



## Presentación Trabajo de Grado

Diseño e implementación de una aplicación prototipo para la gestión del espectro radioeléctrico usando programación con restricciones

Carlos Andrés Delgado S. Ing.

Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle

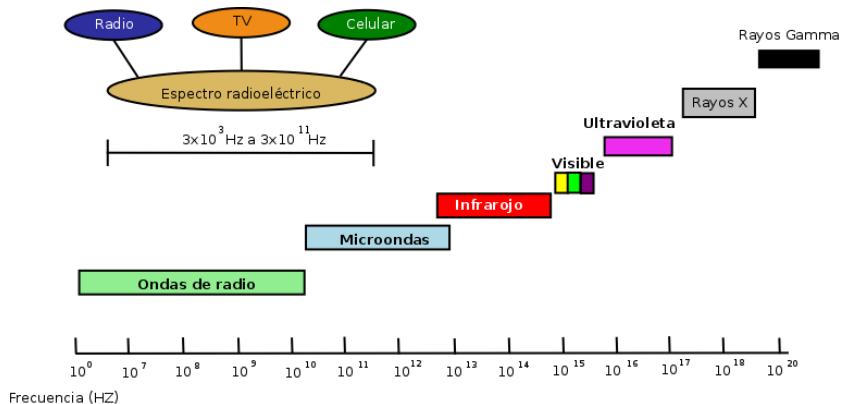
29 de Enero de 2013



- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

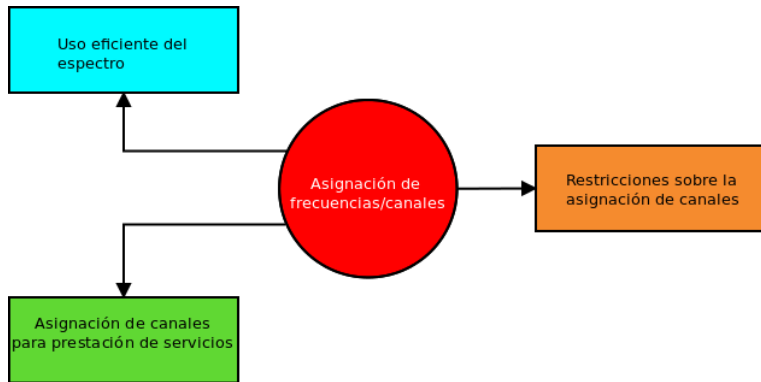
- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

# ¿Que es el espectro radioeléctrico?





# Asignación de canales/frecuencias



- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos**
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

## General

Diseñar y construir una aplicación prototipo para la gestión del espectro radioeléctrico en Colombia usando técnicas de programación por restricciones.



## Específicos

- 1 Modelar el problema de asignación del espectro radioeléctrico como un problema de satisfacción de restricciones
- 2 Diseñar e implementar una aplicación Web para la gestión del espectro radioeléctrico colombiano usando programación por restricciones, siguiendo la metodología de AVISPA para este tipo de aplicaciones
- 3 Construir una estrategia que permita al usuario, especificar niveles de fortaleza y debilidad en las restricciones en la aplicación prototipo
- 4 Mostrar al usuario los costos de las posibles soluciones a un problema de asignación del espectro dado, desde diferentes perspectivas
- 5 Evaluar el modelo y determinar el contexto real en que su desempeño es adecuado

- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

## Representación de la asignación

La asignación se representa con una matriz de  $n$  operadores por  $c$  canales, donde la posición  $i,j$  representa la asignación del operador  $i$  en el canal  $j$ .

## Tipo de datos

La asignación se representa con un dato binario, 0 indica que no está asignado y 1 indica que está asignado.

## Descripción

Los datos de entrada indican el estado actual del problema en el modelo.

- $C$ : Cardinalidad del conjunto de canales para un servicio particular.
- $O$ : Número de operadores en la banda que requieren asignación.
- $N$ : Número de operadores presentes en la banda.

