

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS DE ESTE CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se muestra el agente ADSGS y se hace una comparación con un agente ingenuo basado en la estrategia FCFS, al igual que la aplicación del Algoritmo Húngariano en dos estudios de caso, y se presentan los resultados obtenidos para evaluar la eficiencia de la estrategia sugerida en este trabajo. Se presenta una simulación usando STK con MatLab que permite ver el comportamiento del agente. De tal manera que se pueda ilustrar mejor su operación, se consideran dos escenarios de asignación:

- **Asignación 1 a n:** Un satélite es asignado a un conjunto de estaciones terrenas.
- **Asignación n a m:** Un conjunto de satélites son asignados a un grupo de estaciones terrenas.

#### 5.1 Escenario #1: 1 Satélite a n Estaciones Terrenas

El escenario cuenta con un satélite y cinco estaciones terrenas. Dado que el costo del equipo de las estaciones terrenas está disminuyendo, este escenario puede ser válido, especialmente para la categoría de pequeños satélites. El agente ADSGS tomará las decisiones necesarias para asignar estaciones apropiadas, de esta forma, podrá tomar acciones en caso de eventos inesperados, como una estación terrena primaria que no se encuentre disponible.

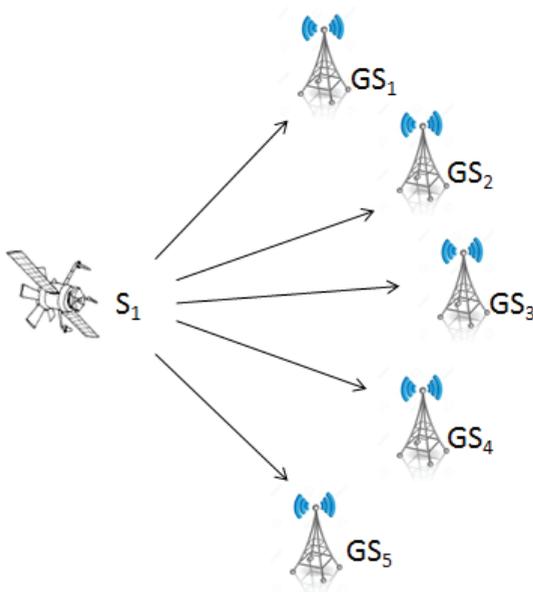
Este escenario considerará al satélite en contexto **C** bajo las siguientes condiciones:

- Nombre del Satélite: X
- Misión: Detección Óptica Remota
- Frecuencia de la Banda: Banda S
- Modulación: QPSK en 9600 bps
- Profundidad de descarga de la batería (DOD): 40%
- Ocupación de la grabadora de imagen integrada: 80%
- Estado de la Luz Solar: Eclipse
- Proximidad a la Estación Terrena: Alta

La distribución para este escenario #1 se muestra en la Figura 35. Se considera un único satélite en órbita que puede hacer una pasada sobre 5 posibles estaciones terrenas distribuidas por todo el mundo. La conexión entre ellas se realiza a través de SATNet y se utiliza el agente ADSGS para optimizar el uso de recursos y para obtener la telemetría necesaria.

**Figura 35**

*Escenario #1: 1 Satélite a n Estaciones Terrenas*



Para ejecutar un esquema de razonamiento basado en reglas para la toma de decisiones, es necesaria una lista de “hechos” **F** relativos al estado de las Estaciones Terrenas hacia el satélite X:

- La estación 1 no se encuentra disponible en este momento.
- La estación 2 soporta la Banda S, y se encuentra disponible para procesar QPSK, y es la estación más cercana.
- Estaciones 2,3,4 y 5 son visibles.
- La estación 3 es visible pero el SDR no funciona correctamente.
- Una estación está asignada para comunicarse principalmente, y otra está en espera como respaldo.
- La estación 4 soporta Banda S.
- La estación 5 soporta Banda S y es capaz de procesar QPSK.
- La estación 5 está reservada como soporte.

Teniendo en cuenta que este escenario está compuesto por un satélite en contexto **C** y la lista de hechos **F** que se acaba de mencionar, se puede crear una matriz de “visibilidad ampliada” **M**, tal como se observa en la Tabla 21, que muestra las variables utilizadas de conformidad con esta convención: (a) **1** = la estación cumple los requisitos; (b) **0** = la estación no cumple con los requisitos; (c) **10** = la estación no aplica en absoluto.

