

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

Carlos Andrés Delgado Saavedra, Ing

**Universidad del Valle
Facultad de ingeniería
Escuela de ingeniería de sistemas y computación
Santiago de Cali
2012**

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

Carlos Andrés Delgado Saavedra, Ing
Código 0831085
cardel87@gmail.com

**Documento presentado como requisito parcial para la obtención de
grado de Ingeniero de Sistemas**

Director
Juan Francisco Díaz, Ph.D.

Codirector
Fabio Germán Guerrero Moreno, M.Sc.

Universidad del Valle
Facultad de ingeniería
Escuela de ingeniería de sistemas y computación
Santiago de Cali
2012

Trabajo de grado presentado por
Carlos Andrés Delgado Saavedra, Ing.
Como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero de Sistemas



Juan Francisco Díaz, Ph.D.
Director

Fabio Germán Guerrero Moreno, M.Sc.
Codirector

Jurado 1

Jurado 2

A Dios por darme la vida y la salud.

A mi familia por la guía moral y por la gran confianza depositada en mi persona.

A mis profesores por su guía en mi aprendizaje.

A mis compañeros de estudio por los buenos momentos que se pasaron durante la carrera.

Tabla de Contenido

1. Contexto y objetivos	1
1.1. Planteamiento del Problema.	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Antecedentes	2
1.4. Justificación	3
1.4.1. Justificación teórica	3
1.4.2. Justificación metodológica	3
1.4.3. Justificación práctica	3
1.5. Información sobre los capítulos	4
2. Marco teórico	5
2.1. Glosario	5
2.2. Gestión del espectro radioeléctrico	7
2.2.1. Introducción	7
2.2.2. Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia	8
2.2.3. Estudios económicos sobre el uso del espectro	10
2.3. Programación por restricciones	10
2.3.1. Problemas de satisfacción de restricciones.	11
2.3.2. Satisfacción de restricciones	11
2.3.3. Propagación de restricciones	11
2.3.4. Estrategias de búsqueda	12
2.3.5. Estrategias de distribución	13
3. Alcances de la propuesta	14
3.1. Alcances metodológicos	14
3.2. Alcances prácticos	14
4. Modelo de asignación de canales	16
4.1. Anotaciones sobre el modelo	16
4.2. Datos de entrada	16
4.3. Variables de decisión	17
4.4. Variables usadas en restricciones y estrategias de búsqueda	17
4.5. Restricciones	18
4.5.1. Restricciones triviales	18
4.5.2. Restricciones co-canal	18

4.5.3. Restricciones legales	19
4.6. Cálculo de costos	19
4.6.1. Número de cambios de asignación de canales para un operador	19
4.6.2. Diferencia entre el número de canales y el mayor bloque de canales libres	19
4.6.3. Número de canales inútiles	19
4.6.4. Costo total	20
4.7. Justificación del modelo	20
4.7.1. Uso de matrices y codificación binaria de dominios	20
4.7.2. Tipos de restricciones	20
4.7.3. Limitaciones de encontrar soluciones óptimas	20
5. Consideraciones para implementación del modelo	21
5.1. Formato de entradas	21
5.1.1. Formato general	21
5.1.2. Especificación de llaves	22
5.2. Formato de salidas	22
5.2.1. Formato general	23
5.2.2. Campos de una solución	24
5.3. Parámetros de las aplicaciones	25
5.4. Información del cuadro nacional de atribución de frecuencias.	25
5.4.1. Abstracción.	25
5.4.2. Diseño de la base de datos.	26
5.4.3. Datos de prueba en la aplicación prototipo.	26
6. Implementación del modelo usando programación por restricciones	27
6.1. Estrategias de distribución	27
6.2. Estrategias de búsqueda	29
6.3. Debilidad y flexibilidad de restricciones	29
6.3.1. Restricciones flexibles	30
6.3.2. Debilidad de restricciones	30
6.4. Diseño e implementación del aplicativo	30
6.4.1. Estructura de la aplicación	30
6.4.2. Parámetros de la aplicación.	31
6.4.3. Módulos del aplicativo	31
6.5. Anotaciones sobre la implementación	33
6.5.1. Número de variables de dominios finitos y propagadores	33
6.5.2. Tamaño de entradas	33
6.5.3. Errores conocidos del aplicativo	34
6.5.4. Consideraciones para implementación usando programación por restricciones	34
7. Implementación del modelo usando un algoritmo genético	35
7.1. Diseño del algoritmo genético	35
7.1.1. El algoritmo	35
7.1.2. Problemas de modelado	37
7.1.3. Valores recomendados	37
7.2. Diseño e implementación de la aplicación	37
7.2.1. Parámetros de la aplicación	37
7.2.2. Formato entradas	38

7.2.3. Módulos	38
8. Interfaces Web de la aplicación	39
8.1. Estructura de la aplicación	39
8.1.1. Módulos de la aplicación	40
8.1.2. Integración con el portal de Avispa	42
8.2. Despliegue de información al usuario	44
8.2.1. Consultas	44
8.2.2. Archivos de entrada y salida	45
8.2.3. Resultados	46
9. Experimentación y pruebas	47
9.1. Descripción pruebas	47
9.1.1. Entradas de prueba	47
9.1.2. Procedimiento de pruebas	49
9.2. Pruebas sobre aplicativo basado en programación por restricciones	50
9.2.1. Pruebas sobre tamaño de entrada	50
9.2.2. Pruebas de acuerdo a la distribución de la asignación en la banda	52
9.2.3. Pruebas sobre estructura requerimientos	54
9.2.4. Pruebas sobre tamaño de requerimientos	56
9.2.5. Pruebas sobre tiempo de exploración en entradas grandes	57
9.2.6. Pruebas de acuerdo al nivel de recomputación	58
9.2.7. Pruebas de flexibilidad y debilidad de restricciones	59
9.3. Pruebas sobre el aplicativo basado en algoritmos genéticos	61
9.3.1. Pruebas sobre entradas varias	61
9.3.2. Pruebas sobre entradas que no cumplen restricciones	61
9.4. Resultados	62
9.4.1. Solución basada en programación por restricciones	62
9.4.2. Solución basada en algoritmos genéticos	63
9.4.3. Análisis comparativo entre los métodos de restricciones y evolutivo	64
9.4.4. Análisis de expansibilidad del modelo	64
9.4.5. Aplicación del modelo en situaciones reales	64
10. Conclusiones y trabajos futuros	65
10.1. Conclusiones	65
10.2. Trabajos futuros	67
11. Bibliografía	68
Anexos	70
Ejemplo entrada XML	70
Ejemplo salida XML	72
Diagrama de flujo aplicativo basado en programación por restricciones	73
Modelo entidad relación	74
Ejemplo de entrada algoritmo genético	75
Manuales de usuario	76

Lista de Figuras

2.1. División para asignación de frecuencias.	8
2.2. Estructura de un árbol de búsqueda	12
4.1. Ejemplo de representación de asignación en una banda.	16
8.1. Estructura de aplicación	40
8.2. Alerta sobre usuario no autenticado.	44
8.3. Alerta sobre usuario sin rol de administrador.	44
8.4. Ejemplo de consulta a base de datos.	45
8.5. Despliegue información de la entrada.	45
8.6. Ejemplo de consulta a base de datos.	46
8.7. Ejemplo de consulta a base de datos.	46
11.1. Diagrama de flujo del funcionamiento del aplicativo basado en programación por restricciones.	73
11.2. Modelo entidad relación del proyecto	74
11.3. Filtro en la consulta por zona geográfica.	76
11.4. Filtro en la consulta por operador.	76
11.5. Filtro en la consulta por banda.	76
11.6. Registrar operador	76
11.7. Editar operador.	76
11.8. Agregar servicio.	77
11.9. Editar servicio.	77
11.10 Selección banda de frecuencia.	77
11.11 Agregar banda de frecuencia.	77
11.12 Lista de rangos de frecuencia registrados en una banda.	78
11.13 Editar rango de frecuencia.	78
11.14 Lista de canales asociados a un rango de frecuencia.	78
11.15 Editar canal.	78
11.16 Lista de entradas XML almacenadas en el sistema.	78
11.17 Lista de salidas XML almacenadas en el sistema.	78
11.18 Especificación de requerimientos.	79
11.19 Selección salida XML para actualizar base de datos.	79
11.20 Selección entrada XML para actualizar base de datos.	79
11.21 Aplicativo por programación por restricciones.	79
11.22 Flexibilidad y debilidad de restricciones.	79
11.23 Aplicativo por algoritmo genético.	80
11.24 Información general acerca de una salida XML.	80
11.25 Información de costos y reporte de una solución obtenida de una salida XML.	80

Lista de tablas

1.1. Estructura de capítulos	4
2.1. Especificación de bandas de frecuencia.	6
5.1. Estructura de llaves en las entradas	22
5.2. Campos de información de ejecución en general.	23
5.3. Campos de información de ejecución usando programación por restricciones.	24
5.4. Campos de costos de una solución.	24
5.5. Campos de información de un reporte de una solución específica.	24
5.6. Parámetros generales para la aplicación	25
5.7. Datos de prueba de la aplicación prototipo	26
6.1. Estrategias de distribución	28
6.2. Estrategias de búsqueda	29
6.3. Parámetros aplicación por restricciones	31
6.4. Funciones auxiliares	32
7.1. Valores recomendados para la aplicación basada el algoritmos genéticos	37
7.2. Parámetros para la aplicación basada el algoritmos genéticos	37
8.1. Consultas en el aplicativo prototipo de gestión del espectro	40
8.2. Operaciones de edición en la base de datos gestión del espectro	41
9.1. Entradas usadas para pruebas	47
9.2. Pruebas para E1 con 3seg de ejecución variando estrategia de distribución	50
9.3. Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	51
9.4. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	51
9.5. Pruebas para E1 con 3 seg de ejecución variando el motor de búsqueda	52
9.6. Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando el motor de búsqueda	52
9.7. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando el motor de búsqueda	52
9.8. Pruebas para E3 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	53
9.9. Pruebas para E4 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	53
9.10. Pruebas para E5 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	53
9.11. Pruebas para E6 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	53
9.12. Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	54
9.13. Pruebas para E8 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	54
9.14. Pruebas para E9 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	55
9.15. Pruebas para E10 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	55
9.16. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	55

9.17. Pruebas para E12 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	56
9.18. Pruebas para E2 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	56
9.19. Pruebas para E12 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	56
9.20. Pruebas para E15 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	57
9.21. Pruebas para E13 con 5 seg de ejecución variando estrategia de distribución	57
9.22. Pruebas para E13 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución	58
9.23. Pruebas para E13 con 20 seg de ejecución variando estrategia de distribución	58
9.24. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 1	58
9.25. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 2	59
9.26. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 4	59
9.27. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 6	59
9.28. Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 8	59
9.29. Pruebas flexibilidad y debilidad para F1	60
9.30. Pruebas flexibilidad y debilidad para F2	60
9.31. Pruebas flexibilidad y debilidad para F3	60
9.32. Pruebas algoritmo genético para E6	61
9.33. Pruebas algoritmo genético para E8	61
9.34. Pruebas algoritmo genético para E15	61
9.35. Pruebas algoritmo genético para F1	61
9.36. Pruebas algoritmo genético para F2	62
9.37. Pruebas algoritmo genético para F3	62

Resumen

En este proyecto de trabajo de grado se diseña, modela y desarrolla una aplicación prototipo para la asignación del espectro radioeléctrico, mediante el empleo de técnicas de programación por restricciones.

Mediante el uso de la metodología para el desarrollo de aplicaciones Web[1] del grupo Avispa de la Universidad de Cundinamarca, se realiza un proceso para que la aplicación prototipo pueda funcionar como un servicio Web, en esta metodología se encuentran descritos los pasos para conseguir que la aplicación escrita en lenguaje Mozart pueda ser utilizada desde un navegador Web.

Finalmente, con el desarrollo de la aplicación prototipo se busca crear una base para la creación de una herramienta que permita realizar la gestión del espectro radioeléctrico tomando en cuenta todos los aspectos físicos, económicos y legales que afectan el proceso de asignación de espectro.

Introducción

El problema de la gestión del espectro consiste en buscar la mejor asignación posible de canales en una banda, para un grupo de operadores satisfaciendo restricciones que son impuestas por legislaciones, condiciones ambientales, estándares de tecnologías y regularizaciones existentes. Para determinar la mejor solución en éste trabajo de grado se ha definido algunos parámetros de costos por solución, los cuales son extrapolados de los análisis económicos que se han realizado a la gestión del espectro.

La implementación de la solución está basada en un modelo matemático lineal el cuál se consigue al analizar las diferentes restricciones que se han elegido dentro de los alcances del proyecto que son definidos en el capítulo 3.

El aplicativo del proyecto es implementado en lenguaje Mozart, debido a la facilidad de creación de estrategias de búsqueda, diseño de estrategias de distribución y algoritmos de búsqueda que posee de forma nativa.

Para la creación del servicio Web, se ha utilizado la metodología definida para el grupo Avispa[1] que indica los pasos necesarios para convertir una aplicación de programación por restricciones en un servicio web.



Para mostrar las ventajas de la programación por restricciones como método de solución del problema se realizan análisis sobre distintos escenarios que se pueden presentar en la gestión del espectro, esto se puede consultar en el capítulo 9.

Capítulo 1

Contexto y objetivos

1.1. Planteamiento del Problema.

La gestión del espectro radioeléctrico es un proceso en el que se asignan una o más canales a operadores para la prestación de servicios. En este proceso se deben considerar restricciones que se deben cumplir para evitar interferencias y garantizar calidad de servicio para los usuarios finales. Las restricciones son establecidas por estándares tecnológicos, legislación nacional de cada país, estándares de la *International Telecommunication Union ITU* (ITU)[2] y restricciones de compatibilidad electromagnética que son aquellas relacionadas con los fenómenos de interferencia.

En este trabajo de grado, se propone una solución prototipo  problema de asignación de frecuencias mediante el uso de programación por restricciones para buscar se satisfagan las restricciones del problema y la asignación mejore el uso de  bandas de frecuencia en el espectro.

Con la solución prototipo propuesta en  este proyecto se busca responder las siguientes preguntas:

- ¿Se puede utilizar el paradigma de programación por restricciones para la gestión del espectro?.
- ¿Es posible encontrar un modelo de satisfacción de restricciones para este problema?.
- ¿Que impacto tienen las restricciones que existen en la gestión del espectro?.
- ¿Esta propuesta representa una mejora en la gestión del espectro?

1.2. Objetivos


1.2.1. Objetivo general

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

1.2.2. Objetivos 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.

1.3. Antecedentes

La gestión del espectro radioeléctrico ha cobrado gran importancia en los últimos años por la expansión y masificación de las tecnologías de comunicación inalámbrica; se han presentado problemas debido a una incorrecta asignación del espectro en algunas bandas del espectro. En marzo de 2011 la TIA (Telecommunications Industry Agency) [3] de los Estados Unidos alerta sobre el gran crecimiento del espectro la necesidad de reestructurar la asignación del espectro radioeléctrico a corto plazo. 