- $OPp = \{o_k : 1 \leq k \leq N\}$ : Conjunto de etiquetas que representan a los operadores presentes.
- $OPi = \{o_k : 1 \leq k \leq O\}$ : Conjunto de etiquetas que representan a los operadores que solicitan canales. Si  $o_k \in OPp$ , es un operador presente o antiguo; sino, es un operador nuevo.
- $OPt = OPp \cup OPi$ : Son las etiquetas de los operadores presentes en la banda y de los que requieren asignación.

- $CI_c \in \{0, 1\}$ : Canales marcados como inutilizables en la banda, si  $CI_c = 1$  el canal  $c$  es inutilizable, en caso contrario se puede usar, donde  $1 \leq c \leq C$ .
- $CR_c \in \{0, 1\}$ : Canales marcados como reservados en la banda, si  $CR_c = 1$  el canal  $c$  está reservado, en caso contrario se puede usar, donde  $1 \leq c \leq C$ .
- $CP_c \in \{0, 1\}$ : Canales asignados en las subdivisiones de la banda, si  $CP_c = 1$  el canal  $c$  está asignado, en caso contrario se encuentra libre, donde  $1 \leq c \leq C$ .

- $B'_{co} \in \{0, 1\}$ : Indica si en el canal  $c$  de la banda se encuentra asignado el operador  $o$  donde  $1 \leq c \leq C, o \in OP_p$ .

- $Req = [(o_1, nr_1), (o_2, nr_2), \dots, (o_O, nr_O)]: (o, nr)$  indica que el operador etiquetado  $o \in OP_i$  requiere  $nr$  canales.
- $Sep$ : Valor de separación mínima de canales entre canales asignados a operadores distintos.
- $Tope$ : Valor máximo de canales que puede tener asignado un operador en una banda específica.



- $AP_o$ : Indica el número máximo de canales que tiene el operador  $o$  en una subdivisión de la región de trabajo, donde  $1 \leq o \leq O$ .
- $R$ : Número máximo de operadores por canal. Por defecto su valor es 1.
- $CAC \in \{0, 1\}$ : Indica si se conserva asignación para operadores que solicitan nuevos canales y ya tienen asignación actualmente.

## Descripción

Las variables de decisión son aquellas que se desean encontrar en el problema, en este caso la asignación de canales a nivel nacional, regional, departamental o municipal.

- $B_{co}^O \in \{0, 1\}$  Asignación de los operadores en la banda, donde  $1 \leq c \leq C, o \in OP_t$

## Descripción

Son aquellas variables que se utilizan para ayudar a definir algunas restricciones y las estrategias de búsqueda.

- $EC_c \in \{0, 1\}$  es una variable reificada que define si el canal  $c$  esta libre u ocupado. El canal  $c$  se encuentra libre si y sólo si  $EC_c = 1$

ECC	0	1	0	0
Bco	0	0	1	1
	1	0	0	0
	0	0	0	0



- $CLM_c$ : Define el tamaño de los bloques libres.

CLM	0	1	2	0	0	1	2	3
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Bco	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

- $CLMmax = \max(CL M_c : 1 \leq c \leq C)$

- $CAO_{co} \in \{0, 1\}$ : Permite conocer el número de bloques contiguos asignados a un operador  $o$ .

CAO <sub>co</sub>	0	0	0	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

B <sub>co</sub>	0	0	0	0	1	1	1	0
	1	1	1	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

- $CAI_c \in \{0, 1\}$ : Permite conocer que canales se encuentran marcados como inutilizados debido a la separación.

Sep = 1

CAI	0	1	1	0	1	0	1	0
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Bco	0	0	0	0	0	1	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

## Descripción

Todo operador que solicita canales y actualmente tiene canales asignados los conserva a menos que  $CAC \neq 1$

$$CAC = 1 \rightarrow \forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \in OPp \cap OPi, \\ B_{co}^I = 1 \rightarrow B_{co}^O = 1$$

## Descripción

Todo operador que no solicita canales tendrá la misma asignación de canales en la salida.

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \in OPp \setminus OPi \\ B_{co}^I = B_{co}^O$$



## Descripción

Máximo R operadores por canal.