**Tabla 21**

*Matriz de visibilidad extendida para 1 Satélite a n Estaciones*

<b>GS\ Variables</b>	<b>Visibility</b>	<b>SBand</b>	<b>QPSK</b>	<b>Proximity</b>	<b>Priority</b>
GS1	10	10	10	10	N/A
GS2	1	1	1	1	N/A

GS3	1	0	0	0	N/A
GS4	1	1	0	0	N/A
GS5	1	1	1	0	N/A

*Nota. Variables:* Variables; *Visibility:* Visibilidad; *S-Band:* Banda S; *QPSK:* Modulación QPSK; *Proximity:* Proximidad; *Priority:* Prioridad

En este caso, el agente ADSGS evaluará la lista de hechos en relación con el contexto del satélite, utilizando un sistema experto desarrollado para este fin, así también, usará información de la base de datos de SATNet. La base de conocimientos se considera un conjunto de reglas **R** necesarias para la toma de decisiones.

Un agente FCFS en este caso con un conjunto adecuado de reglas, llegará a los mismos resultados que un agente ADSGS. Por el contrario, un agente ingenuo asignaría simplemente satélites siguiendo únicamente criterios de proximidad.

## 5.2 Escenario #2: n Satélites y m Estaciones Terrenas

Este escenario utiliza la simulación STK de 3 satélites y 5 estaciones terrenas. Los tres satélites usados son: satélite 1 (NOAA 19), usado para la predicción meteorológica; el satélite 2 (CBERS 4), para uso científico; y el satélite 3 (IRIDIUM 6), utilizado para comunicaciones y cinco estaciones terrenas: SJC-GS, CALPOLY-GS, UPTC-GS, UVIGO-GS, OKINAWA-GS, ubicadas en Brasil, USA, Colombia, España y Japón respectivamente.

A continuación se presenta un listado de hechos, **F**:

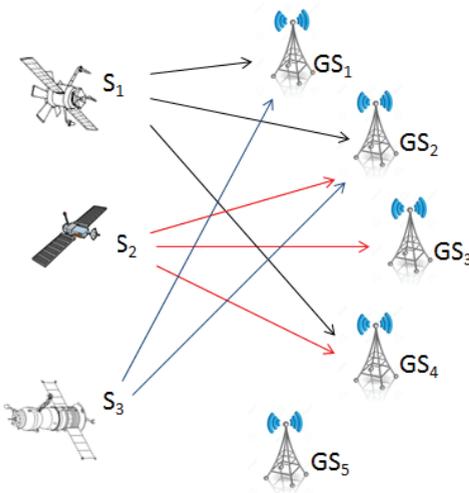
- Los satélites son usados para tomar fotografías, para la meteorología y las comunicaciones respectivamente.
- Las estaciones 1, 2 y 4 reciben imágenes y tiene un gran ancho de banda.
- Las estaciones 2, 3 y 4 tienen un gran ancho de banda.
- Los satélites que permiten descargar imágenes tienen alta prioridad.
- Los satélites que son capaces de guardar grandes cantidades de datos usados para la predicción del clima, tienen una prioridad media.

- Los satélites que proveen enlace de comunicaciones con poco retraso tienen menor prioridad.
- La estación 5 se establece como respaldo en caso de alguna falla.

La distribución de las visibilidades de  $n=3$  satélites con  $m=5$  estaciones terrenas se muestran en la Figura 36.

**Figura 36**

*Escenario #2: n Satélites a m Estaciones Terrenas*



De acuerdo a la ilustración de la Figura 36 y la lista de hechos **F** determinados para este escenario, se construye la Tabla 22. La tabla se transforma en una matriz de  $5 \times 5$ , ya que la asignación utiliza el Algoritmo Húngaro Adaptado para obtener posibles resultados.

**Tabla 22**

*Preferencias de un n Satélite y una m Estación Terrena*

GS/Satélite	S1	S2	S3	S4	S5
GS 1	1		3		
GS 2	1	2	3		

GS 3		2
GS 4	1	2
GS 5		

Se usó una versión adaptada de la matriz 5x5, y después de ejecutar el AHA se obtiene la asignación final en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Resultado de Asignación del Algoritmo Húngaro Adaptado*

<b>GS/ Satélite</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
GS 1			X		
GS 2		X			
GS 3					
GS 4	X				
GS 5					

Las asignaciones se enrutan de la siguiente manera: el valor óptimo es el satélite 1 que se asignará a la estación 4, el satélite 2 a la estación 2, y el satélite 3 asignado a la estación 1. En ese sentido, la estación terrena 5 podrá utilizarse como recurso de reserva sólo en caso de interrupción del servicio. Si alguna interrupción llegará a suceder, y el servicio se detuviera, el agente ADSGS reaccionará dinámicamente y reasignará nuevos mapas de satélites a las estaciones terrenas de forma autónoma.