Actualmente se **ha** propuesto y desarrollado varias estrategias para realizar una asignación apropiada del espectro:

- Algoritmos de alineamiento [4] para realizar el proceso de asignación de frecuencias, el objetivo es reducir la interferencia por lo que se imponen restricciones para la asignación.
- Métodos basados en algoritmos sobre grafos [5] que consisten en modelar una red **de el** problema con grafos de acoplamiento para modelar las restricciones y grafo de **interferencia** para estimar la calidad de servicio.
- Métodos basados en teoría de juegos [6] que son **juego cooperativo** donde los operadores se modelan como jugadores y los canales son elementos del juego.
- Métodos basados en heurísticas, algoritmos genéticos, entre otros.

En Colombia con la creación de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) mediante la ley de TIC (Ley 1341 de 2009) [7] se ha incrementado la necesidad de contar con herramientas de gestión del espectro. Cuando el problema se considera teniendo en cuenta la asignación del espectro radioeléctrico en los más de mil municipios en Colombia y la gran cantidad de bandas definidas en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia [8], el problema toma dimensiones de muy alta complejidad.

Actualmente el gobierno nacional está adelantando el proceso de licitación de espectro para servicios 4G [9], lo que ha implicado costos adicionales debido a que algunos operadores como el caso del ejército nacional debe moverse de algunas frecuencias, debido a la falta de una política a largo plazo de la gestión del espectro radioeléctrico.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

El problema de asignación del espectro es un problema combinatorio donde se requiere realizar una asignación de canales para un grupo de operadores buscando la asignación satisfaga unas restricciones y minimice costos.

Este problema es similar al de asignación de canales (*channel assignment*)[10] el que se debe asignar frecuencias a un grupo de transmisores en un sistema de celdas buscando no existan interferencias entre celdas vecinas.

Con esta aproximación se busca encontrar un modelo lineal para solucionar este problema.

1.4.2. Justificación metodológica

El paradigma de programación por restricciones es muy útil en problemas donde se requiere realizar programación de tareas y planificación satisfaciendo restricciones, por lo que parece muy apropiada para aplicar en la solución del problema que se plantea en este trabajo de grado.

La generación de un modelo lineal que pueda representar las diferentes restricciones que están presentes en el proceso de gestión del espectro, representa una ventaja debido a que el modelo es más intuitivo y se puede usar en otros métodos de solución diferentes a la programación por restricciones.

El uso de la metodología definida por el grupo Avispa, para que aplicaciones puedan ser utilizadas como un servicio Web, es un valor agregado para futuros trabajos en ésta área, debido que permite a partir de desarrollo de éste proyecto observar las ventajas y desventajas que ésta presenta para estos desarrollos.

1.4.3. Justificación práctica

Actualmente, es de gran importancia que la gestión del espectro radioeléctrico sea óptima, ya que si se presentan problemas de asignación o interferencia en algunas zonas, se deben asumir costos adicionales, debido a cambios que deban realizarse en los equipos de transmisión o en la compra de equipos para el filtrado de señales interferidas.

Las tecnologías de comunicación inalámbrica, han tenido en los últimos años un gran impacto en la comunidad, ya que se han convertido en un medio indispensable para la comunicación e interacción entre las personas, por lo que es muy importante garantizar una buena calidad de servicio y facilidad de expansión de estas tecnologías con una correcta gestión del espectro radioeléctrico.

Una correcta gestión del espectro, permite a los operadores adquirir tecnología para la transmisión y

recepción se señales en una sola banda de frecuencia, además mejora los índices de calidad del servicio de comunicación inalámbrica ya que se reducen los niveles de interferencia de las señales.

1.5. Información sobre los capítulos

En la siguiente tabla se muestra una corta descripción de cada capítulo del documento y se explica que objetivos específicos aborda.

Tabla 1.1: Estructura de capítulos

Capítulo	Descripción	Objetivo específico
Capítulo 2: Marco teórico	Se explican los conceptos necesarios para comprender el problema y su solución, se espera que el lector tenga formación básica en física y matemáticas	Ninguno
Capítulo 3: Alcances de la propuesta	En este capítulo se definen los alcances metodológicos, teóricos y prácticos de la propuesta	Ninguno
Capítulo 4: Modelo de asignación de canales	Se presenta la propuesta de modelo para solucionar el problema de asignación de frecuencias y la estrategia para calcular costo de cada solución del problema.	1 y 4
Capítulo 5: Consideraciones para implementación	En este capítulo se muestran algunos aspectos que se han tenido en cuenta para el diseño e implementación de la aplicación.	2
Capítulo 6: Implementación del modelo usando programación por restricciones	El capítulo revela los aspectos que se deben tener en cuenta para la implementación del modelo.	3
Capítulo 7: Implementación del modelo usando un algoritmo genético	Se presenta una propuesta para la implementación del modelo usando un algoritmo genético y el modelo propuesto en el capítulo 5 a partir de un trabajo existente del problema de <i>channel assignment</i> .	Ninguno.
Capítulo 8: Interfaces Web de la aplicación	Se muestran los diferentes módulos de la aplicación final y como se despliegan los datos al usuario.	4
Capítulo 9: Análisis y resultados	En este capítulo se muestran los diferentes resultados comparativos obtenidos al realizar diferentes pruebas con la aplicación.	5
Capítulo 10: Conclusiones y trabajos futuros y pruebas	Las conclusiones finales del proyecto y los trabajos futuros que deben realizarse para mejorar la aplicación propuesta en éste trabajo de grado.	Ninguno.

Capítulo 2

Marco teórico

En éste capítulo se abordan los conceptos necesarios para el entendimiento del problema de la gestión del espectro y las estrategias de solución utilizadas en este proyecto de grado.

Es recomendado que el lector tenga formación básica en:

- Conceptos de física fundamental:
 - Conocimiento básico acerca de física de ondas.
 - Entendimiento básico acerca del espectro electromagnético.
 - Efectos de la distancia, clima y otros que afectan la propagación de señales en el espacio.
- Conocimiento básico sobre tecnologías de comunicación inalámbrica.
- Conocer que son problemas combinatorios y la dificultad de solucionarlos.
- Claridad en el concepto de modelo matemático.
- Información acerca de la diferencia entre aplicaciones de escritorio y Web.



A continuación se ilustran los términos más relevantes para el proyecto de grado, luego se hace una introducción a la gestión del espectro y finalmente se explican algunos conceptos sobre la programación por restricciones.

2.1. Glosario

- **Algoritmo genético** [11] Los algoritmos genéticos son estrategias adaptativas para la solución de diversos problemas de búsqueda y de optimización usando conceptos de evolución. Un algoritmo genético está definido por:
 1. Una población inicial que se genera de manera aleatoria, cada individuo es una solución válida a un problema que se busca solucionar.
 2. Un método de selección que selecciona los mejores individuos de una población.
 3. Cruce, que es tomar dos individuos que han sido seleccionados y combinarlos para generar más individuos que recojan sus características.
 4. Mutación, que es alterar características a unos pocos individuos generados en el cruce.

5. Los pasos 2,3, y 4 se repiten un número determinado de veces o cuando los mejores individuos cumplan ciertos requisitos definidos por el programador.

La idea principal es que el algoritmo a medida que itera se va acercando a la solución óptima del problema que se intenta solucionar.


- **Ancho de banda:** [8] En comunicaciones se define como una rango de frecuencias  que se transmite una señal.
- **ANE:** [12] Agencia Nacional del  espectro, es una entidad del gobierno colombiano, adscrita al Ministerio de **Telecomunicaciones y Tecnologías de la información** (MinTIC), encargado de gestionar el uso del espectro radioeléctrico, excepto para la televisión.
- **Banda de frecuencias:** [8] División del espectro radioeléctrico que define un conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran dentro de un límite inferior y un límite superior indicados explícitamente. Se definen nueve grandes bandas de frecuencias: VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF y la banda de frecuencias que comprende frecuencias superiores a 300 GHz. Estas a su vez están subdivididas en otras bandas más pequeñas a las cuales se atribuyen los distintos servicios de radiocomunicación.

Las diferentes bandas de frecuencia están especificadas así:

Tabla 2.1: Especificación de bandas de frecuencia.

Tomado del cuadro nacional de atribución de frecuencias, página 47.

Banda	Frecuencias
Very Low Frequency VLF	3 - 30 kHz
Low Frequency LF	30 - 300 kHz
Médium Frequency MF	300 - 3000 kHz
High Frequency HF	3 - 30 MHz
Very High Frequency VHF	30-300 MHz
Ultra High Frequency UHF	300-3000 MHz
Super High Frequency SHF	3 - 30 GHz
Extremely High Frequency EHF	30-300 GHz

- **Banda de frecuencias específica o rango de frecuencia:** [8] Es una división específica del espectro en donde se presta uno o más servicios de radiocomunicación.
- **Canal de comunicación:** [8] Son los segmentos en que se divide una banda de frecuencia,  en el proceso de gestión del espectro son los elementos que son asignados a los operadores.
- **Espectro electromagnético:** [8] Es la división energética de las ondas. Las bandas del espectro electromagnético son: radiofrecuencia, microondas, infrarrojo, espectro visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.
- **Espectro radioeléctrico:** [8] Conjunto de frecuencias electromagnéticas entre 3Hz y 3GHz. El espectro radioeléctrico es un subconjunto menos energético del espectro electromagnético que se utiliza para la transmisión de señales de radio, televisión, celular y otras.
- **Estación:** [8]: Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarios para asegurar la prestación de un servicio en un

lugar determinado. Existen estaciones fijas las cuales permanecen en un lugar determinado y móviles que se encuentran en movimiento dentro de una zona determinada, ejemplo usuarios de telefonía celular.

- **Frecuencia:** [8] Es el número de repeticiones de una onda durante un segundo, se mide en Hertz (Hz) que indica ciclos por segundo.
- **ITU:** [2] En inglés - *International Telecommunication Union* -, en español - Unión Internacional de Telecomunicaciones -. Es un organismo de las Naciones Unidas, encargado de regular las telecomunicaciones a nivel mundial, genera normativas conocidas como recomendaciones, que no son de obligatorio cumplimiento para diferentes áreas en las telecomunicaciones.
- **Longitud de onda:** [8] Es el periodo espacial de las ondas, en otras palabras la distancia en que se repiten.
- **Operador:** Empresa privada o pública que presta servicios en el espectro radioeléctrico.
- **Periodo de señal:** [8] Es el tiempo que requiere una señal para repetirse, en otras palabras es el inverso de la frecuencia.
- **Potencia de señal:** [8] Es la energía de transmisión de una señal por unidad de tiempo, se mide en Wattios (W).
- **Interferencia de señal:** [8] Es la afectación en el nivel de potencia y periodo de una señal que emite en una frecuencias, producida por otras señales transmitidas en frecuencias cercanas.
- **Modelo de satisfacción de restricciones:** [13] Es un conjunto de variables, dominios finitos y ecuaciones, que permiten solucionar un problema usando programación por restricciones.
- **MinTIC:** [14] Acrónimo de Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, es uno de los ministerios del estado colombiano, su función es regular y promover el uso de las tecnologías de comunicación en todo el país.
- **Servicio:** Actividad que busca satisfacer las necesidades de un cliente, para éste proyecto de grado, está enfocado a los que utilizan el espectro radioeléctrico.
- **Sistemas de gestión de contenidos Web:** [15] Un sistema de gestión de contenido Web es una herramienta que permite crear, editar, modificar y publicar contenidos Web.
- **Telecomunicación:** [8]: Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.
- **XML:** [16] Es un lenguaje basado en etiquetas, muy flexible que permite estandarizar la representación de datos.

2.2. Gestión del espectro radioeléctrico

2.2.1. Introducción

La Unión Internacional de Comunicaciones (ITU) [2] ha definido el uso de cada banda de frecuencia para servicios de radio. Algunos factores como la planeación del uso de la frecuencias y características

técnicas de los transmisores, receptores y antenas usadas en servicios de radio contribuyen al uso eficiente del espectro de frecuencias.

Las asignaciones de frecuencias en una banda para el uso de servicios de radiocomunicación espacial o terrestre son especificadas en la tabla de asignación y atribución de frecuencias de cada país.

Algunas naciones, realizan otros pasos.

1. Algunas frecuencias concuerdan con la tabla de asignación de frecuencias de la ITU y otras son definidas para evitar que algunos servicios se interfieran con los de otras naciones.
2. Un grupo de frecuencias y espacio de espectro es reservado para los últimos avances tecnológicos.

El mundo se ha dividido en 3 regiones para propósitos de asignación de frecuencias. Los canales usados para casos especiales varían de región en región. Cada país define su propia Tabla de Asignación de Frecuencias basándose en la tabla de la ITU.

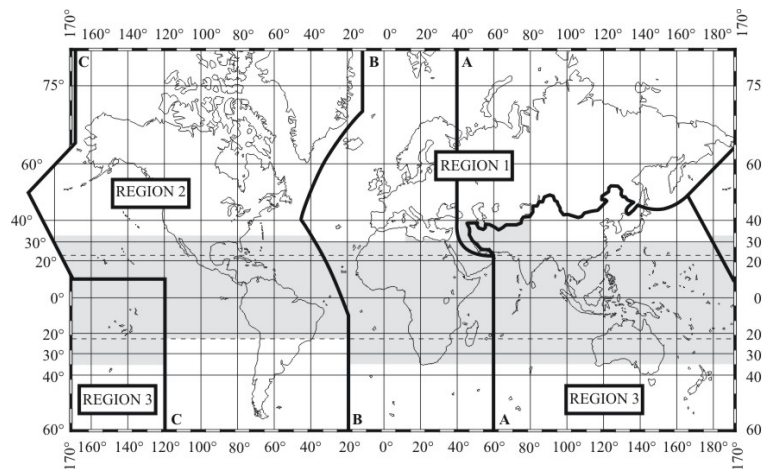


Figura 2.1: División para asignación de frecuencias.

Tomado del reglamento para asignaciones de frecuencia de la ITU <http://life.itu.ch/radioclub/image/regmap.gif>.

2.2.2. Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia

La gestión del espectro radioeléctrico en Colombia, es responsabilidad del estado y es un dominio público, cuya administración corresponde al Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC).

El cuadro o tabla de asignación de frecuencias, de acuerdo a la Ley 252 de 29 de Diciembre de 1995 [17] y la Ley 514 de 04 de Agosto de 1999 [18], corresponde al de la ITU. Este es conocido como Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.

Por la naturaleza dinámica de la gestión de frecuencias, el cuadro se actualiza periódicamente de acuerdo a las recomendaciones del ITU y convenios bilaterales.

De acuerdo a la división en regiones del mundo con respecto a la asignación del espectro, Colombia se encuentra en la Región 2.

En la ley 1341 del 30 de Julio de 2009 [7], se crea la Agencia Nacional del Espectro, como una unidad administrativa especial dependiente el Ministerio de Tecnologías de Información y comunicaciones, cuya función es gestionar, vigilar y controlar el espectro radioeléctrico, con excepción de los servicios de Televisión análoga y digital los cuales son administrados por el Consejo Nacional de Televisión.

Cuadro nacional de atribución de frecuencias

El cuadro nacional de atribución de frecuencias [8] es un documento legal para la gestión, administración y control del espectro radioeléctrico.

El cuadro nacional del espectro tiene las siguientes características:

- Muestra todos los servicios de radiocomunicación del país de acuerdo a la descripción de servicios de la ITU.
- Define la distribución del espectro radioeléctrico.
- Contiene referencias respecto a leyes, tratados, normas, entre otros, vinculados para el uso del espectro radioeléctrico.