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\} \left( \sum_{o \in OPt} B_{co}^O \right) + CP_c \leq R$$

## Descripción

Todos los operadores que solicitan canales y no se encuentran actualmente con asignación, deben tener asignados un número de canales igual al que requieren.

$$\forall o \in OP_i \setminus OP_p, \sum_{c=1}^C B_{co}^O = Req_o$$

## Descripción

Todos los operadores que solicitan canales y actualmente tienen asignación, deben tener asignados un número de canales igual al que requieren más los canales que actualmente poseen en la banda.

$$\forall o \in OP_i \cap OP_p, \sum_{c=1}^C B_{co}^O = \left( \sum_{c=1}^C B_{co}^I \right) + Req_o$$

## Descripción

Todos los operadores que solicitan canales y actualmente tienen asignación, deben tener asignados un número de canales igual al que requieren más los canales que actualmente poseen en la banda.

$$\begin{aligned} R = 1 \rightarrow (\forall o \in OPI, \forall o' \in OPT, \forall s \in \{1, 2, \dots, Sep\}, \\ \forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \neq o') \\ (B_{co}^O + B_{(c \pm s)o'}^O \leq 1) \end{aligned}$$

## Descripción

Un operador no puede superar el tope de canales establecido por el gobierno en una banda de la región ni en sus divisiones territoriales.

$$(\forall o \in OP_i) \left( \sum_{c=1}^C B_{co}^O \right) + AP_{o_o} \leq Tope$$

## Número de cambios de asignación de canales para un operador

$$Cost_1 = \lceil \frac{1}{2} * \sum_{o \in OPI} \sum_{c=1}^C CAO_{co} \rceil$$

CAOco	0	0	0	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

Bco	0	0	0	0	1	1	1	0
	1	1	1	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

$$Cost_1 = 2 + 2 = 4 / 2 = 2$$

## Diferencia entre el número de canales y el mayor bloque de canales libres

$$Cost_2 = C - CLMmax$$

CLM	0	1	2	0	0	1	2	3
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Bco	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

CLMmax = 3

Cost2 = 8 - 3 = 5

## Número de canales inutilizables

$$Cost_3 = \sum_{c=1}^C CAI_c$$

Sep = 1

CAI	0	1	1	0	1	0	1	0
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Bco	0	0	0	0	0	1	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

$$Cost_3 = 1+1+1+1 = 4$$



## Costo total

$$Cost_T = peso_1 * Cost_1 + peso_2 * Cost_2 + peso_3 * Cost_3$$

## Definición

Para el proyecto se han definido 13 estrategias de distribución que surgen de la combinación de:

- Asignar al inicio o final de la banda
- Tratar requerimientos de operadores que tienen o no asignación actualmente en la banda
- Tratar requerimientos de acuerdo al número de canales que solicita cada operador
- Se agregan las 3 estrategias de distribución genéricas disponibles en Mozart OZ: *ff*, *naive* y *split*.

## Definición

Las estrategias de búsqueda están definidas de acuerdo a los diferentes costos que puede tener una solución, en este proyecto existen cinco estrategias de búsqueda, entre las cuales se tienen los tres costos posibles de una solución, el costo total y una búsqueda sin criterio de costo.

## Estrategia

Para el manejo de debilidad y flexibilidad de restricciones se crea una estrategia en el cual el usuario puede elegir que restricciones desea deshabilitar definiendo una o más ejecuciones del aplicativo.

## En el aplicativo

Seleccione el número de iteraciones que desea realizar:

**Iteración 1**

☐ No considerar separación.

☐ No considerar tope.

☐ Canales en operadores que solicitan asignación se pueden mover.

Número de operadores por canal:

Número de operadores por canal (en casos especiales > 1)



## Integración

Se siguen los pasos definidos en la metodología para integración de aplicaciones Web de AVISPA.

## Integración general

- Entradas y salidas en formato XML
- Vistas Web para despliegue de información
- Uso de lenguajes para desarrollo Web para comunicación
- Gestión de usuarios utilizando la provista por Drupal. Dos niveles de usuario: usuario común y administrador

## Definición

En la base de datos se alimenta a partir de la información contenida del cuadro nacional de atribución de frecuencias, división política de Colombia y de datos generados de asignación de canales.