### **5.3 Escenario de simulación usando STK con MATLAB**

En este apartado se presenta una simulación usando STK<sup>11</sup> con MATLAB<sup>12</sup>. El STK es un paquete de software basado en física que se ha desarrollado desde 1989 como una herramienta de software comercial.

<sup>11</sup> Disponible en: <<https://www.agi.com/products/stk/>>. Recuperado en: 10 Nov. 2017

<sup>12</sup> Disponible en: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>> Recuperado en: 12 Jun. 2017

STK es un entorno de modelado 2D y 3D utilizado por ingenieros, analistas de misión, operadores y responsables de la toma de decisiones para modelar sistemas complejos como aviones, satélites, vehículos terrenos y sus sensores para evaluar su rendimiento en tiempo real o simulado. MatLab es un lenguaje de programación, generalmente, se encuentra en sistemas de seguridad activa de automóviles, naves espaciales interplanetarias, dispositivos de monitoreo de salud, redes eléctricas inteligentes y redes celulares LTE. Su utilidad radica en el aprendizaje automático, procesamiento de señales y de imágenes, visión artificial, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica, entre otros.

Ahora, este escenario considera el caso de 3 satélites y 6 estaciones terrenas. Cada satélite tiene su propia misión: el satélite 1 (NOAA 19), se utiliza para la predicción meteorológica; el satélite 2 (CBERS 4), es para uso científico y el satélite 3 (IRIDIUM 6), se utiliza para las comunicaciones. Por otro lado, seis estaciones terrenas están distribuidas por todo el mundo. La Tabla 24, muestra las estaciones seleccionadas para desarrollar este escenario, que será usado más adelante.

**Tabla 24**

*Estaciones Terrenas*

<b>Estación Terrena</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Localización</b>
SJC_GS	São Jose dos Campos SP, Brazil	Latitud: 23.2106° Longitud: 45.8756° Altitud: 604m.
CALPOLY_GS	San Luis Obispo CA, USA	Latitud: 35.3042° Longitud: 120.6631° Altitud: 96m.
UPTC_GS	Tunja Boyacá, Colombia	Latitud: 5.5519° Longitud: 73.3566° Altitud: 2697m.

## RED INTELIGENTE DE ESTACIONES TERRENAS - ADSGS

UVIGO_GS	Vigo Spain	Latitud: 42.1702° Longitud: 8.6837° Altitud: 463m.
OKINAWA_GS	Okinawa Japan	Latitud: 26.4998° Longitud: 127.8963° Altitud: 65m.
BGU_GS	BeerSheva Israel	Latitud: 32.1647° Longitud: 34.8263° Altitud: 509m.

La Tabla 25, muestra la selección de 3 satélites para este escenario, todos en órbita LEO y sus diferentes misiones.

**Tabla 25**

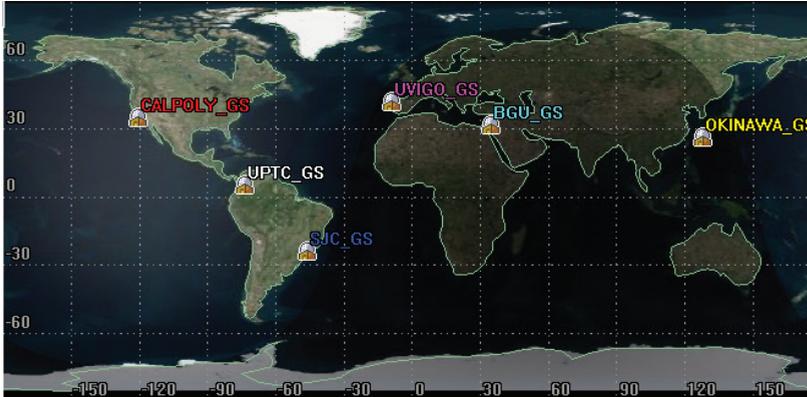
*Satélites*

Satélite	Misión	Fecha de Lanzamiento	Propietario
NOAA_19 33591	Predicción del clima	06/02/2009	USA
CBERS_4 40336	Científica	07/12/2014	China/Brasil
IRIDIUM_6 24794	Comunicaciones	05/05/1997	USA