Las bandas de frecuencia están definidas bajo estos conceptos:

- La atribución de bandas de frecuencias a los diversos servicios de radiocomunicación comienza a partir de 9 kHz.
- En Colombia, la atribución nacional de frecuencias considera hasta 40,0 GHz.
- En Colombia, a partir de la frecuencia de 40,0 GHz y hasta la frecuencia de 1000 GHz, para fines de planeación, la atribución nacional de bandas de frecuencias es idéntica a la atribución internacional del Reglamento de Radiocomunicaciones de la ITU.
- La banda de frecuencias 275 - 1000 GHz no tiene actualmente atribución de servicios.

Las diferentes bandas se encuentran definidas bajo las recomendaciones de la ITU, el cuadro realiza un comparativo con la región 1, 2, 3 de la ITU con la asignación para Colombia.

Existen dos tipos de bandas:

- **Banda de frecuencia:** Estas son continuas y especifican que servicios se presta en los diferentes bandas de frecuencia a lo largo del espectro.
- **Banda virtual o rango de frecuencia:** Son bandas de frecuencia definidas por servicios y con una canalización específica, es decir está dividida en segmentos los cuales pueden ser asignados, las bandas entre sí pueden solaparse o estar definidas por trozos como es el caso de la banda para el servicio de radiodifusión de televisión.

Las bandas y rangos de frecuencia pueden consultar entre las páginas 49 y 418 del cuadro nacional de atribución de frecuencias.

El cuadro nacional de atribución de frecuencias define que servicios se prestan en el espectro radioeléctrico, los más grandes son:


- **Servicio de radiocomunicación:** Todo servicio de comunicación entre un transmisor y un receptor.
- **Servicio Fijo:** Todos los servicios de comunicación entre estaciones fijas.
- **Servicio Móvil:** Agrupa los servicios que implica la comunicación con estaciones móviles.
- **Servicio de radioastronomía:** Son servicios aplicados a estudios en astronomía.

Los servicios pueden ser a título primario a los cuales el gobierno de Colombia se compromete a hacer respetar sus transmisiones y a título secundario los cuales pueden ser usados en una banda, pero el gobierno no garantiza que puedan ser interferidos por otros.

2.2.3. Estudios económicos sobre el uso del espectro

Para el problema de la gestión del espectro se han realizado varios estudios económicos [19] para estudiar el impacto de realizar una asignación determinada para una zona geográfica.

Los costos que se deben asumir en la gestión se clasifican en:

- **Costos directos:** Relacionado con los costos inmediatos de otorgar una licencia a un operador, entre los cuales se tienen, estudios de interferencia y de los sitios adecuados para ubicar estaciones.
- **Costos indirectos:** Son aquellos costos derivados de la administración del espectro, que incluye la  vigilancia del uso del espectro y estudios de calidad de servicio.


Para efectos de trabajo de grado, se estudian los costos directos de la asignación del espectro de los cuales se encuentra:

- Costo de cambiar equipos por otros que usen mejor el espectro.
- Costo de mover una parte congestionada del espectro, los cuales implican el pago de compensaciones a los operadores, costos de cambio de estaciones e indemnizaciones por traumatismos para los usuarios finales.

Los costos indirectos no se estudian ya que son propios de la vigilancia del uso del espectro, la cual debe realizarse para garantizar se respete la asignación realizada.

Una buena asignación del espectro busca minimizar los costos directos, buscando que la asignación sea lo más óptima posible para evitar que se deba realizar movimiento de asignaciones para poder asignar más espectro en una banda determinada.

2.3. Programación por restricciones

La programación por restricciones [20] es una herramienta poderosa para solucionar problemas combinatorios. La programación por restricciones utiliza técnicas de las diferentes áreas,  ejemplo de inteligencia artificial, ciencias de la computación, lenguajes de programación y **operaciones de búsqueda**. La programación por restricciones es actualmente aplicada para problemas de muchos dominios, como son la programación de tareas, planeación, búsqueda de caminos o rutas para llegar a un punto, redes de comunicación y bioinformática.

La idea básica en programación por restricciones es que el usuario escriba las restricciones y un solucionador de propósito general halle una solución. Las Restricciones son relaciones y un problema de satisfacción de restricciones (CSP) contiene las relaciones entre las variables de decisión. Los modelos de restricciones, son representados en términos de variables de decisión y restricciones, a partir de ellos, se debe encontrar una asignación de todas las variables que satisfaga las restricciones. Los solucionadores para programación por restricciones buscan sistemáticamente la solución en un espacio de búsqueda, con algoritmos de *Backtracking* o *Branch and Bound*. El método de búsqueda sistemático busca la interpolación, se conoce como la propagación de la información contenida en una restricciones a otras restricciones, lo que reduce el espacio de búsqueda de valores para un conjunto de variables.

2.3.1. Problemas de satisfacción de restricciones.

Un problema de satisfacción de restricciones [21] se define así:

- Variables y_1, y_2, \dots, y_n
- Dominios D_1, D_2, \dots, D_n
- Restricciones $C : y_1 \in D_1, y_2 \in D_2, \dots, y_n \in D_n$

Una solución es:

$$(d_1, d_2, \dots, d_n) \in D_1 * D_2 * \dots * D_n$$

Donde se cumplen las restricciones C , es decir:

$$(d_1, d_2, \dots, d_n) \in C$$

2.3.2. Satisfacción de restricciones

La satisfacción de restricciones [20], es básicamente encontrar un valor a cada una de las variables del problema. Las restricciones podan los posibles valores de las variables, para conseguir un solución al problema se utilizan estrategias de búsqueda.

La estrategia de búsqueda fundamental es el *Backtracking* o vuelta hacia atrás, que consiste en realizar un recorrido en un árbol o grafo dirigido que no contiene ciclos. El objetivo es recorrer la estructura hasta encontrar soluciones, lo que se consigue obteniendo soluciones parciales a medida que progresa el recorrido; las soluciones parciales limitan las regiones donde se puede encontrar una solución completa. La búsqueda tiene éxito, si se puede encontrar una solución completa, el algoritmo puede detenerse o buscar soluciones alternativas. Si no encuentra una solución en un recorrido por una parte de la estructura del grafo dirigido o árbol, vuelve hacia atrás de forma similar a la de un recorrido por profundidad, eliminando los elementos que se hubieren añadido en cada fase.

2.3.3. Propagación de restricciones

La propagación de restricciones [21] es un concepto general, que consiste en encontrar relaciones entre restricciones usando algoritmos de filtrado, interferencia de restricciones, reglas de interacción e interacciones caóticas.

La propagación de restricciones embebe cualquier razonamiento que consista en prohibir cualquier valor o combinación de valores para algunas variables de un problema a causa de que un subgrupo de restricciones no pueden ser satisfechas.

Arco consistencia:

La arco consistencia es la más conocida de todas las formas de propagación de restricciones. Para que un CSP sea arco consistente se requiere que:

Para un conjunto de variables X e Y , se requiere que $\forall X \in \text{dom}(X) \exists Y \in \text{dom}(Y)$ tal que $r(X, Y)$ esta satisfecha.

2.3.4. Estrategias de búsqueda

Una estrategia de búsqueda [21] consiste en un árbol de búsqueda y un algoritmo de búsqueda el cual explora el árbol nodo a nodo para encontrar soluciones a un problema de programación por restricciones específico. Existen dos grandes estrategias de búsqueda: *Branch and Bound* y *Backtrack*.

Árbol de búsqueda

Un árbol de búsqueda está representado de la siguiente manera

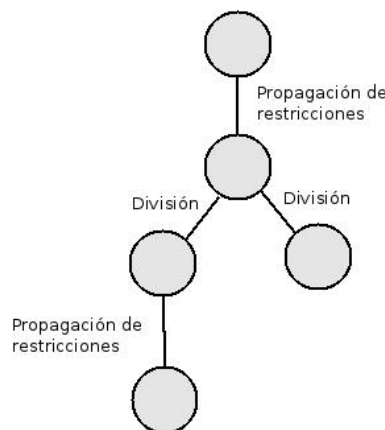


Figura 2.2: Estructura de un árbol de búsqueda

En la figura 2.2 las operaciones de propagación de restricciones indican que al aplicar una restricción a un dominio finito D éste se conserva o se reduce para obtener un dominio D' . Las operaciones de división se realizan al momento que un dominio D al aplicar una restricción queda dividido en n dominios D_1, \dots, D_n .

Algoritmo Backtrack

Este algoritmo construye una solución iniciando con una instancia vacía y sucesivamente intenta extender hasta obtener una instancia consistente definida por las siguiente variable en un camino lineal. Si el procedimiento obtiene que la variable final obtiene una instanciación se encuentra una solución.

Bajo esta premisa se han elaborado muchas estrategias de búsqueda como son *Backtrack-free search* y *Backtrack-free Search*.

Estas no son objeto de estudio, ya que en el proyecto se utiliza la estrategia *Branch and Bound* programada en *Mozart OZ*.

Branch and Bound

En este algoritmo existen dos grandes procedimientos:

- **Ramificación:** La expansión del árbol de búsqueda está condicionado por la búsqueda de la mejor solución, con esto se exploran todos los nodos de una rama hasta explorar en un nuevo nivel.
- **Poda:** El objetivo es eliminar aquellos nodos que no lleven a soluciones buenas, con esto se busca evitar expandirlos ya que sus hijos tampoco serán buenas soluciones.

Esta es una de las mejores estrategias para realizar búsquedas ya que evita expandir todo el árbol, para obtener ganancias en velocidad de procesamiento y uso de memoria.

Motores de búsqueda

Son algoritmos que permiten filtrar las soluciones encontradas por un algoritmo de búsqueda, por ejemplo seleccionar las soluciones que mejoran un costo determinado. Con éstos motores se busca encontrar la mejor solución a un problema de acuerdo a criterios de costo propios del problema.

Recomputación

Durante el proceso de expansión de un árbol de búsqueda[22] se almacena en memoria la información de cada nodo expandido, con esto se busca evitar que se calcule de nuevo un nodo si el algoritmo de búsqueda va hacia atrás, un nivel de recomputación n indica que se almacenan los nodos que quedan a una distancia n de un nodo que se encuentra almacenado. La recomputación es útil para árboles de búsqueda muy grandes donde se requiere una gran cantidad de memoria para su almacenamiento pero tiene un costo adicional de procesamiento al tener que calcular de nuevo los nodos no almacenados en memoria.

2.3.5. Estrategias de distribución

Una estrategia de distribución[23] define la forma y el contenido del árbol de búsqueda, cuántas alternativas existen en un nodo y qué restricción se agrega por cada alternativa.

Las estrategias de distribución se utilizan para mejorar el rendimiento de los algoritmos de búsqueda, ya que una definición apropiada de un árbol de búsqueda permite guiar la exploración para encontrar más rápido la solución óptima.

Capítulo 3

Alcances de la propuesta

En este proyecto de grado se busca obtener una propuesta de solución al problema de gestión del espectro radioeléctrico usando programación con restricciones, con una aplicación prototipo en la que se puedan realizar desarrollos a futuro, por esta razón no se busca obtener un producto final.

Por lo tanto se han aplicado algunas limitaciones al desarrollo de la aplicación, para permitir su concepción, diseño e implementación dentro del contexto y alcance de un trabajo de grado de pregrado.

3.1. Alcances metodológicos

La gestión del espectro se refiere a la asignación, actualización y remoción de la asignación de frecuencias para los operadores en el espectro radioeléctrico. En la aplicación prototipo no se cambiarán ni eliminarán manualmente las bandas que han sido asignadas a partir de una solución que se ha obtenido automáticamente en el aplicativo.



No se va trabajar el estudio de interferencias, se da por descontado una distancia de *sep* canales entre dos operadores dentro de una banda para garantizar no se interfieran entre sí.

La asignación es jerárquica en orden territorial, por ejemplo un canal asignado a un operador a nivel nacional está también asignado en cada región, departamento y municipio del país.

La asignación por entes territoriales no considera en detalle la asignación en sus divisiones, por ejemplo para el caso de un departamento no se toma la asignación en detalles de sus municipios, sino que canales se encuentran ocupados en uno o más municipios. Por lo tanto una solución óptima en un ente territorial no lo es necesariamente en sus divisiones. Esta decisión se tomó por el gran tamaño que tomaban las entradas para describir el detalle de la asignación en cada división de un ente territorial.

En la práctica se establecen topes de espectro para cada operador en una banda, éste tope está definido en Hz, para efectos de simplificar, se toma un número de canales por banda, es de anotar que cada canal tiene un tamaño en Hz establecido por su frecuencia inicial y final.

3.2. Alcances prácticos

Con respecto al proceso de asignación se toman las siguientes consideraciones en el diseño de la aplicación:

- El acceso a los datos utilizados en la práctica de la división territorial y asignación de frecuencias es restringido, por lo que en el proyecto se utilizan datos estimados.
- El modelo de los canales es variable en el cuadro nacional de atribución de frecuencias, en este trabajo de grado solamente se supone un modelo con una frecuencia de transmisión T_x y una de recepción R_x
- Se trabaja entre las frecuencias entre 26 MHz y 60G GHz, al omitir las frecuencias de servicio móvil marítimo y servicio fijo marítimo y las frecuencias más altas que no se encuentran canalizadas.
- Solamente se trabaja con las bandas de frecuencias definidas por servicios, las cuales se encuentran canalizadas, se ignora la información sobre la estructura de las bandas definidas por la ITU. Estas bandas se les denomina en el proyecto y aplicativo como rangos de frecuencia.
- La zonas territoriales del Colombia se dividen en entes territoriales, departamentos y municipios.
- La base de datos sólo contiene la información relevante para el proyecto, los datos de rangos de frecuencia y servicios han sido extraídos del cuadro nacional de atribución de frecuencias.

Capítulo 4

Modelo de asignación de canales

4.1. Anotaciones sobre el modelo

La asignación en una banda se representa en una matriz de n operador por c canales, donde la posición i, j representa la asignación del operador i en el canal j . La asignación se representa con un dato binario de la siguiente forma:

- 0 si está libre.
- 1 si está asignado a un operador.

En la figura 4.1 se puede observar un ejemplo de una asignación para una banda con 9 canales y 3 operadores.

		Canales								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Operadores	Op1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Op2	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Op3	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Figura 4.1: Ejemplo de representación de asignación en una banda.

4.2. Datos de entrada

Las variables de entrada representan el estado actual del modelo, en otras palabras la asignación actual del espectro en una banda de interés.

- C : Número de canales en la banda.
- O : Número de operadores en la banda que requieren asignación.
- N : Número de operadores presentes en la banda.
- $OPp = \{o_1, o_2, \dots, o_k\}$: Conjunto de etiquetas que representan los operadores presentes en la banda.
- $OPi = \{oi_1, oi_2, \dots, oi_k\}$: Conjunto de operadores que solicitan canales.

Si $oi_k \in OPp$,
es un operador antiguo;
sino, es un operador nuevo.

