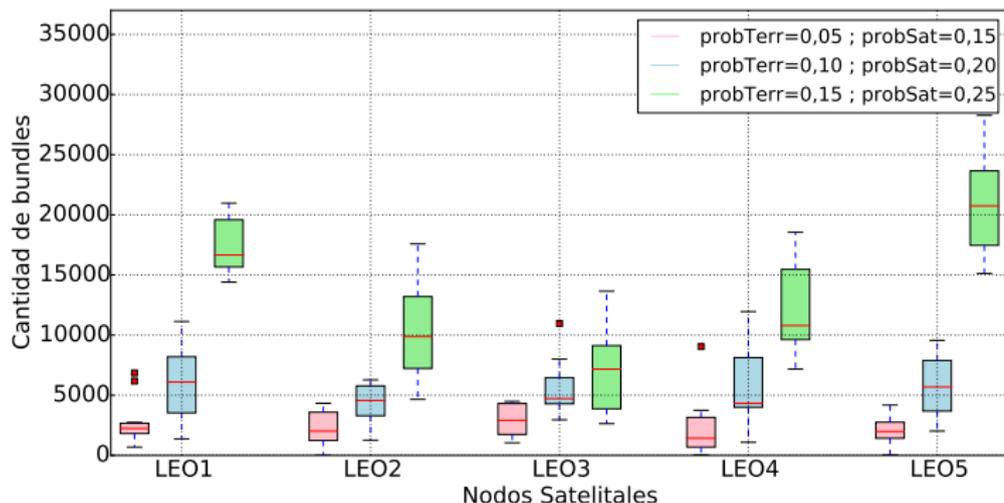
- i. Nodos externos **afectados** por su **asimetría** en la topología.



# Resultados obtenidos

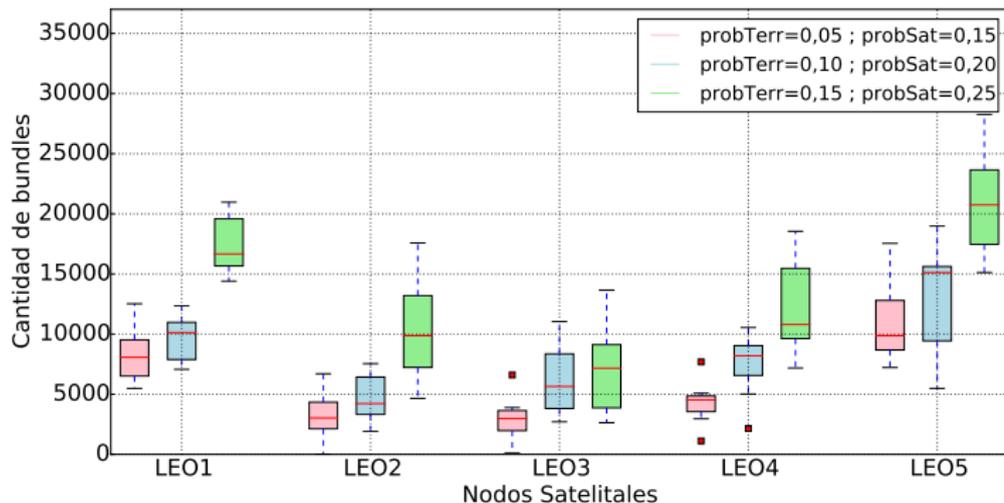
Cantidad de **paquetes almacenados** por **pérdida** de contacto entre **enlaces**.

- i. Nodos externos **afectados** por su **asimetría** en la topología.
- ii. **Prohibido retroceder** (evitar **bucles de enrutamiento**).



# Análisis de los datos obtenidos.

Simulaciones empleando **optimización** del **plan de contactos**.



Cantidad de **paquetes almacenados** por **pérdida** de contacto entre **enlaces**.

# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite  
Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

**Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.**

## Conclusiones

# Parámetros orbitales

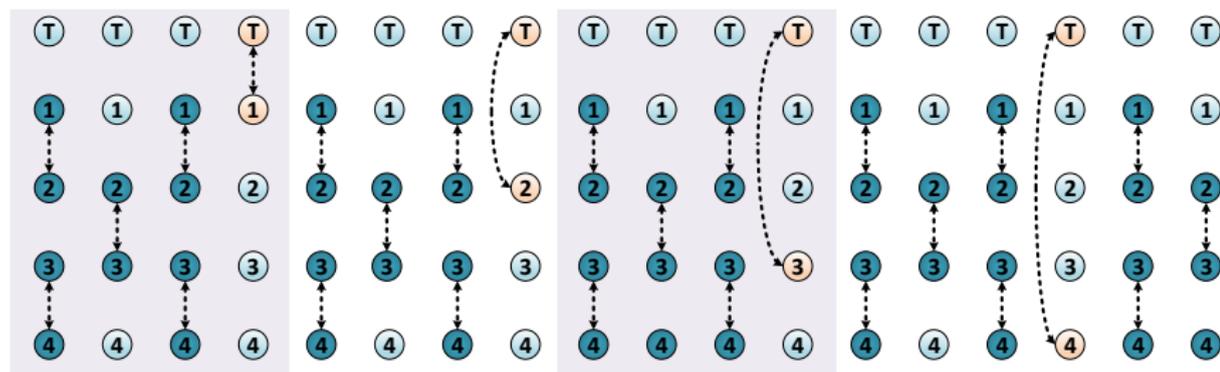
Tren de **4 satélites**<sup>1</sup>.

<b>Topology Interval Start</b>	<b>Jan-1st, 2015, 0hs 0min 0sec</b>
<b>Topology Interval End</b>	<b>Jan-1st, 2015, 21hs 43min 18sec</b>
Bstar Coefficient (/ER)	90.039
Inclination (deg)	98°
RAAN (deg)	0°
Eccentricity	9.152
Argument of Perigee (deg)	0°, 5°, 10° and 15°
Mean Anomaly (deg)	0°
Mean Motion (rev/day)	15,07561758

---

<sup>1</sup>J. Fraire, P. Madoery, J. M. Finochietto, and I. Edward Birrane, "Congestion modeling and management techniques for predictable disruption tolerant networks," in 40th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2015), Clearwater Beach, USA, Oct. 2015.

# Topología de los contactos



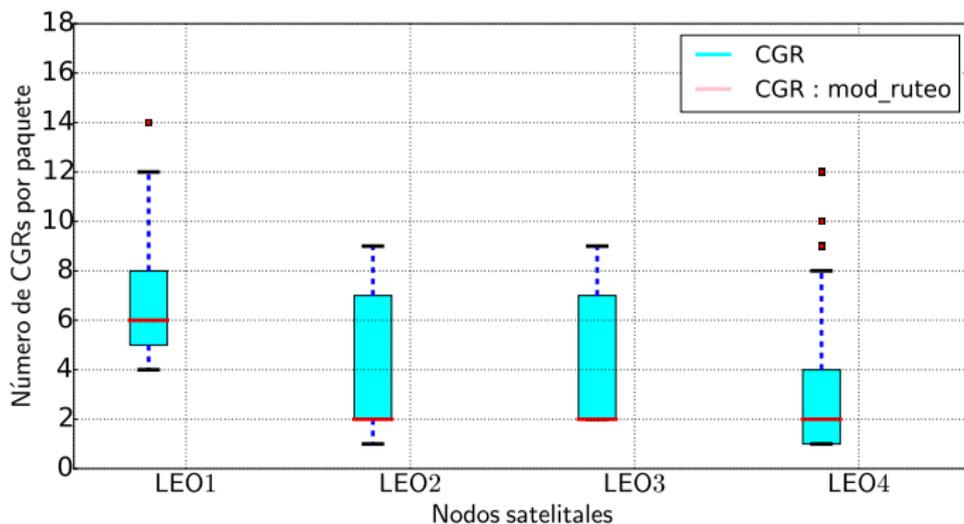
## Variables de configuración del Escenario 5