La intención era simular 1 día, a partir del 1 de mayo de 2017 a las 00:00 horas hasta el 2 de mayo de 2017 a las 00:00 horas. En este lapso de tiempo, se produjeron cuatro conflictos, lo que demuestra cuál es el verdadero problema existente en el rastreo por satélite desde una estación. La Figura 37, muestra las estaciones terrenas y los satélites mencionados, así como la ubicación real y las huellas orbitales.

**Figura 37**

*Simulación Ilustrativa del escenario usando STK*



La simulación con STK en 2D y 3D equivale a 24 horas a partir del 1 de mayo de 2017 a las 12:00 y hasta el 2 de mayo de 2017 a las 12:00; esta simulación dura 2 minutos (120 segundos), lo que significa que cada 5 segundos bajo simulación equivale a una hora en la vida real.

Teniendo en cuenta el número limitado de estaciones, pueden producirse posibles conflictos de acceso, que se identifican en la Tabla 26. Esto sucede cuando una sola estación terrena ve dos o más satélites simultáneamente y tiene que decidir cuál satélite seguirá. Aquí, la simulación realizada en MATLAB ejecuta el algoritmo del agente ADSGS, que es responsable de asignar de forma autónoma el satélite que será atendido y, de la misma manera, estará listo para la próxima pasada, dando dinamismo al sistema.

Para lo anterior, el agente de ADSGS utiliza el AHA, la base de conocimientos y la base de SATNet, como se muestra en la Figura 29 de la sección 4.1.

Este es el momento en el que un agente puede entrar en juego y arbitrar de forma autónoma qué objeto rastrear de acuerdo con su esquema de asignación. En este escenario, por ejemplo, la asignación se basa en un esquema de prioridad de acceso en el que un satélite meteorológico tiene una prioridad más alta que un satélite de comunicaciones, pero es de suponer que tiene una prioridad más baja

en comparación con un satélite de tele-observación. Un agente basado en reglas también puede asignar una siguiente estación terrena disponible para aquellos satélites que no fueron asignados en un primer momento, como se muestra en la última columna de la Tabla 26. La tabla ilustra algunos de los conflictos presentados en esta simulación.

**Tabla 26**

*Conflictos de acceso al satélite durante la simulación STK*

<b>Conflict #</b>	<b>Time (2 m)</b>	<b>Ground Station</b>	<b>Satellite 1</b>	<b>Satellite 2</b>	<b>ADSGS Agent</b>	<b>Last Decision</b>
1	0.04	SJC_GS	IRIDIUM6	CBERS4	IRIDIUM6	CBERS4 at OKINAWA_GS
2	0.20	UPTC_GS	IRIDIUM6	CBERS4	IRIDIUM6	CBERS4 at CALPOLY_GS
3	0.33	BGU_GS	CBERS4	IRIDIUM6	CBERS4	IRIDIUM6 at BGU_GS*
4	1.51	UVIGO_GS	IRIDIUM6	CBERS4	IRIDIUM6	CBERS4 at BGU_GS
5	1.51	BGU_GS	CBERS4	NOAA19	NOAA19	CBERS4 at UVIGO_GS