- $OPt = \{OPp \cup OPi\}$: ^{guitar} son las etiquetas de los operadores presentes en la banda y 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 $1 \leq c \leq C$.
- $B_{co}^I \in [0, 1]$: Indica si en el canal c de la banda se encuentra asignado el operador o donde $1 \leq c \leq C, o \in OPp$.
- $Req_k = [(o_1, nr_1), (o_2, nr_2), (o_k, nr_k)]$: ^{guitar} (o, nr) indica que el operador ^{guitar} 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 este valor es 1).
- $CAC \in [0, 1]$: Indica si se conserva asignación actual de operadores que solicitan canales. Su valor por defecto es 1.

4.3. Variables de decisión

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 $1 \leq c \leq C, o \in OPt$

4.4. Variables usadas en restricciones y estrategias de búsqueda

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

- $EC_c \in [0, 1]$ que define si el canal c está libre ^{guitar} o ocupado.

$$(\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}) \sum_{o \in OPt} B_{co}^O + CP_c < 1 \leftrightarrow EC_c = 1$$

El canal c se encuentra libre si y sólo si $EC_c = 1$

- $CAO_{co} \in [0, 1]$: Si para un operador o se cumple $B_{co}^O \neq B_{(c+1)o}^O$ y $c < C$ entonces $CAO_{co} = 1$ en caso contrario $CAO_{co} = 0$, para el caso donde $c = C$ y $B_{co}^O = 1$ entonces $CAO_{co} = 1$ en caso contrario $CAO_{co} = 0$, donde: $1 \leq c \leq C, o \in OPt$.

- CLM_c : Define el tamaño de los CLM_c que libres, si $CLM_c = EC_c$, si $c > 1$ y $EC_c = 1$ entonces $CLM_c = 1 + CLM_{c-1}$; en caso contrario $CLM_c = 0$, donde $1 \leq c \leq C$
- $CLMmax = \max\{CLM_c: 1 \leq c \leq C\}$
- $CAI_c \in [0, 1]$: Para un canal c y un operador o si $B_{co}^O = 1$ y $B_{(c+1)o}^O = 0$, entonces $\forall i \in [1, \dots, Sep]$ en caso de que $B_{co}^O = 1$ y $B_{(c-1)o}^O = 0$ entonces $\{CAI_{c-1}, CAI_{c-sep}\} = 1$ el resto de elementos son 0, donde $1 \leq c \leq C$. En caso de que $R > 1$ o $Sep = 0$, entonces $\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, CAI_c = 0$

4.5. Restricciones

4.5.1. Restricciones triviales

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

$$CAC = 1 \rightarrow \forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \in \{OPp \cap OPi\} B_{co}^I = 1 \rightarrow B_{co}^O = 1 \quad (4.1)$$

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

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \in \{OPp \setminus OPi\} B_{co}^I \neq B_{co}^O \quad (4.2)$$

Máximo R operadores por canal

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\} \sum_{o \in OPt} B_{co}^O + CP_c = R \quad (4.3)$$

En el caso que un canal esté reservado o marcado como inutilizable, no puede ser asignado a ningún operador que requiere asignación

$$\forall c \in \{1, 2, \dots, C\} CI_c + CR_c > 1 \rightarrow \sum_{o \in OPi} B_{co}^O = 0 \quad (4.4)$$

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

$$\forall o \in \{OPi \setminus OPp\} \sum_{c=1}^C B_{co}^O = Req_o \quad (4.5)$$

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.

$$\forall o \in \{OPi \cap OPp\} \sum_{c=1}^C B_{co}^O = \sum_{c=1}^C B_{co}^I + Req_o \quad (4.6)$$

4.5.2. Restricciones co-canal

Debe existir una distancia de Sep entre dos canales asignados a operadores que solicitan asignación diferentes.

$$R = 1 \rightarrow (\forall o \in OPi, \forall o' \in OPt, \forall s \in \{1, 2, \dots, Sep\}, \forall c \in \{1, 2, \dots, C\}, o \neq o') \\ (B_{co}^O + B_{(c \pm s)o'}^O \leq 1) \quad (4.7)$$

4.5.3. Restricciones legales

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

$$(\forall o \in OP_i) \sum_{c=1}^C B_{co}^O + AP_{o_o} \leq Tope \quad (4.8)$$

4.6. Cálculo de costos

4.6.1. Número de cambios de asignación de canales para un operador

Los cambios en los canales asignados a un operador $Cost_1$, se calcula de acuerdo a la ecuación 4.9

$$Cost_1 = \lceil \frac{1}{2} * \sum_{o \in OP_i} \sum_{c=1}^C CAO_{co} \rceil \quad (4.9)$$

Para esta función se toma como número de bloques la mitad del cálculo realizado en CAO_{co} que este cuenta los límites de cada bloque, sin embargo, en el caso que el primer bloque inicia en la posición 1 de la banda, no se cuenta, por lo que se toma el techo de este cálculo, ya que en ese caso da un número impar.

Justificación

El número de cambios en la asignación de un operador representan costos adicionales en la práctica ya que debe adquirir equipos adicionales para trabajar en canales que se encuentran separados, por lo tanto, es ideal dar a un operador un bloque contiguo en la asignación para reducir costos.

4.6.2. Diferencia entre el número de canales y el mayor bloque de canales libres

La diferencia entre el número de canales de una banda y el tamaño del mayor bloque libre $Cost_2$ se calcula de acuerdo a la ecuación 4.10.

$$Cost_2 = C - CLM_{max} \quad (4.10)$$

Justificación

Se busca que la asignación en una banda considere dejar un bloque de canales libres, para facilitar la asignación en futuros requerimientos, debido a que no se conoce cuantos canales se van a necesitar y se desea realizar la mejor asignación posible para esos requerimientos.

4.6.3. Número de canales inútiles

Un canal libre es marcado como inutilizado cuando no puede ser asignado a ningún operador debido a la separación mínima exigida. En la ecuación 4.11 se muestra cómo calcular este costo.

$$Cost_3 = \sum_{c=1}^C CAI_c \quad (4.11)$$

Justificación

En la asignación se debe buscar que el número de canales inutilizados por la separación sea la mínima posible debido a que esto representa un desperdicio de canales que no pueden ser asignados.

4.6.4. Costo total

El costo total se calcula a partir de la suma unos pesos entre 1 y 100 especificados por el usuario conocidos como $peso_1, peso_2, peso_3$ multiplicado por cada uno de los costos.

$$Cost_T = peso_1 * Cost_1 + peso_2 * Cost_2 + peso_3 * Cost_3 \quad (4.12)$$

4.7. Justificación del modelo

4.7.1. Uso de matrices y codificación binaria de dominios

El uso de matrices permite modelar con más precisión algunas restricciones, como es el caso de la separación y posibilita que **en** canal este asignado a más de un operador a diferencia del caso de una lista de canales.

El uso de dominios binarios permite modelar con mayor facilidad las restricciones de tope, separación entre operadores diferentes y de no asignar **en** canales marcados como asignados y reservados. Además hace posible el uso de marcadores para los canales como reservado, inutilizado y asignado en división sin hacer uso de artilugios propios de la implementación, como codificarlos como operadores virtuales.

4.7.2. Tipos de restricciones

Los tipos de restricciones **ha** sido extraídos de la solución al problema de *channel assignment* [4] y del uso de topes por operador por parte del gobierno nacional colombiano [24].

Se definen los tipos de restricciones así:

- **Restricciones co-canal:** Son aquellas restricciones aplicadas a transmisores ubicados dentro de una pequeña zona, se asume en el modelo que un operador tiene transmisores en toda una zona geográfica, por lo tanto se debe garantizar una separación entre dos operadores diferentes.
- **Restricciones triviales:** Garantizan se respete la asignación actual de los operadores, las asignaciones no se pueden mover en principio por los enormes costos que se generan en ese proceso.
- **Restricciones legales:** La única restricción que se toma es la de topes por operador, no se evalúa calidad de servicio ni potencia de emisiones, eso es objeto de estudio futuro.

4.7.3. Limitaciones de encontrar soluciones óptimas

Con el modelo se pueden obtener soluciones óptimas para la asignación en una zona determinada, pero no en cada una de las divisiones de esa zona, por ejemplo, para el caso de los departamentos la asignación obtenida a nivel departamental cumplirá todas las restricciones y tendrá el mejor costo, pero no necesariamente es así para los municipios que componen el departamento ya que al no considerar el detalle, un operador puede quedar con una asignación con un peor costo que la solución óptima considerando cada uno de los municipios.

Esta decisión fue tomada debido al gran tamaño que tomaban las entradas al considerar el detalle de las divisiones territoriales, dificultaban su lectura y manejo en el aplicativo, además complica enormemente el modelado del problema ya **en** las restricciones deben considerar las asignaciones en cada una de las divisiones de la zona geográfica, en su lugar se ha optado por marcar los canales como asignados si alguna de las divisiones del territorio está asignado.

Capítulo 5

Consideraciones para implementación del modelo

Para realizar el proceso de implementación del proyecto se debe tomar en cuenta los pasos especificados en la metodología para aplicaciones Web del grupo Avispa [1].

En este capítulo se dan las pautas más relevantes para la implementación de la aplicación que son:

- Formatos de entradas y salidas.
- Parámetros de las aplicaciones.

5.1. Formato de entradas

A continuación se va definir el formato de las entradas para los aplicativos del proyecto, un ejemplo de entrada puede ser consultado en el anexo entradas de ejemplo ubicado en la página 70.

5.1.1. Formato general

Para las entradas se utiliza el formato XML usando la especificación *dict* de XCSP[25].

Para definir una entrada de acuerdo al formato *dict*, se debe asociar un orden convencional a un diccionario. Este orden convencional especifica un orden de llaves que pueden ser usadas para acortar notaciones. Mientras el grupo de llaves pueda ser conocido desde el contexto, los valores de cada llave puede ser escrito en un notación abreviada listando los valores de cada llave que son conocidas en el diccionario.

Por ejemplo, las coordenadas de un punto pueden ser representadas por un diccionario que contiene dos llaves *x* e *y* con valores (2,5) respectivamente.

```
<dict>
<entry key="x"><i>2</i></entry>
<entry key="y"><i>5</i></entry>
</dict>
```

5.1.2. Especificación de llaves

Para el proyecto se han definido las siguientes llaves:

Tabla 5.1: Estructura de llaves en las entradas

Llave	Descripción
GeograficAssignmentType	Tipo de asignación geográfica, 0 indica nacional, 1 territorial o regional, 2 departamental y 3 municipal.
GeograficAssignmentID	ID o llave de la entidad territorial, en el caso de asignación nacional este valor es 0.
FrequencyBand	ID o llave banda de frecuencia de trabajo.
FrequencyRank	ID o llave del rango de frecuencia o banda específica de trabajo.
NumberChannels	Número de canales que tiene la canalización del rango de frecuencia.
NumberPresentOperators	Número de operadores que tienen asignación actualmente en el rango de frecuencia.
NumberOfOperatorWithRequirements	Número de operadores que requieren asignación.
ChannelSeparation	Separación mínima de canales entre dos operadores diferentes.
PresentOperators	Lista de operadores que tienen asignación en la banda actualmente.
OperatorsWithRequeriments	Lista de operadores que requieren asignación.
Requeriments	Lista de los requerimientos en canales que tienen los operadores que requieren asignación.
MaxAssignationsSubDivision	Lista que indica el máximo número de canales que tiene asignado en una división del área geográfica cada operador que solicita asignación.
ChannelAssignInDivisions	Indica que canales están asignados en las divisiones del área geográfica.
ReservedChannels	Indica que canales están reservados en las divisiones del área geográfica.
DisabledChannels	Indica que canales están deshabilitados en las divisiones del área geográfica.
ChannelAssignment	Matriz que especifica la asignación actual para los operadores presentes.
MaxChannelAssignmentByOperator	Indica el máximo número de canales que puede tener asignado un operador en la banda.

5.2. Formato de salidas

A continuación se definen la estructura de salidas que se va a utilizar en el aplicativo, un ejemplo puede ser consultado en el anexo salida de ejemplo ubicado en la página 72.

5.2.1. Formato general

A partir de la metodología la estructura de la salida XML es la siguiente:

1. Raíz del documento:

```
<solutions>
</solutions>
```

2. Se establece un encabezado donde se encuentra la información de la ejecución de la aplicación:

```
<head>
</head>
```

3. Se estructura cada solución encontrada de la siguiente forma:

```
<solution id="n">
</solution>
```

n indica el número de la solución, estas se encuentran ordenadas de acuerdo al mejor costo.

4. Se colocan los costos de cada solución y el reporte de la salida.

```
<solution>
  <costs> ...
</costs>
  <report> ...
</report>
</solution>
```

Los campos de información de ejecución permiten evaluar el desempeño de la aplicación.

Tabla 5.2: Campos de información de ejecución en general.

Campo	Descripción
numSolutions	Número de soluciones encontradas.
memoryUsage	Uso del memoria del aplicativo.
executionTime	Tiempo de ejecución.

Los campos propios de la aplicación de programación por restricciones describen algunos aspectos de la ejecución usando programación por restricciones.

Tabla 5.3: Campos de información de ejecución usando programación por restricciones.

Campo	Descripción
considerTop	Indica si se considera la restricción del tope de canales en la ejecución.
staticAssignment	Especifica si la asignación de canales de los operadores que requieren asignación se mantiene.
considerSeparation	Muestra si en la ejecución se ha tomado en cuenta la separación de canales de operadores diferentes.
spacesCreated	Número de espacios computacionales creados en la ejecución.
spacesSucceeded	Número de espacios computacionales exitosos en la ejecución.
FDVariables	Número de variables de estado finito creadas en la ejecución.
propagators	Número de propagadores creados durante la ejecución.

5.2.2. Campos de una solución

En el reporte de una solución tiene dos campos de información, el primero que son los costos de la solución y el segundo que es el reporte de la solución.

Campos de los costos de una solución

Tabla 5.4: Campos de costos de una solución.

Campo	Descripción
blocksNumber	Número de bloques existentes en la solución.
difChannelNumberMaxBlockFree	Diferencia entre el tamaño del bloque libre más grande y el número de canales.
channelNumberUseless	Número de canales inutilizados por separación.
totalCost	Costo total de la solución, que consiste en sumar los anteriores costos multiplicados cada uno por un peso especificado por el usuario.
violations	Número de violaciones a las restricciones. Sólo aplica en algoritmo genético.

Campos de reporte de una solución

Tabla 5.5: Campos de información de un reporte de una solución específica.

Campo	Descripción
operator	Indica cual es la asignación del operador.
channels	Asignación final para un operador dado.

5.3. Parámetros de las aplicaciones

Los parámetros de las aplicaciones se especifican así:

Tabla 5.6: Parámetros generales para la aplicación

Parámetro	Descripción
– – <i>file</i>	Ruta del archivo de entrada.
– – <i>o</i>	Ruta archivo de salida.
– – <i>tm</i>	Tiempo de ejecución máximo de la aplicación.
– – <i>pnb</i>	Peso del costo número de bloques.
– – <i>psm</i>	Peso del costo diferencia entre número de canales y el tamaño del bloque más grande libre.
– – <i>pnc</i>	Peso del costo de número de canales inutilizados.
– – <i>ns</i>	número máximo de soluciones que se escriben en la salida

5.4. Información del cuadro nacional de atribución de frecuencias.

Para realizar la gestión del espectro se debe sistematizar el cuadro nacional de atribución de frecuencias [8]. En este proyecto se realizan los siguientes tareas para realizar éste proceso.