Variable	Valor configurado
datarateTerr	20 Mbps
datarateSat	16 Mbps
bufferSizeTerr	$\infty$
bufferSizeSat	$\infty$
<b>cantImagen</b>	<b>24</b>
imagenSize	10 MB
cantBundles	686
bundleSize	14,9 KB
timeGenImage	3.200 segundos

# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

## Resultados obtenidos

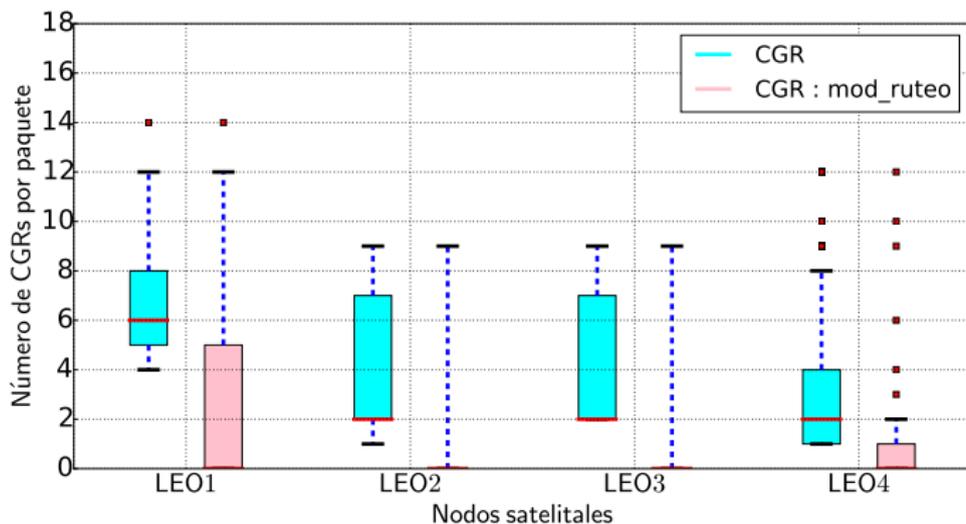
- i. CGR normal: calculó 720.492 veces.



# Cálculo de Contact Graph Routing en los nodos

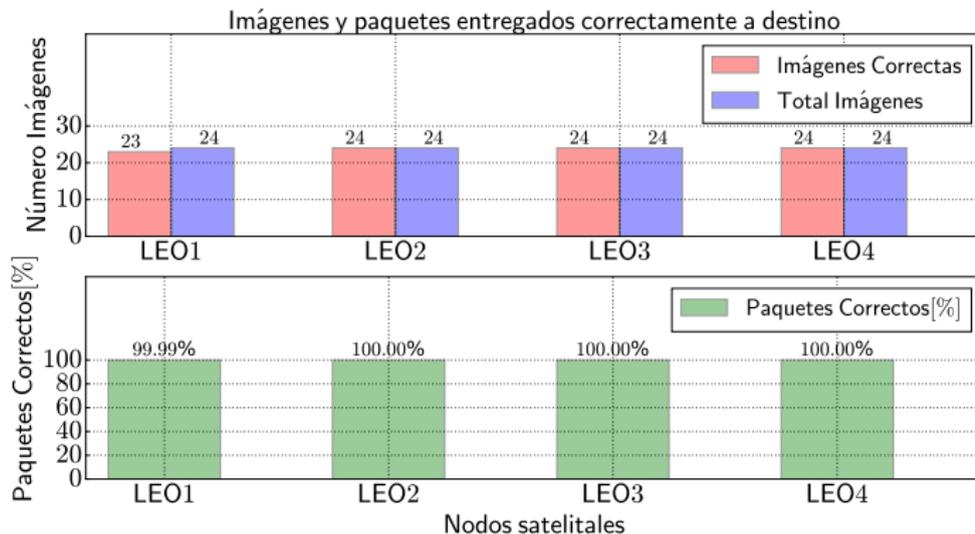
## Resultados obtenidos

- i. CGR normal: calculó 720.492 veces.
- ii. CGR tabla de ruteo: calculó 107.872 veces (reducción en un 85,02 %).