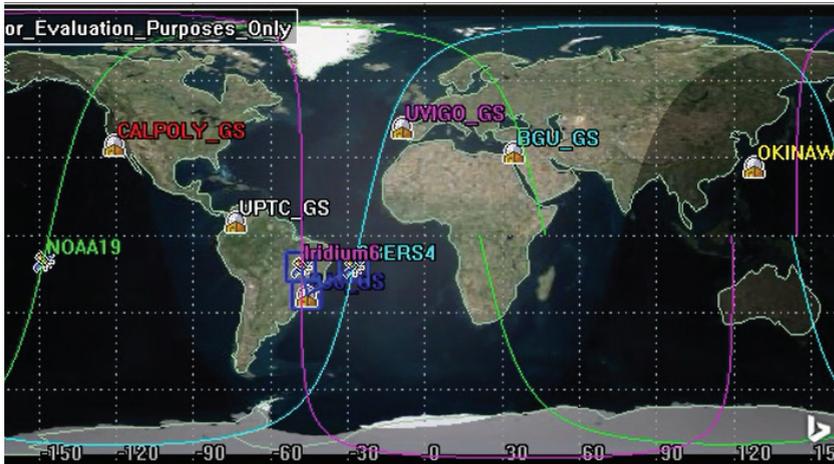
\*Un ciclo después

*Nota.* *Conflict #:* # de conflicto; *Time:* Tiempo; *Ground Station:* Estación Terrena; *Satellite 1:* Satélite 1; *Satellite 2:* Satélite 2; *ADSGS Agent:* Agente ADSGS; *Last Decision:* Última decisión.

Un supuesto primer conflicto (#1) se muestra en la Figura 38 entre los satélites CBERS4 y Iridium6 sobre una estación ubicada en São José dos Campos – Brasil, en ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) en tiempo de simulación=0,04s. En este caso, y basado en el agente ADSGS, se establece un enlace de comunicación con el satélite IRIDIUM6 en el SJC-GS y actualiza el FOP CBERS4 para que la estación de Okinawa-GS se conecte a él tan pronto como sea visible.

**Figura 38**

*Conflicto de acceso a Satélite #1*



En seguida, se produce un segundo conflicto (#2) en tiempo de simulación=0,20s. En este caso, de nuevo entre los satélites CBERS4 y IRIDIUM6 sobre la estación ubicada en Tunja, Colombia en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. En este caso, el agente ADSGS procede de forma similar a la anterior, es decir, decide asignar el satélite IRIDIUM6 a UPTC-GS y también actualiza el FOP CBERS4 para que la estación CALPOLY-GS esté lista.

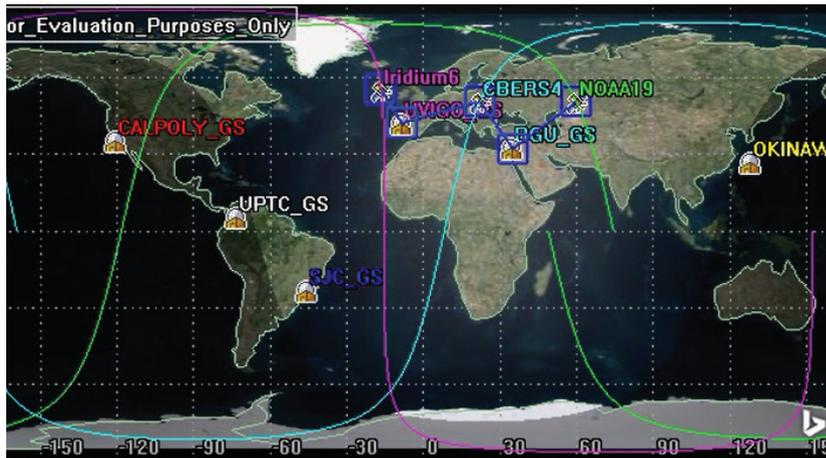
El tercer conflicto (#3) ocurre en el tiempo de simulación de  $STK=0,33s$  entre los satélites CBERS4 y IRIDIUM6 en la estación ubicada en Beersheva, Israel en la Universidad Ben Gurion. Por lo tanto, se vuelven a seguir los mismos procedimientos. El IRIDIUM6 será atendido de regreso más tarde en la misma estación.

Finalmente, los conflictos cuatro y cinco (#4 y #5) se muestran en la Figura 39 en el tiempo=1,51s, entre los satélites IRIDIUM6 y CBERS4 sobre la estación terrena ubicada en Vigo, España en la Universidad de Vigo. Por lo tanto, el agente ADSGS asigna el satélite IRIDIUM6 a la estación UVIGO-GS, y actualiza el FOP CBERS4 para que la estación BGU-GS se conecte posteriormente a ella para realizar procedimientos de operación. Al mismo tiempo, el agente decide asistir al satélite

CBERS4 en la estación BGU-GS y envía el FOP del satélite CBERS4 a la estación OKINAWA-GS.

**Figura 39**

*Conflicto de Acceso a Satélite #4 y #5*



Con esta simulación, se ilustra cómo actúa el agente autónomo propuesto ADSGS, en donde se observa una mayor optimización del uso de los recursos disponibles, al realizar el control y el seguimiento de satélites. Esto contribuye a reducir el costo operacional de una estación terrena.