1. Abstracción del cuadro nacional de atribución de frecuencias tomando en cuenta los alcances del proyecto definidos en el capítulo 3.
2. Diseño de la base de datos de acuerdo a la abstracción del cuadro nacional de atribución de frecuencia.
3. Creación de datos de prueba para la aplicación prototipo.

5.4.1. Abstracción.

De acuerdo a los alcances del proyecto, se abstrae el cuadro nacional de atribución de frecuencias [8] bajo las siguientes consideraciones:

- Se utilizan los rangos de frecuencia definidos por servicios en el cuadro nacional de atribución de frecuencias, excepto para servicios marítimo móvil y fijo.
- Se emplean las grandes bandas de frecuencia HF, VHF, UHF, SHF, EHF para agrupar los diferentes rangos de frecuencia de acuerdo a su frecuencia inicial.
- La asignación es jerárquica territorialmente, es decir que una asignación nacional aplica en todo el territorio colombiano, una departamental en sus municipios y así sucesivamente.
- Para la división territorial se toma en cuenta las estaciones monitoras fijas del cuadro nacional de atribución de frecuencias y la organización territorial de Colombia [26] tomando la estructura de departamentos y municipios.

5.4.2. Diseño de la base de datos.

Para el diseño de la base de datos se toma en cuenta lo siguiente:

- Los rangos de frecuencias son elementos de los grandes bandas de frecuencia. Cada rango tiene autorizado uno o más servicios.
- Los canales son elementos de los rangos de frecuencia.
- Una asignación es una entidad especializada por tipo: nacional, territorial, departamental y municipal.
- Para determinar una asignación en una entidad territorial debe tomarse en cuenta las asignaciones en las entidades a las cuales ésta pertenece hasta llegar a las asignaciones nacionales.
- Los operadores prestan uno o más servicios.

De acuerdo a lo anterior, se define el modelo entidad relación de la base de datos, el cual puede se consultando en el anexo modelo entidad relación en la página 74.

5.4.3. Datos de prueba en la aplicación prototipo.


En la tabla 5.7 se muestran los diferentes datos que se encuentran en la base de datos y su fuente, es de anotar que algunos han sido  los por la imposibilidad de obtenerlos de la ANE.

Tabla 5.7: Datos de prueba de la aplicación prototipo

Dato	Fuente
Bandas de frecuencia	Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias página 47.
Rangos de frecuencia	Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias páginas 246-253, 272-275 y 279-418.
Servicios	Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias páginas 23-27.
Servicios por rango de frecuencia	Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias páginas 51-141.
Operadores	Operadores concodios que utilizan el espectro conocidos en Colombia que prestan servicios en el espectro.
Servicios por operador	Ninguna.
Tope por operador en rango de frecuencia	Ninguna.
Separación en rango de frecuencia	Ninguna.
División territorial o regiones	Para las regiones se utiliza la definición del cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias en el anexo II estaciones monitoras fijas.
Lista de departamentos y municipios	Biblioteca virtual del Banco de la República de Colombia [27], actualizada al 2005.
Asignación actual	Ninguna.

Capítulo 6

Implementación del modelo usando programación por restricciones

En este capítulo se muestran los aspectos más relevantes del proceso de implementación, se aplican estrategias de búsqueda y distribución se usaron, la estructura del aplicativo y se realizan algunos apuntes con respecto al proceso de implementación que deben ser tenidos en cuenta al momento de utilizar la aplicación.

Las estrategias de búsqueda y distribución son propias del proceso de programación por restricciones, donde se busca mejorar el proceso de ejecución del aplicativo para encontrar las soluciones óptimas más rápidamente.

La flexibilidad y debilidad en las restricciones permite encontrar soluciones en instancias del problema que no cumplen las restricciones, a lo largo de éste capítulo se describe cómo se implementaron.

6.1. Estrategias de distribución

Las estrategias de distribución están enfocadas a mejorar el rendimiento del algoritmo de búsqueda, es diseñadas para agilizar el proceso de gestión del espectro a partir de conocer las características propias de una banda específica, por ejemplo, si esta se encuentra ocupada al inicio, lo más recomendable es intentar asignar al inicio, ya que la mejor solución de acuerdo a los costos definidos en el modelo buscan que los bloques libres sean lo más grandes posibles.

Para definir las estrategias de distribución se crean las siguientes variables auxiliares:

- *Req* es la lista de requerimientos, es una lista de tuplas que contiene los elementos (o_i, nr_i) , donde nr_i es el número de canales requeridos por el operador i .
- *ReqA* es la sublista de *Req* que contiene lo correspondiente a los operadores que ya tienen asignación en la banda. Es decir: (o_i, nr_i) está en esta lista si $o_i \in \text{OPp} \cup \text{OPi}$.
- *NReqA* es la sublista de *Req* que contiene lo correspondiente a los operadores que no tienen asignación en la banda. Es decir: (o_i, nr_i) está en esta lista si $o_i \in \text{OPp} \cup \text{OPi}$.

- *MayorReq* es la lista de requerimientos ordenada de mayor a menor de acuerdo al número de canales solicitados por cada operador.
- *MenorReq* es la lista de requerimientos ordenada de menor a mayor de acuerdo al número de canales solicitados por cada operador.

En la tabla 6.1 se especifican los diferentes estrategias de distribución usados en el proyecto.

Tabla 6.1: Estrategias de distribución

Estrategia	Descripción
Asignar primero al inicio de la banda	Se toman los requerimientos <i>Req</i> en orden de llegada, se toma el primer requerimiento y se intenta asignar en el primer canal de la banda, si no es posible en el segundo y así sucesivamente; una vez se ha cumplido el primer requerimiento se prosigue con el segundo hasta tomar todos los requerimientos.
Asignar primero al final de la banda	Se toman los requerimientos <i>Req</i> en orden de llegada, se toma el primer requerimiento y se intenta asignar en el último canal de la banda, si no es posible en el penúltimo y así sucesivamente; una vez se ha cumplido el primer requerimiento se prosigue con el segundo hasta tomar todos los requerimientos.
Asignar primero a operadores en orden de llegada con asignación al inicio de la banda	Se intenta asignar canales al inicio de la banda a la lista de requerimientos <i>ReqA</i> y luego a <i>NReqA</i> .
Asignar primero a operadores en orden de llegada con asignación al final de la banda	En este caso se asignar canales al final de la banda a la lista de requerimientos <i>ReqA</i> y luego a <i>NReqA</i> .
Asignar primero a operadores sin asignación al inicio de la banda	En este caso se asignar canales al inicio de la banda a la lista de requerimientos <i>NReqA</i> y luego a <i>ReqA</i> .
Asignar primero a operadores sin asignación al final de la banda	En este caso se asignar canales al final de la banda a la lista de requerimientos <i>NReqA</i> y luego a <i>ReqA</i> .
Asignar primero a requerimientos más grandes al inicio de la banda	A partir de <i>MayorReq</i> se realiza el proceso de asignación intentado asignar a partir del inicio de la banda.
Asignar primero a requerimientos más grandes al final de la banda	A partir de <i>MayorReq</i> se realiza el proceso de asignación intentado asignar a partir del final de la banda.

Asignar primero a requerimientos más pequeños al inicio de la banda	A partir de <i>MenorReq</i> se realiza el proceso de asignación intentado asignar a partir del inicio de la banda.
Asignar primero a requerimientos más pequeños al final de la banda	A partir de <i>MenorReq</i> se realiza el proceso de asignación intentado asignar a partir del final de la banda.
Estrategia genérica: ff	Intenta asignar la primera variable de la lista, donde el domino es más pequeño, por el menor valor del dominio es decir 0.
Estrategia genérica: naive	Intenta asignar la primera variable de la lista, por el menor valor del dominio es decir 0.
Estrategia genérica: split	Intenta asignar la primera variable de la lista, por el valor medio del dominio es decir 1.

6.2. Estrategias de búsqueda

Las estrategias de búsqueda utilizadas en el aplicativo se muestran en la tabla 6.2. La función objetivo en los costos consiste en encontrar la solución con el costo mínimo.

Tabla 6.2: Estrategias de búsqueda

Estrategia	Función
Buscar mejor solución minimizando el número de cambios de asignación de canales para un operador	$\min(cost_1)$
Buscar mejor solución minimizando la diferencia entre el número de canales y el mayor bloque de canales libres	$\min(cost_2)$
Buscar mejor solución minimizando el número de canales inútiles	$\min(cost_3)$
Buscar por mejor costo total	$\min(cost_T)$
Ninguno	No hay criterio de selección para la mejor solución

6.3. Debilidad y flexibilidad de restricciones

Existen algunas instancias del problema que no cumplen una o más restricciones, por lo tanto, se diseñan estrategias de flexibilidad y debilidad de restricciones para realizar su procesamiento.

6.3.1. Restricciones flexibles

La flexibilidad en las restricciones consiste en que algunas entradas del problema toman valores que deshabilitan el efecto de una o más restricciones del problema.


No considerar tope

En este caso $Tope = C$, se fuerza a que el tope máximo de cada operador sea el número de canales de la banda.

No considerar separación entre canales

En este caso $Sep = 0$, es decir que la separación entre canales de operadores diferentes es cero.

Frecuencias asignadas a operadores con requerimientos se pueden mover




Se toma $CAC = 0$, lo que evita serva la asignación de los operadores que solicitan canales.

Más de un operador por canal

Se cumple $R > 1$, en este caso también $Sep = 0$, ya que no tiene sentido considerar separación en un caso donde varios operadores pueden compartir un canal.

6.3.2. Debilidad de restricciones

La estrategia utilizada en el proyecto para manejar fortaleza y debilidad de las restricciones, consiste en permitir al usuario elegir que restricciones son flexibles, en seis posibles iteraciones.

Cada iteración es independiente de las otras, usuario define q restricciones flexibiliza en cada una de ellas y a partir de los resultados de cada una elige c tomar como solución final.

Las iteraciones en el aplicativo se ejecutan al mismo tiempo debido a que son independientes entre sí y los resultados de cada una son desplegados al usuario.

6.4. Diseño e implementación del aplicativo

6.4.1. Estructura de la aplicación

La aplicación se diseña de acuerdo a la siguiente arquitectura:

- **Vista:** Son las interfaces Web que tiene la aplicación. Para mayor información consultar capítulo 8. Esta en el proyecto es provista por el sistema de gestión de contenido Drupal[28].
- **Comunicación:** Provee las funciones necesarias para comunicar las capas vista y ejecución. En el proyecto son las funciones escritas en diferentes archivos auxiliares usando lenguajes *PHP* y *JavaScript* que permiten tomar la información provista por el usuario y procesarla.
- **Ejecución:** Son los algoritmos y funciones que toman los datos provistos por la capa de comunicación y envía información para ser desplegada al usuario. En el proyecto es básicamente los programas escritos en *Mozart OZ*[29] para la aplicación por programación por restricciones y *C++* para el caso de la aplicación por algoritmos genéticos.

- **Persistencia:** Está compuesta por la base de datos y la estructura de archivos en el servidor donde se almacena información de forma consistente. El proyecto está compuesta por los archivos de entrada en formato XML, archivos de salida en formato XML y la base de datos que abstrae el cuadro nacional de atribución de frecuencias.

6.4.2. Parámetros de la aplicación.

Los parámetros propios de la aplicación usando programación por restricciones están definidos en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Parámetros aplicación por restricciones

Parámetro	Función
<code>--motor</code>	Seleccionar motor de búsqueda, número entero entre 1 y 10
<code>--es</code>	Elegir estrategia de distribución.
<code>--rc</code>	Nivel de recomputación.
<code>--nmas</code>	Campo binario, si es 1 no se mantienen asignaciones actuales de operadores que solicitan asignación, en caso contrario las mantiene.
<code>--ntope</code>	Campo binario, si es 1 se flexibiliza la restricción de tope por operador.
<code>--nsep</code>	Campo binario, si es 1 no se considera la separación mínima de canales entre operadores diferente.
<code>--nopc</code>	Campo entero positivo mayor que cero, indica el número de operadores permitido por canal.

6.4.3. Módulos del aplicativo

La aplicación cuenta con diferentes módulos con funciones específicas para realizar los procesos de:

- Lectura de entrada XML.
- Imposición de restricciones.
- Implementación de estrategias de búsqueda.
- Implementación de estrategias de distribución.
- Generación de salidas XML.

Aplicación.

En la figura ubicada en el anexo diagrama de flujo en la página 73 se describe el proceso de ejecución del aplicativo del proyecto basado en programación por restricciones y escrito en lenguaje *Mozart OZ*.

Conversor de entradas.

Para la conversión de entradas se hace uso del *Parser* conocido como *XML Parser*, que permite tomar una estructura de archivo en formato XML y transformarlo en un árbol de etiquetas que facilita la extracción de la información.

Restricciones.

Las restricciones son escritas usando el módulo de dominios finitos de *Mozart OZ* conocido como *FD*. Se hace uso de condicionales para imponer la flexibilidad de restricciones.

Cálculo de costos.

Para el cálculo de costos se hace uso de las funciones reificadas del módulo *FD*. Es importante aclarar que una restricción reificada presenta una salida binaria, es decir, 0 si no se cumple o 1 si se cumple, más no es una restricción que se imponga en la ejecución, es decir si ésta falla la ejecución continúa sin problema.

En el proyecto se encontraron estas restricciones especialmente útiles para calcular los costos de cada solución.

Funciones auxiliares.

Existen algunas funciones auxiliares que se mencionan brevemente en la tabla 6.4.

Tabla 6.4: Funciones auxiliares

Función	Descripción
Trasponer Salida	Permite trasponer la matriz de la variable de decisión para efectos de facilitar la escritura de algunas restricciones
Cálculo de variables auxiliares	Permite el cálculo de variables como es el caso de <i>ECC</i> .
Sumar estructura	Permite calcular la suma de una fila de una matriz o bien de una lista. Muy útil para el cálculo de costos.

Estrategias de búsqueda.

Las diferentes estrategias de búsqueda hacen uso de la posibilidad que provee *Mozart* de comparar dos soluciones *A* y *B*, eligiendo cuál es mejor.

En el caso del aplicativo, se encuentra inicialmente una solución y se compara ésta hasta que se encuentre una mejor. A la vez se ha encontrado una mejor ésta se compara con las que se encuentran más adelante.

Distribuidores

Las distribuidores hacen uso del entorno $\{Space.waitStable\}$ que permite esperar la ejecución hasta que el espacio de búsqueda es estable, es decir en el momento que se puede empezar a asignar valores o dominios a las diferentes variables.

Para realizar el proceso de cada uno de los distribuidores que han sido especificadas en la tabla 6.1 se hace uso de las restricciones reflejadas, que permiten imponer restricciones con respecto a la propagación de las variables. Por ejemplo, si el dominio tiene cierto tamaño o cuántas variables han sido asignadas en una estructura de datos; estas restricciones presentan una salida binaria, se cumple o 1 si se cumple.

Gracias al uso de restricciones reificadas se puede hacer uso de ciclos, filtros y condicionales sin problema.

Generador de salidas XML

La salida se construye a partir de la información provista por la salida del proyecto que se encuentra en estructuras de datos propias de *Mozart OZ* usando una librería conocida como *VirtualString*.

La construcción de la salida se realiza de acuerdo a lo especificado en la sección del presente documento.