## Consultas en la base de datos

- Consultas de asignación por entidad territorial por banda
- Consultas de asignación por operador por banda
- Administración de operadores, bandas y servicios

## Estructura

- Módulo de gestión de base de datos y archivos
- Generador de entradas XML
- Aplicativo de asignación de canales usando programación por restricciones
- Aplicación basada en algoritmos evolutivos
- Insertar XML de salida en base de datos

## Gestión del espectro radioeléctrico -CaFeSa -

- Descripción del problema
- Modelo
- ▼ Gestión Entradas, Salidas y Base de datos
  - Consultas a BD
  - Gestión Operadores
  - Gestión Servicios
  - Gestión Rangos de Frecuencia
  - Gestión Entradas XML
  - Gestión Salidas XML
- ▼ Aplicativo CCP
  - Generador de entradas
  - Aplicación
  - Actualizar Base de datos
- Aplicativo por algoritmo genético





## Algoritmo genético

Se implementa una solución usando algoritmos genéticos en base al artículo *Solving channel allocation problem in cellular radio networks using genetic algorithm*

## Datos

Para las entradas y salidas se crea un módulo adicional para transformar las entradas de formato XML a uno que se pueda leer fácilmente.

- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas**
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

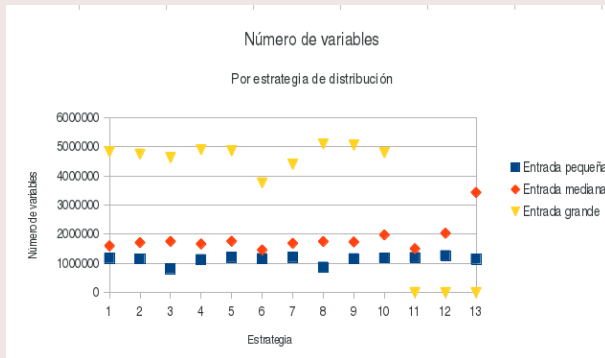
## Esquema de pruebas

Se realizan varios tipos de pruebas para analizar los parámetros de rendimiento del aplicativo con respecto a diferentes tipos de entrada.

## Tipos de entradas

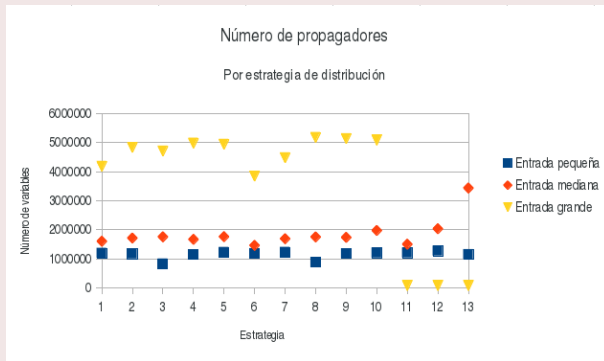
- Entradas pequeñas: menos de 20 canales
- Entradas medianas: entre 20 y 100 canales
- Entradas grandes: más de 100 canales
- Entradas que cumplen y no cumplen las restricciones

## Número de variables por tamaño de entrada



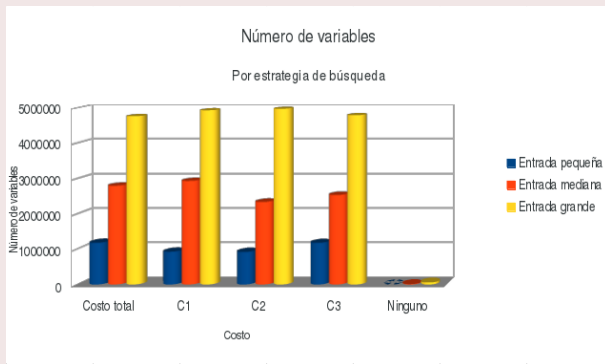
\* Para la entrada grande en los últimas 3 estrategias de distribución no se encuentra una solución.