# Tasa de imágenes y paquetes transmitidos correctamente

No se transmitió un paquete de *LEO1* (Imagen 11).



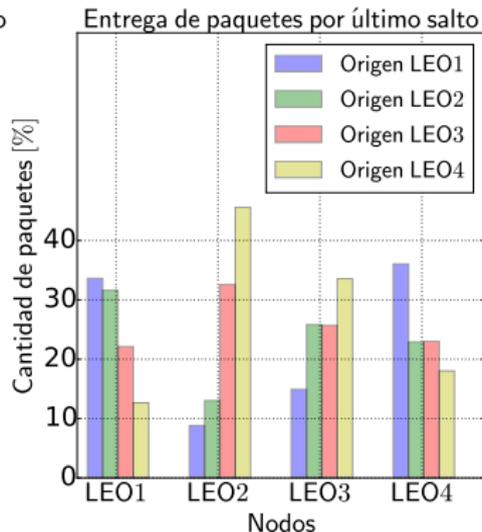
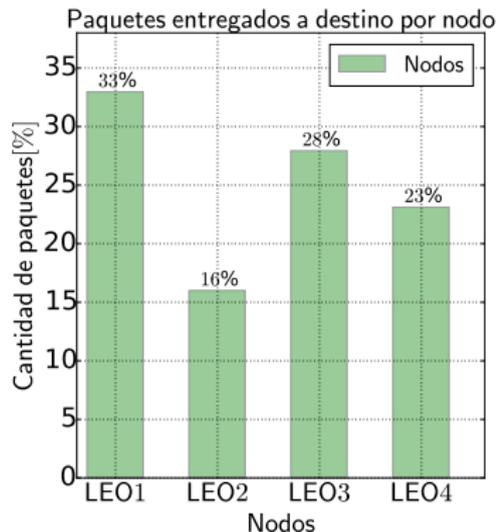
## Ventanas de contacto

Cuando *LEO1* y *LEO3* descargan las imágenes, las **ventanas de contactos** entre satélites son **mayores** (10.587 y 11.875s).

Enlace	Ventana de contacto
<b>LEO1 ↔ E. Terr</b>	<b>605 s</b>
Entre satélites	10.587 s
LEO2 ↔ E. Terr	585 s
Entre satélites	1.681 s
<b>LEO3 ↔ E. Terr</b>	<b>525 s</b>
Entre satélites	11.875 s
LEO4 ↔ E. Terr	639 s
Entre satélites	1.690 s