6.5. Anotaciones sobre la implementación

6.5.1. Número de variables de dominios finitos y propagadores

En la ejecución del aplicativo se genera un gran número de variables de dominios finitos por:

- Estructura de matriz de la variable de decisión.
- Operaciones de trasponer esta matriz.
- Variables auxiliares para el cálculo de costos.
- Variables auxiliares para estrategias de búsqueda.
- Variables auxiliares para estrategias de distribución.
- Tamaño del árbol generado.

Se ha encontrado que se genera un gran número de variables de estado finitos y propagadores, no es posible realizar un cálculo estimado de cuántas se genera en una instancia dada del problema, pero se espera un gran número debido a la forma en que se ha implementado el aplicativo.

6.5.2. Tamaño de entradas

La mayor entrada corresponde a una asignación de 831 canales, que corresponde a la banda de 800MHz, sin embargo el *storage* de *Mozart OZ*, presenta ciertas limitaciones que al ser desbordadas generan un problema de memoria que produce un error en el aplicativo y lo cierra de inmediato.

Este problema fue encontrado al inicio del proyecto cuando se intentó manejar una entrada con los detalles de las divisiones geográficas, por lo que se debe tener presente para futuros desarrollos usando como base la aplicación presentada en este proyecto de grado.

6.5.3. Errores conocidos del aplicativo

Los errores conocidos del aplicativo son:

- Si se usa una versión antigua de un navegador, los reportes no se verán por la incompatibilidad de la funciones de JavaScript.
- Si una entrada no es válida no se generará archivo de salida, mostrándose un mensaje de error. Para éste efecto se ha creado un generador de entradas, debido a la complejidad de la estructura de la misma.

Es posible tan más errores, embargo estos son los más relevantes y que no pueden ser resueltos desde el proceso de implementación de la aplicación prototipo.

6.5.4. Consideraciones para implementación usando programación por restricciones

Es necesario contar con la versión *1.4.0* de *Mozart OZ* debido a que el *Parser XML* ha sido implementado para ésta versión, durante el proyecto se encontró el problema que el servidor de AVISPA, contaba con la versión *1.3.6* que no tiene implementado el *Parser XML*, solución fue instalar en una carpeta aparte la versión *1.4.0* y usar las funciones *putenv()* y *setenv()*¹ que permiten configurar las variables de entorno, en específico la variable *PATH* para direccionar la ejecución hacia la versión actualizada.

¹'Para mayor información consultar documentación de PHP disponible en <http://www.php.net/manual/es>, consultado Noviembre 2012'

Capítulo 7

Implementación del modelo usando un algoritmo genético

En el proyecto se ha desarrollado un método alternativo de solución usando el modelo y la metodología para aplicaciones Web del grupo Avispa, esto es para mostrar que el modelo desarrollado en el proyecto puede ser aplicado en otras metodologías que permiten solucionar el problema de asignación de frecuencias.

El algoritmo propuesto en éste capítulo se basa en un método genético para solucionar el problema de *channel allocation* [30].

7.1. Diseño del algoritmo genético

7.1.1. El algoritmo

El diseño del algoritmo genético tiene los siguientes pasos:

- Definición del individuo.
- Función de aptitud.
- Criterio de selección.
- Criterio de cruce.
- Criterio de mutación.
- Selección de individuos para la próxima generación.
- Criterio de parada.

El objetivo del algoritmo es minimizar el costo de la solución.

El individuo

El individuo es una cadena de caracteres con ceros y unos de tamaño N por $T = \text{card}(\text{Opt})$, que representa la asignación final.

Función de aptitud

El costo total se define tomando en cuenta:

- $Cost_T$ de la ecuación 4.12.
- C número de canales.
- NR_e número de restricciones que la solución infringe.

$$CostGen_T = 10000 * T * C * NR_e + Cost_T \quad (7.1)$$

En la ecuación se busca darle un mayor costo a una solución que presente infracciones a las restricciones del modelo, pero se presentan algunos problemas que se explican en la sección 7.1.2.

Para definir la función de aptitud se normalizan los costos de la población de acuerdo a una curva Gaussiana con desviación estándar 1.5. Se hace un corte de acuerdo al método de *sigma truncation*[31].¹

Criterio de selección

La selección se hace por ruleta², para seleccionar un número de individuos igual al de la población inicial.

Criterio de cruce

Los individuos se cruzan con una probabilidad especificada por el usuario. Se utiliza el criterio de reemplazo por inserción³ para generar dos individuos hijos por pareja de individuos padres.

Criterio de mutación

Se selecciona un individuo de acuerdo a una probabilidad especificada por el usuario y se cambia el valor de uno de sus campos elegido con una función pseudoaleatoria, si el campo contiene un cero se cambia por uno y viceversa.

Selección individuos próxima generación

Se seleccionan los individuos generados con el criterio de cruce y un número de los mejores padres para completar el tamaño inicial de la población, así generación tras generación el tamaño de la población es estable.

Criterio de parada

Se realiza de acuerdo a un tiempo de ejecución especificado por el usuario.

¹El método de sigma *sigma truncation* consiste en descartar los individuos cuya función de aptitud sea peor que cierto valor de desviación estándar.

²La selección por ruleta utiliza un número aleatorio r y el tamaño de la población inicial P para generar $r_j = \frac{r+j-1}{j} \forall j = 1, \dots, P$

³El reemplazo por inserción, significa tomar cierto porcentaje de características de cada individuo y mezclarlas para generar uno o más individuos hijos

7.1.2. Problemas de modelado

Debido a la formula de la función de aptitud, el algoritmo teóricamente debe presentar el problema de mínimos locales, en este caso se presentaría en el momento que no se tenga infracciones a las restricciones y se tenga un costo que no es el óptimo, el algoritmo puede quedar atrapado allí debido a que para obtener un mejor costo debe pasar por un proceso que implica tener costos muy por encima del obtenido en ese punto.

Para enfrentar ese problema el usuario puede decidir cuantas veces ejecutar el algoritmo para aumentar su precisión.

7.1.3. Valores recomendados

En la siguiente tabla se muestran los parámetros recomendados de acuerdo al método de solución propuesto [30].

Tabla 7.1: Valores recomendados para la aplicación basada el algoritmos genéticos

Parámetro	Valor
Número de individuos.	20-40.
Probabilidad de cruce individuo seleccionado	90 % (0.9).
Probabilidad mutación	2 % (0.02).
Valor de sigma	1.5 desviación estándar.

7.2. Diseño e implementación de la aplicación

De acuerdo a lo especificado en el capítulo 5, se realizan algunos ajustes para permitir la implementación bajo el criterio de un algoritmo genético.

7.2.1. Parámetros de la aplicación

A partir de la metodología para aplicaciones Web del grupo Avispa se han definido los siguientes parámetros para la aplicación:

Tabla 7.2: Parámetros para la aplicación basada el algoritmos genéticos

Parámetro	Función
— n	Número de veces que se ejecuta el algoritmo.
— p	Población inicial.
— ec	Probabilidad de cruce, entre 0 y 100.
— em	Probabilidad de mutación, entre 0 y 100.

7.2.2. Formato entradas

Debido a que en el lenguaje *C++* no es fácil de forma nativa realizar la lectura de entradas en formato XML, se ha definido una entrada propia para la aplicación, que se obtiene a partir de un proceso de conversión que realiza el módulo de conversor de entradas que se explica en la sección 7.2.3. El formato de la entrada es el siguiente:

```
Total de canales
Numero de operadores presentes
Numero de operadores que requieren asignacion
Numero total de operadores
Numero de operadores presentes que no solicitan asignacion
Numero de operadores presentes que solicitan asignacion
Operadores que solicitan asignacion
Requerimientos de operadores que solicitan asignacion
Numero de operadores que no están presentes y solicitan asignacion
Lista de operadores presentes en la banda
Lista de operadores actuales que no solicitan asignacion
Lista de operadores actuales que si solicitan asignacion
Lista de operadores que entran y no solicitan asignacion
Total de operadores que van a ir en la banda
Lista de asignaciones actuales
Lista de asignaciones en divisiones
Lista de CanalesReservados
Lista de CanalesInutilizados
ID banda de frecuencia
ID rango de frecuencia
Separacion
Tope
Tipo asignacion geografica
ID asignacion geografica
```

En el anexo ejemplo de entrada para algoritmo genético de la página 75 se puede consultar una instancia para el problema de asignación de canales para el algoritmo genético.

7.2.3. Módulos

El aplicativo consta de dos módulos principales que son explicados a continuación.

Conversor XML a entradas

Este módulo es una pequeña modificación al módulo de entradas de la aplicación basada en programación por restricciones explicado en la sección 6.4.3. La modificación consiste en que en lugar de almacenar en memoria los datos extraídos del XML de entrada genera un archivo de entrada para el algoritmo genético, de acuerdo al formato que se ha establecido anteriormente.

Aplicativo

El aplicativo está escrito en lenguaje *C++* y realiza todas las tareas que se han definido en la sección 7.1.1, como salida se genera un archivo XML con el formato especificado en la sección 6.4.3.

Capítulo 8

Interfaces Web de la aplicación

Las interfaces Web son aquellas que interactúan directamente con el usuario, recibiendo las entradas y parámetros de las aplicaciones que son enviados a los diferentes aplicativos del proyecto y desplegando los resultados de forma tal sean de fácil lectura e interpretación.

A continuación se describe el proceso de diseño e implementación de las interfaces Web del proyecto que se han integrado al portal de programación por restricciones del grupo Avispa¹

8.1. Estructura de la aplicación

La aplicación ha sido diseñada bajo la siguiente estructura:

- Vistas de usuario que son explicadas en la sección 8.1.2.
- Scripts en lenguaje *PHP* y *Javascript* para dar soporte de comunicación de datos.
- Archivos ejecutables del aplicativo.
- Estructura de carpetas para dar persistencia a los datos de usuario.

La aplicación se estructura de acuerdo a la figura 8.3.

¹El portal se puede encontrar en <http://avispa.univalle.edu.co>, consultado en Noviembre de 2012



Figura 8.1: Estructura de aplicación

Como se observa en la anterior figura el aplicativo se divide en dos grandes partes, la primera que es la sección de gestión de la base de datos de gestión del espectro, donde se puede gestionar la información sobre el estado de las asignaciones o realizar y la segunda son los aplicativos que permiten encontrar soluciones y desplegar soluciones a instancias del problema.

Para el uso de la aplicación se recomienda consultar los manuales de usuario en la página 76

8.1.1. Módulos de la aplicación

La aplicación se encuentra organizada por módulos, cada uno de los cuales cumple una función específica. Estos módulos han sido diseñados de acuerdo a la especificación de estructura de la aplicación y para facilitar el uso a los usuarios finales.

Gestión base de datos

El módulo de gestión de base de datos presenta dos grandes funciones, la primera de ellas es la consulta de información a la base de datos y la segunda es de realizar operaciones de edición sobre parte de la información almacenada.

En la tabla 8.1 se explican las operaciones de consulta de información almacenada en la base de datos:

Tabla 8.1: Consultas en el aplicativo prototipo de gestión del espectro

Consulta	Descripción
Consultar por entidad territorial por banda	Permite consultar en una zona geográfica determinada la asignación en una banda de frecuencia seleccionada.
Consultar por entidad territorial por operador	Despliega la información sobre la asignación en un territorio de un operador en específico.

En la tabla 8.2 se muestran las operaciones de edición de información que se encuentra en la base de datos:

Tabla 8.2: Operaciones de edición en la base de datos gestión del espectro

Operación	Descripción
Consultar por entidad territorial por banda	Permite consultar en una zona geográfica determinada la asignación en una banda de frecuencia seleccionada.
Gestión Operadores	Permite agregar o editar operadores, no es posible eliminar un operador para garantizar integridad de los datos. También permite agregar o quitar servicios que presta un operador.
Gestión Servicios	Permite agregar o editar servicios, no es posible eliminar debido a la gran dependencia de los datos de asignaciones, operadores y rangos de frecuencia asociados a un servicio.
Gestión Rangos de Frecuencia	Permite editar o crear rangos de frecuencia, no es posible eliminar un rango de frecuencia para garantizar integridad de los datos. La creación de rangos de frecuencia permite especificar las formulas de transmisión o recepción de los canales, una vez creado un rango de frecuencia es posible editar sus canales individualmente.
Gestión Entradas XML	Permite visualizar, descargar y eliminar entradas XML que tenga el usuario almacenadas en el servidor.
Gestión Salidas XML	Permite visualizar, descargar y eliminar salidas XML que tenga el usuario almacenadas en el servidor.

Generador de entradas XML

La generador de entradas permite a partir de la información almacenada en la base de datos y los requerimientos del usuario generar una entrada válida para la aplicación, éste módulo evita que el usuario tenga que hacer entradas manualmente, que debido a la especificación de formatos son difíciles de hacer. El generador de entradas funciona de la siguiente manera:

1. El usuario selecciona la zona geográfica y el rango de frecuencia de interés donde desea realizar asignación
2. Se crean los requerimientos, los operadores que se listan son aquellos que prestan los servicios que acepta la banda seleccionada.
3. Se genera el archivo XML y el usuario decide si lo guarda o no.

Aplicación basada en programación por restricciones

Esta se ha construido de acuerdo a lo definido en el capítulo 6, el aplicativo está construido con las siguientes funciones:

- Un módulo que permite seleccionar los parámetros de aplicación y un archivo de entrada.
- Un módulo que permite seleccionar cuantas iteraciones se desean realizar (entre 1 y 6) y decidir que restricciones no se toman en cuenta en cada una.
- Un módulo para seleccionar que salida dentro de los resultados obtenidos y decidir si se guarda en el sistema.

La aplicación realiza un proceso de recolección de datos suministrados por el usuario, los envía al aplicativo y despliega la información.

Aplicación basada en algoritmos evolutivos

Esta se ha construido de acuerdo a lo definido en el capítulo 7, el aplicativo está construido con las siguientes funciones:

- Un módulo que permite seleccionar los parámetros de aplicación y un archivo de entrada en formato XML.
- Un módulo para seleccionar que salida dentro de los resultados obtenidos y decidir si se guarda en el sistema.

La aplicación realiza un proceso de recolección de datos suministrados por el usuario, los envía al conversor de entradas, ejecuta el aplicativo y despliega la información.

Insertar XML de salida en base de datos

El proceso de inserción de la salidas XML a la base de datos es un proceso que permite tomar los datos de una salida e insertarlos en la base de datos. Éste proceso presenta los siguientes pasos:

1. Lectura del archivo XML de salida, tomando la solución que ha elegido el usuario.
2. Se verifica que tipo de asignación geográfica es: nacional, territorial, departamental o municipal.
3. Se verifica la banda seleccionada.
4. Se borra la asignación actual en la banda correspondiente al área geográfica seleccionada.
5. La asignación se realiza jerárquicamente, se miran las asignaciones de entidades geográficas superiores y se descartan, escribiendo solamente las asignaciones correspondientes a esa zona. Por ejemplo si se mira un municipio, se descartan las que se encuentran asignadas a nivel nacional, territorial y departamental.

Es importante aclarar, que en este proceso la salida XML debe corresponder fielmente a la configuración de la banda, especialmente en el número de canales, de otra forma se perderá la integridad en la base de datos.