## Número de propagadores por tamaño de entrada

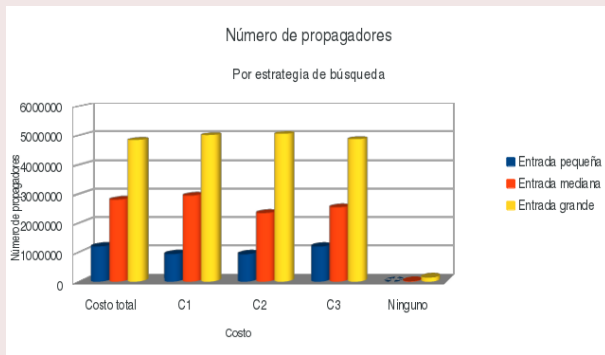


\* Para la entrada grande en los últimas 3 estrategias de distribución no se encuentra una solución.

## Número de variables por tamaño de entrada



## Número de propagadores por tamaño de entrada



## Resultados adicionales

- La memoria consumida
- El mejor desempeño se presenta sin motor de búsqueda
- A medida que existan más canales asignados en la entrada el desempeño mejora
- Restricciones débiles vs desempeño
- Desempeño algoritmo genético



- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones**
- 6 Trabajos futuros

- El problema se pudo abstraer de tal forma se pudiera escribir en un modelo lineal
- El uso de modelo lineal facilita su expansión a diferentes métodos de solución
- La metodología del grupo AVISPA para aplicaciones por restricciones permitió implementar el proyecto como aplicación Web.

- El uso del paradigma de programación por restricciones en el análisis comparativo permitió establecer que es un método apropiado para solucionar el problema
- La implementación sobre un algoritmo genético demostró ser una buena experiencia para estudiar las ventajas y desventajas que tiene un método de solución de este tipo de problemas frente a otro
- El uso de estrategias de distribución diseñadas para el proyecto permite acelerar las búsquedas de soluciones válidas al problema frente a estrategias genéricas

- Los resultados permitieron establecer algunas pautas sobre qué estrategias de búsqueda y motores de búsqueda presentan mejor rendimiento frente a los otros
- La gran ventaja del paradigma de programación por restricciones frente a otros métodos es lo rápido que se encuentra una solución válida a una instancia dada

- Las pruebas realizadas han arrojado que el uso de un motor de búsqueda aumenta sensiblemente el numero de propagadores y dominios finitos requeridos al ser necesario ejecutar rutinas para el cálculo de costos
- En las pruebas se encontró que la restricción que más efecto produce en el rendimiento es la de asignación (Un operador requiere  $n$  canales)
- Como resultado final de las pruebas realizadas se puede establecer que la propuesta presentada en éste proyecto es un acercamiento a un proceso basado en programación por restricciones

- 1 Definición del problema
- 2 Objetivos
- 3 Solución del problema
  - Modelo de asignación de canales
  - Implementación del modelo
  - Aplicativo
  - Otros métodos de solución
- 4 Pruebas
- 5 Conclusiones
- 6 Trabajos futuros

- El modelo implementado en el proyecto no garantiza obtener una solución óptima a nivel de detalle de asignación. Se debe a futuro considerar cambios al modelo y a la implementación que posibiliten estudiar la asignación en todo su detalle
- Se requiere estudiar un modelo que considere las posiciones y características de los transmisores de un operador en determinada área geográfica

- Se deben considerar aspectos técnicos del proceso de la gestión del espectro, en especial la recomendación ITU K52
- Se requieren datos reales de gestión del espectro, los cuales lamentablemente no se encuentran accesibles al público en general



- En las pruebas se encontró que el aplicativo en base a *Mozart OZ* presenta problemas en entradas grandes, por lo que se requiere estudiar otras herramientas como *Gecode*.
- Debido a que se necesita una gran capacidad de procesamiento en instancias grandes del problema, se recomienda realizar un estudio posterior sobre la posibilidad de distribuir el proceso para mejorar el rendimiento.

# ¡¡GRACIAS!!