# Entrega de los paquetes por el nodo de último salto designado

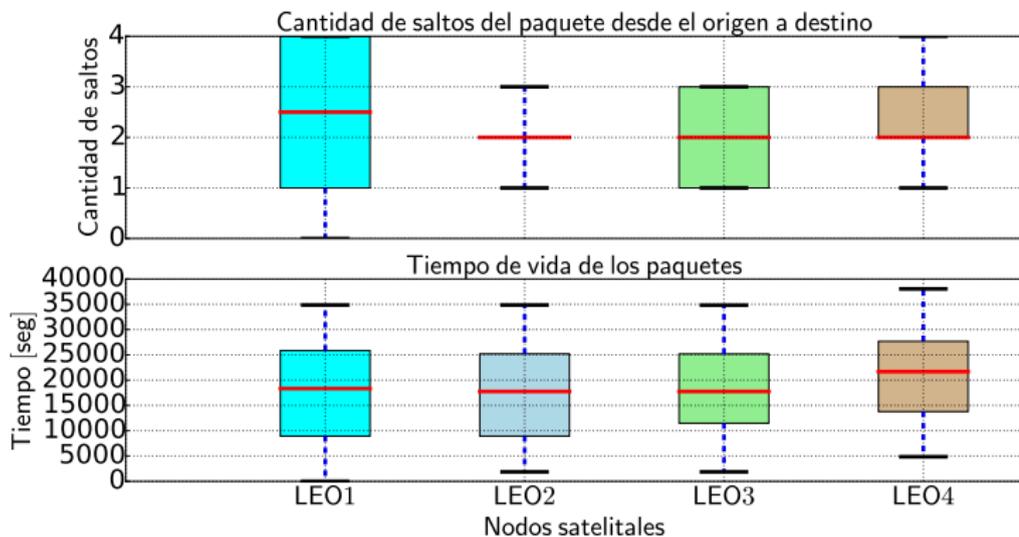
LEO1 y LEO3 entregan la mayor cantidad de información en la estación terrena. ⇒ **mayor trafico de imágenes.**



# Distancia de red y tiempo de vida de los paquetes

## Resultados obtenidos

*LEO1* presenta valor de **0 saltos**, no se transmitió un paquete (Imagen 11).



# Contenido

## Algoritmo Contact Graph Routing (CGR)

Desafíos en las comunicaciones por satélite

Procesamiento de CGR

## Simulación de la red satelital

## Escenarios estudiados y análisis de los resultados

Descripción de los escenarios.

Escenario 1: Simulación Base

Escenario 2: Límite en la capacidad de almacenamiento en los nodos

Escenario 3: Sistema al máximo de su capacidad teórica

Escenario 4: Pérdida intermitente de contactos entre enlaces.

Escenario 5: Plan de contactos calculado con parámetros orbitales reales.

## Conclusiones

# Conclusiones

Análisis de *CGR* con la topología de **tren de satélites**:

# Conclusiones

Análisis de *CGR* con la topología de **tren de satélites**:

- i. **Reducción** del **cálculo** de *CGR* en un 63,71 % (Escenario 1) y en un 85 % (Escenario 5), **reutilización de rutas**  $\Rightarrow$  **menor procesamiento**.

# Conclusiones

Análisis de *CGR* con la topología de **tren de satélites**:

- i. **Reducción** del **cálculo** de *CGR* en un 63,71 % (Escenario 1) y en un 85 % (Escenario 5), **reutilización de rutas**  $\Rightarrow$  **menor procesamiento**.
- ii. Algoritmo de optimización del plan de contactos: reducción en un 36,2 %, **ahorro energético**.

# Conclusiones

Análisis de *CGR* con la topología de **tren de satélites**:

- i. **Reducción** del **cálculo** de *CGR* en un 63,71 % (Escenario 1) y en un 85 % (Escenario 5), **reutilización de rutas**  $\Rightarrow$  **menor procesamiento**.
- ii. Algoritmo de optimización del plan de contactos: reducción en un 36,2 %, **ahorro energético**.
- iii. **No se pierden** imágenes al operar al **26 %** de su **capacidad**:  
*imagenSize* = 44,6 MB

# Conclusiones

Análisis de *CGR* con la topología de **tren de satélites**:

- i. **Reducción** del **cálculo** de *CGR* en un 63,71 % (Escenario 1) y en un 85 % (Escenario 5), **reutilización de rutas**  $\Rightarrow$  **menor procesamiento**.
- ii. Algoritmo de optimización del plan de contactos: reducción en un 36,2 %, **ahorro energético**.
- iii. **No se pierden** imágenes al operar al **26 %** de su **capacidad**:  
*imagenSize* = 44,6 MB
- iv. **Nodos externos afectados** por su **asimetría** en la **topología** (problema de prohibido retroceder).

GRACIAS