8.1.2. Integración con el portal de Avispa

La integración con el portal de Avispa que se encuentra construido usando el gestor de contenidos Drupal[28], se realiza en base a la experiencia adquirida en la metodología de aplicaciones Web del grupo Avispa, se aprovecha la gestión de usuarios y vistas que provee el gestor de contenidos para interactuar con el usuario, se construye una estructura de archivos que proveen la comunicación con los aplicativos construidos para éste proyecto.

Vistas de usuario

Las vistas de usuario son:

- **Formularios Web:** Para enviar parámetros y archivos a los aplicativos del proyecto.
- **Estilos CSS y Javascript:** Para proveer las vistas en consultas, archivos XML de entrada y archivos XML de salida, se utiliza fuertemente la librería *JQuery* de Javascript para hacer vistas interactivas.

Las diferentes vistas pueden ser consultadas en el manual de usuario anexo al final de éste documento.

Los resultados de los aplicativos se despliegan así:

- Una información sobre la ejecución del aplicativo, se incluye información sobre los propagadores, variables de dominios finitos, uso de memoria y espacios de computación en el anexo manual de usuario.
- Un reporte acerca de los costos de cada solución y un reporte en el que se muestra la asignación que se ha calculado para la entrada.

Un ejemplo de los reportes puede observar en el anexo de los manuales de usuario en la página 79 en el anexo manual de usuario en éste documento.

Datos persistentes de usuario

Los datos de usuario están compuestos por:

- *Entradas no persistentes:* se generan automáticamente en el generador de entrada. No son visibles en los aplicativos, si se desean convertir en permanentes el usuario debe indicarlo en el generador de entradas al guardar la información. Es importante aclarar que existe un *Script* que borra estas entradas a las 00:00h de cada día.
- *Entradas:* Se encuentran almacenadas en el sistema, son permanentes, el usuario puede borrarlas en el módulo gestión de entradas XML.
- *Salidas no persistentes:* se generan automáticamente en los aplicativos. No son visibles en el módulo de insertar información en base de datos, si se desean convertir en permanentes el usuario debe indicarlo en el aplicativo al guardar la información. Al igual que las entradas no persistentes son borradas a las 00:00h de cada día.
- *Salidas:* Son permanentes, el usuario puede borrarlas en el módulo gestión de salidas XML.

Se hace uso del atributo *uuid* de la variable global *user* de Drupal, que provee un identificador único por usuario, la estructura de carpetas es la siguiente:

```
/entradasTemporales/$user->uuid  
/entradas/$user->uuid  
/salidasTemporales/$user->uuid  
/salidas/$user->uuid
```

Cada aplicativo del proyecto y el generador de entradas verifica que exista ésta estructura, si no existe procede a crearla, esto para garantizar la persistencia de datos de cada usuario del sistema.

Roles de usuario

Existen dos roles de usuario:

- **Usuario normal:** Sólo puede realizar consultas a la base de datos y utilizar los aplicativos disponibles en el proyecto.
- **Usuario administrador del espectro:** Puede realizar consultas, utilizar los aplicativos y hacer operaciones de edición sobre la base de datos.

Esto se implementa gracias a la administración de roles de usuario que posee *Drupal* con el atributo *Roles* de la variable global *user*, que permite discriminar que roles están asignados a un usuario.

Seguridad.

El gestor de contenidos Drupal almacena un registro de todas las acciones realizadas por un usuarios, por lo que se exige que todos los usuarios tengan cuentas, en caso de no tenerla el aplicativo mostrará el siguiente mensaje.

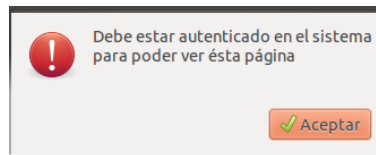


Figura 8.2: Alerta sobre usuario no autenticado.

Posteriormente será direccionado a la página inicial del sitio. En caso de que el usuario no sea administrador e intente ingresar alguna de las páginas donde se realizan modificaciones a la base de datos, se le mostrará el siguiente mensaje:

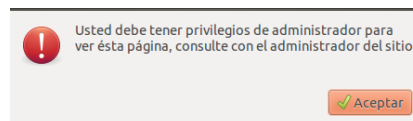


Figura 8.3: Alerta sobre usuario sin rol de administrador.

Posteriormente será direccionado a la página inicial del sitio.

Es de anotar que las restricciones están impuestas en lenguaje *PHP* por lo que no es posible infringir estas restricciones deshabilitando el lenguaje *Javascript* en el navegador Web.

8.2. Despliegue de información al usuario

8.2.1. Consultas

Las consultas son desplegadas al usuario utilizando una librería conocida como *DataTables*² que es un complemento para *JQuery* que permite filtrar información y realizar búsquedas para facilitar su lectura.

²Para mayor información consultar: <http://datatables.net/>, Noviembre 2012

A continuación en la figura 8.4 se muestra un ejemplo de como se despliega una consulta a un usuario.

Mostrar 10 registros

Buscar:

Rango de frecuencia	Canal	Descripción canal	Operador	Tipo de asignación
BANDA DE 800 MHz	2	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 2	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	3	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 3	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	4	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 4	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	5	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 5	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	6	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 6	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	7	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 7	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	8	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 8	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	9	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 9	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	10	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 10	Movistar	Nacional
BANDA DE 800 MHz	11	Telefonia móvil celular 800Mhz Canal 11	Movistar	Nacional
Rango de frecuencia	Canal	Descripción canal	Operador	Tipo de asignación

Mostrando desde 1 hasta 10 de 36 registros

PrimeroAnterior1234SiguienteÚltimo

Figura 8.4: Ejemplo de consulta a base de datos.

8.2.2. Archivos de entrada y salida

El contenido de los archivos de entrada y salida pueden ser consultados en los módulos de Gestión de entradas y salidas respectivamente, a continuación en la figura 8.5 se muestra un despliegue de una entrada XML.

Información

Concepto	Valor
Tipo de asignación geográfica	Territorial/Regional
Lugar de asignación geográfica	
Banda de frecuencia	High Frequency HF/3 - 30 MHz
Rango de frecuencia	4357-4355 kHz
Número de canales de la banda	29
Separación mínima requerida	1
Tope de canales por operador en la banda	10
Operadores presentes en la banda	<ul style="list-style-type: none">• Municipio de Cali• Ministerio de minas• Radioaficionados• Agencia de vigilancia Titan• Radioastronomía
Operadores con requerimientos	<ul style="list-style-type: none">• Agencia de vigilancia Lost• Municipio de Cali
Requerimientos	<ul style="list-style-type: none">• Agencia de vigilancia Lost : 2 canales• Municipio de Cali : 3 canales
Maxima asignación en subdivisiones	<ul style="list-style-type: none">• Agencia de vigilancia Lost : 0 canales• Municipio de Cali : 0 canales

Estado actual de la banda

Operador	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
Canales reservados																							
Canales deshabilitados																							
Asignados en subdivisiones																							
Municipio de Cali																							
Ministerio de minas			X	X																			
Radioaficionados	X																						
Agencia de vigilancia Titan											X	X	X	X									
Radioastronomía						X	X	X	X														

Figura 8.5: Despliegue información de la entrada.

Para el caso de las salidas el despliegue es el mismo al de los resultados en los aplicativos, la diferencia es que se muestran todas las soluciones y no una en particular.

8.2.3. Resultados

Cada archivo de salida contiene una o más soluciones encontradas de una instancia del problema, estas contienen información acerca de los parámetros de ejecución y los costos de cada solución, en la figura 8.6 se puede observar como se despliega el usuario la información general de la aplicación y en la figura 8.7 se muestra la información en particular para una solución encontrada para una instancia.

Información	
Concepto	Valor
Tipo de solución	Óptima
Tipo de asignación	Territorial/Regional
Lugar de asignación	DIRECCION TERRITORIAL BARRANQUILLA
Banda	High Frequency HF /3 - 30 MHz
Rango de frecuencia	4357-4355 kHz
Número de canales	29
Tope por operador en la banda	10
Número de soluciones	2
Espacios de computación creados	1
Número de variables de dominios finitos	144909
Número de propagadores	148028
Uso de memoria (Bytes)	339992
Separación de canales	1
Número de operadores por canal	1
Considerar tope de la banda	Si
Se conserva la asignación de los operadores que requieren asignación	Si
Se considera la separación	Si

Soluciones

Figura 8.6: Ejemplo de consulta a base de datos.

Solución: 0	
Costos	
Concepto	Valor
Número de bloques	6
Diferencia entre el mayor bloque libre y el total de canales	23
Número de canales inútiles por separación en operadores que requieren asignación	6
Costo total	1155

Operador	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
Ministerio de minas			X	X																	
Radioaficionados	X																				
Radioastronomía						X	X	X	X												
Agencia de vigilancia Titan											X	X	X	X							
Agencia de vigilancia Lost																X	X				
Municipio de Cali																					

Figura 8.7: Ejemplo de consulta a base de datos.

Capítulo 9

Experimentación y pruebas

En este capítulo se realiza un proceso de pruebas a las aplicaciones desarrolladas en el proyecto, para realizar un estudio con respecto a qué ventajas presentan ciertas características de la aplicación basada en programación por restricciones, como son el motor de búsqueda y las estrategias de distribución. También se analiza la eficiencia del algoritmo evolutivo.

A partir de las pruebas realizadas, se hace un análisis que permite comprobar en qué aspectos difiere cada característica de las soluciones implementadas en el proyecto.

9.1. Descripción pruebas

9.1.1. Entradas de prueba

Para probar diferentes escenarios en la gestión del espectro, se tienen los tipos de entradas que son definidos en la tabla 9.1

Tabla 9.1: Entradas usadas para pruebas

Código	Número canales	Descripción
E1	53	Banda 22000-22853 kHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos: 3 operadores 2 canales cada uno.
E2	53	Banda 22000-22853 kHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos, 3 operadores: 10 canales cada uno.
E3	53	Banda 22000-22853 kHz, 10 canales asignados al inicio de la banda, Tope:10, requerimientos, 3 operadores: 10 canales cada uno.
E4	53	Banda 22000-22853 kHz, 10 canales asignados al final de la banda, Tope:10, requerimientos, 3 operadores: 10 canales cada uno.
E5	53	Banda 22000-22853 kHz, 10 canales asignados en la mitad de la banda, Tope:10, requerimientos, 3 operadores: 10 canales cada uno.
E6	53	Banda 22000-22853 kHz, 10 canales asignados aleatoriamente, Tope:10, requerimientos, 3 operadores: 10 canales cada uno.

E7	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos, 2 operadores: 8 canales cada uno.
E8	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos, 4 operadores: 8 canales cada uno.
E9	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos, 6 operadores: 8 canales cada uno.
E10	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos, 8 operadores: 8 canales cada uno.
E11	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, 10 operadores: requerimientos (8,4,1,3,2,10,8,7,4,1).
E12	480	Banda 254-260 MHz, Sin asignación, Tope:10, 20 operadores: requerimientos (8,4,1,3,2,10,8,7,4,1,3,8,8,8,4,6,2,8,9,10).
E13	813	Banda800Mhz, Asignación variada, en divisiones y otros operadores, Tope:80, requerimientos, 10 operadores 8 canales cada uno
E14	813	Banda800Mhz, Asignación variada, en divisiones y otros operadores, Tope:80, requerimientos, 10 operadores (13,24,15,6,14,29,1,12,3,23)
E15	813	Banda800Mhz, Asignación variada, en divisiones y otros operadores, Tope:80, requerimientos, 20 operadores 20 canales cada uno
F1	53	Banda 22000-22853 kHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos: 3 operadores 13 canales cada uno.
F2	53	Banda 22000-22853 kHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos: 6 operadores 10 canales cada uno.
F3	53	Banda 22000-22853 kHz, Sin asignación, Tope:10, requerimientos: 6 operadores 13 canales cada uno.

Las entradas han sido creadas para estudiar varios casos que se pueden presentar en la asignación:

- En las entradas E1 a E5 se estudia las implicaciones de asignación del problema en una banda pequeña, tomando en cuenta la forma en que está asignada.
- Las entradas E7 a E12 permiten estudiar el comportamiento ante requerimientos, de tamaño y si son homogéneos (todos piden lo mismo) y heterogéneos en una banda no asignada.
- Las entradas E1, E7 y E13 permiten comparar el funcionamiento del aplicativo ante diferentes tamaños de entrada en condiciones similares.
- Para las entradas E13 a E15 las asignaciones son: operadores en la banda 140 canales y operadores en divisiones 11 canales
- Las entradas F1, F2 y F3 no cumplen requerimientos. F1 no cumple tope, F2 los requerimientos sobrepasa la capacidad de la banda y F3 los requerimientos superan tope y capacidad de banda.

9.1.2. Procedimiento de pruebas

Para realizar las pruebas en los aplicativos se establecen algunas pautas para permitir la recolección de datos y los análisis posteriores.

Codificación parámetros de pruebas

Los parámetros de rendimiento y su respectiva codificación son los siguientes:

- **Ns**: Número de soluciones.
- **Ec**: Espacios de computación creados.
- **Nv**: Número de variables de dominios finitos.
- **Np**: Número de propagadores.
- **Um**: Uso de memoria (Bytes).
- **Mc**: Mejor costo solución encontrada.

Importante: Para el caso de las pruebas con el algoritmo genético sólo se toma en cuenta el costo de la mejor solución encontrada, debido a que los otros parámetros por las diferencias de ambos métodos no se pueden comparar.

Los diferentes motores de búsqueda se codifican así:

- **CT**: Mejor costo total.
- **C1**: Mejor por tamaño de bloque libre.
- **C2**: Mejor por número de bloques de asignados.
- **C3**: Mejor por número de canales inutilizables.

La codificación para las estrategias de distribución es:

- **S1**: Asignar primero al inicio de la banda.
- **S2**: Asignar primero al final de la banda.
- **S3**: Asignar primero al inicio de la banda a operadores con asignación.
- **S4**: Asignar primero al final de la banda a operadores con asignación.
- **S5**: Asignar primero al inicio de la banda a operadores sin asignación.
- **S6**: Asignar primero al final de la banda a operadores sin asignación.
- **S7**: Asignar primero al inicio de la banda a operadores con mayores requerimientos.
- **S8**: Asignar primero al final de la banda a operadores con mayores requerimientos.
- **S9**: Asignar primero al inicio de la banda a operadores con menores requerimientos.

- **S10:** Asignar primero al final de la banda a operadores con menores requerimientos.
- **SG1:** Genérica: Naive.
- **SG2:** Genérica: ff.
- **SG3:** Genérica: split.

Procedimiento de pruebas

Para las pruebas se trata de probar los diferentes parámetros de la aplicación, variando cada característica manteniendo las otras estáticas para facilitar el análisis de cada una de ellas y su influencia en el cálculo de la solución a una instancia del problema.

Es importante aclarar que una solución no se marca como **óptima** hasta que se termine de explorar el árbol de búsqueda por completo.

9.2. Pruebas sobre aplicativo basado en programación por restricciones

9.2.1. Pruebas sobre tamaño de entrada

El objetivo de éstas pruebas es estudiar el desempeño de cada uno de los distribuidores con respecto al tamaño de la entrada, para éstas pruebas se establece:

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entradas seleccionadas son: E1, E7 y E11
- Los tiempos de ejecución son: para E1 3seg, E7 y E11 10 seg.
- En la prueba se varía la estrategia de distribución.
- Los pesos para el costo de la solución total es 3 para cada costo.

Tabla 9.2: Pruebas para E1 con 3seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:1174842 Np:1197956 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S2	Ec:1 Nv:1151598 Np:1174266 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S3	Ec:1 Nv:816354 Np:832574 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S4	Ec:1 Nv:1129914 Np:1152164 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S5	Ec:1 Nv:1205886 Np:1229597 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S6	Ec:1 Nv:1165014 Np:1187940 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S7	Ec:1 Nv:1208226 Np:1231982 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S8	Ec:1 Nv:872202 Np:889496 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S9	Ec:1 Nv:1161738 Np:1184600 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
S10	Ec:1 Nv:1184826 Np:1208132 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:1201674 Np:1209898 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima

SG2	Ec:1 Nv:1267038 Np:1275681 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:1147542 Np:1155419 Um:340336 Ns:2 Mc:429, No óptima

Tabla 9.3: Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:1602260 Np:1608723 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S2	Ec:1 Nv:1715304 Np:1722121 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S3	Ec:1 Nv:1755540 Np:1762483 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S4	Ec:1 Nv:1668362 Np:1675032 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S5	Ec:1 Nv:1761288 Np:1768249 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S6	Ec:1 Nv:1462392 Np:1468417 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S7	Ec:1 Nv:1690396 Np:1697135 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S8	Ec:1 Nv:1751708 Np:1758639 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S9	Ec:1 Nv:1736380 Np:1743263 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
S10	Ec:1 Nv:1977796 Np:1981297 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:1504544 Np:1507551 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:2036234 Np:2039796 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:3435872 Np:3440895 Um:340336 Ns:2 Mc:693, No óptima

Tabla 9.4: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:4834560 Np:4191013 Um:340336 Ns:2 Mc:2508, No óptima
S2	Ec:1 Nv:4753130 Np:4838068 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S3	Ec:1 Nv:4628590 Np:4713450 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S4	Ec:1 Nv:4901620 Np:4986651 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S5	Ec:1 Nv:4863300 Np:4948307 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S6	Ec:1 Nv:3766390 Np:3850710 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S7	Ec:1 Nv:4398670 Np:4483386 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S8	Ec:1 Nv:5098010 Np:5183165 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S9	Ec:1 Nv:5054900 Np:5140027 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S10	Ec:1 Nv:4798660 Np:5088760 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima

Para las pruebas por motor de búsqueda se establece:

- En la prueba se utiliza la distribución S1.
- Las entradas seleccionadas son: E1, E7 y E11
- Los tiempos de ejecución son: para E1 3seg, E7 y E11 10 seg.
- Motor de búsqueda se varía.
- Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.

Tabla 9.5: Pruebas para E1 con 3 seg de ejecución variando el motor de búsqueda

Motor búsqueda	Resultados
CT	Ec:1 Nv:1180926 Np:1204157 Um:340336 Ns:2 Mc:429 , No óptima
C1	Ec:1 Nv:926334 Np:944669 Um:340336 Ns:2 Mc:429 , No óptima
C2	Ec:1 Nv:920094 Np:938309 Um:340336 Ns:2 Mc:462 , No óptima
C3	Ec:1 Nv:1177962 Np:1201136 Um:340336 Ns:2 Mc:462 , No óptima
Ninguno	Ec:1 Nv:2034 Np:2584 Um:527024 Ns:12 Mc:891 , No óptima

Tabla 9.6: Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando el motor de búsqueda

Motor búsqueda	Resultados
CT	Ec:1 Nv:2796886 Np:2807090 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
C1	Ec:1 Nv:2933880 Np:2944513 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
C2	Ec:1 Nv:2338004 Np:2346771 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
C3	Ec:1 Nv:2534394 Np:2543776 Um:340336 Ns:1 Mc:429 , No óptima
Ninguno	Ec:1 Nv:12938 Np:14414 Um:340336 Ns:10 Mc:1122 , No óptima

Tabla 9.7: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando el motor de búsqueda

Motor búsqueda	Resultados
CT	Ec:1 Nv:4762710 Np:4847654 Um:340336 Ns:2 Mc:2508 , No óptima
C1	Ec:1 Nv:4930360 Np:5015409 Um:340336 Ns:2 Mc:2508 , No óptima
C2	Ec:1 Nv:4973470 Np:5058546 Um:340336 Ns:2 Mc:2541 , No óptima
C3	Ec:1 Nv:4791450 Np:4876412 Um:340336 Ns:2 Mc:2541 , No óptima
Ninguno	Ec:1 Nv:58930 Np:140918 Um:340336 Ns:11 Mc:2904 , No óptima

9.2.2. Pruebas de acuerdo a la distribución de la asignación en la banda

Estas pruebas se ejecutan de la siguiente manera:

- Motor de búsqueda es mejor costo

- Las entradas seleccionadas son: E3, E4, E5 y E6.
- Los tiempos de ejecución para todas son 10 seg.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S1, S2, SG1, SG2 y SG3.
- Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.

Tabla 9.8: Pruebas para E3 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec: 1 Nv: 4563891 Np: 4630575 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
S2	Ec: 1 Nv: 4804131 Np: 4874277 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 4749843 Np: 4773512 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG2	Ec: 1 Nv: 4881715 Np: 4906018 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG3	Ec: 1 Nv: 4748803 Np: 4772467 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima

Tabla 9.9: Pruebas para E4 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec: 1 Nv: 4812867 Np: 4883141 Um: 340336 Ns: 2 Mc: 1650, No óptima
S2	Ec: 1 Nv: 4832003 Np: 4902554 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 4723011 Np: 4746551 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG2	Ec: 1 Nv: 4698259 Np: 4721680 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima
SG3	Ec: 1 Nv: 4879635 Np: 4903928 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1683, No óptima

Tabla 9.10: Pruebas para E5 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec: 1 Nv: 4814115 Np: 4884408 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
S2	Ec: 1 Nv: 4746931 Np: 4816253 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 4835539 Np: 4859620 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG2	Ec: 1 Nv: 4949315 Np: 4973943 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG3	Ec: 1 Nv: 4718019 Np: 4741535 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima

Tabla 9.11: Pruebas para E6 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:103747 Np:371539 Um:340336 Ns:1 Mc:2376 , No óptima
S2	Ec:1 Nv:78995 Np:300207 Um:340336 Ns:1 Mc:2376 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:90435 Np:91703 Um:340336 Ns:1 Mc:2376 , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:85859 Np:87105 Um:340336 Ns:1 Mc:2376 , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:89811 Np:91076 Um:340336 Ns:1 Mc:2376 , No óptima

9.2.3. Pruebas sobre estructura requerimientos

Los requerimientos pueden estructurarse como homogéneos si todos los operadores solicitan el mismo número de canales o heterogéneos en caso contrario.

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entradas seleccionadas son: E7, E8, E9, E10, E11, E12
- Los tiempos de ejecución para todas son 10 seg.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S6, S7, S8, S9, SG1, SG2 y SG3.
- Los pesos para el costo de la solución total es **33** para cada costo.

Tabla 9.12: Pruebas para E7 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec:1 Nv:2765272 Np:2775377 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
S7	Ec:1 Nv:2867778 Np:2878204 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
S8	Ec:1 Nv:2832332 Np:2842647 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
S9	Ec:1 Nv:2931964 Np:2942591 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:3515386 Np:3520492 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:3501974 Np:3507066 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:3552748 Np:3557893 Um:340336 Ns:1 Mc:693 , No óptima

Tabla 9.13: Pruebas para E8 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec:1 Nv:3350612 Np:3365946 Um:340336 Ns:1 Mc:1419 , No óptima
S7	Ec:1 Nv:3182004 Np:3197075 Um:340336 Ns:1 Mc:1419 , No óptima
S8	Ec:1 Nv:3180088 Np:3195155 Um:340336 Ns:1 Mc:1419 , No óptima
S9	Ec:1 Nv:4117012 Np:4117012 Um:340336 Ns:1 Mc:1419 , No óptima

SG1	Ec:1 Nv:2900352 Np:2911927 Um:340336 Ns:1 Mc:1419, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:2946336 Np:2957935 Um:340336 Ns:1 Mc:1419, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:2938672 Np:2950267 Um:340336 Ns:1 Mc:1419, No óptima

Tabla 9.14: Pruebas para E9 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec:1 Nv:4834560 Np:4191013 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S7	Ec:1 Nv:4753130 Np:4838068 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S8	Ec:1 Nv:4863300 Np:4948307 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S9	Ec:1 Nv:3766390 Np:3850710 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima

Tabla 9.15: Pruebas para E10 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec:1 Nv:4834560 Np:4191013 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S7	Ec:1 Nv:4753130 Np:4838068 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S8	Ec:1 Nv:4863300 Np:4948307 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S9	Ec:1 Nv:3766390 Np:3850710 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima

Tabla 9.16: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec:1 Nv:4834560 Np:4191013 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S7	Ec:1 Nv:4753130 Np:4838068 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S8	Ec:1 Nv:4863300 Np:4948307 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
S9	Ec:1 Nv:3766390 Np:3850710 Um:340336 Ns:1 Mc:2508, No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG2	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima
SG3	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X, No óptima

Tabla 9.17: Pruebas para E12 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S6	Ec: 1 Nv: 4834560 Np: 4191013 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 2508, No óptima
S7	Ec: 1 Nv: 4753130 Np: 4838068 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 2508, No óptima
S8	Ec: 1 Nv: 4863300 Np: 4948307 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 2508, No óptima
S9	Ec: 1 Nv: 3766390 Np: 3850710 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 2508, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 6240 Np: 88160 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima
SG2	Ec: 1 Nv: 6240 Np: 88160 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima
SG3	Ec: 1 Nv: 6240 Np: 88160 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima

9.2.4. Pruebas sobre tamaño de requerimientos

Se busca analizar el impacto del tamaño de los requerimientos en el desempeño de la aplicación.

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entradas seleccionadas son: E2, E12, E15.
- Los tiempos de ejecución para todas son 10 seg.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S1, S2, SG1, SG2 y SG3.
- Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.

Tabla 9.18: Pruebas para E2 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec: 1 Nv: 4754835 Np: 4824272 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
S2	Ec: 1 Nv: 4798099 Np: 4868157 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 4678915 Np: 4702243 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG2	Ec: 1 Nv: 4759411 Np: 4783126 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima
SG3	Ec: 1 Nv: 4812867 Np: 4836839 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1650, No óptima

Tabla 9.19: Pruebas para E12 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec: 1 Nv: 2291080 Np: 2646865 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 5709, No óptima
S2	Ec: 1 Nv: 2425200 Np: 2781027 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 5709, No óptima

SG1	Ec:1 Nv:11040 Np:366000 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:11040 Np:366000 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:11040 Np:366000 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.20: Pruebas para E15 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:17451 Np:429219 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
S2	Ec:1 Nv:17451 Np:429246 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:17451 Np:429158 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:17451 Np:429158 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:17451 Np:429158 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

9.2.5. Pruebas sobre tiempo de exploración en entradas grandes

En estas pruebas se busca medir el rendimiento de la aplicación ante entradas grandes, eligiendo diferentes tiempos de ejecución.

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entrada seleccionada son: E13.
- Los tiempos de ejecución para todas son 5 seg, 10 seg y 20 seg.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S1, S2, SG1, SG2 y SG3.
- Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.

Tabla 9.21: Pruebas para E13 con 5 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:542006 Np:733982 Um:340336 Ns:1 Mc:17985 , No óptima
S2	Ec:1 Nv:1232566 Np:1424734 Um:340336 Ns:1 Mc:18975 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.22: Pruebas para E13 con 10 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:3832956 Np:4025847 Um:340336 Ns:1 Mc:17985 , No óptima
S1	Ec:1 Nv:3908486 Np:4101398 Um:340336 Ns:1 Mc:18975 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG2	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima
SG3	Ec:1 Nv:13296 Np:205048 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.23: Pruebas para E13 con 20 seg de ejecución variando estrategia de distribución

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:9476126 Np:9670586 Um:340336 Ns:1 Mc:17985 , No óptima
S2	Ec:1 Nv:9314276 Np:9508691 Um:340336 Ns:1 Mc:18975 , No óptima
SG1	Warning: Mozart: virtual memory exhausted
SG2	Warning: Mozart: virtual memory exhausted
SG3	Warning: Mozart: virtual memory exhausted

9.2.6. Pruebas de acuerdo al nivel de recomputación

En estas pruebas se estudia el efecto del nivel de recomputación en el desempeño del proyecto, se escoge una entrada de tamaño mediano para realizar las diferentes pruebas.

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entrada seleccionada son: E11.
- El tiempo de ejecución es 10 seg.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S1 y SG1.
- Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.
- Los niveles de recomputación son 1, 2, 4 y 8.

Tabla 9.24: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 1

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:4753130 Np:4838069 Um:340336 Ns:2 Mc:2508 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.25: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 2

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:4676490 Np:4761380 Um:4761380 Ns:2 Mc:2508 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.26: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 4

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:4642960 Np:4727829 Um:340336 Ns:1 Mc:2508 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.27: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 6

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:3718490 Np:3802780 Um:340336 Ns:1 Mc:2508 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

Tabla 9.28: Pruebas para E11 con 10 seg de ejecución con nivel de recomputación 8

Estrategia distribución	Resultados
S1	Ec:1 Nv:4848930 Np:984496 Um:4933928 Ns:1 Mc:2508 , No óptima
SG1	Ec:1 Nv:6240 Np:88160 Um:340336 Ns:0 Mc:X , No óptima

9.2.7. Pruebas de flexibilidad y debilidad de restricciones

Las pruebas correspondientes a la flexibilidad y debilidad de restricciones se realizan así:

- Motor de búsqueda es mejor costo
- Las entradas seleccionadas son: F1, F2, F3
- Los tiempos de ejecución para todas son 10 seg.
- Se establecen dos iteraciones así:

- **Iteración 1:** No considerar separación y no considerar tope.
 - **Iteración 2:** No considerar tope y Número de operadores por canal es 2.
- En la prueba se utilizan las siguientes estrategias distribución: S1 y SG1.
 - Los pesos para el costo de la solución total es 33 para cada costo.

Tabla 9.29: Pruebas flexibilidad y debilidad para F1

Estrategia distribución	Resultados iteración 1	Resultados iteración 2
S1	Ec: 1 Nv: 5417418 Np: 5521525 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1386, No óptima	Ec: 0 Nv: 5455326 Np: 5560788 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1452, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 901970 Np: 984496 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1386, No óptima	Ec: 1 Nv: 5638002 Np: 5674661 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1452, No óptima

Tabla 9.30: Pruebas flexibilidad y debilidad para F2

Estrategia distribución	Resultados iteración 1	Resultados iteración 2
S1	Ec: 1 Nv: 477 Np: 245128 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima	Ec: 1 Nv: 6572133 Np: 6635126 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1155, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 477 Np: 224 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima	Ec: 1 Nv: 6448269 Np: 6468681 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1188, No óptima

Tabla 9.31: Pruebas flexibilidad y debilidad para F3

Estrategia distribución	Resultados iteración 1	Resultados iteración 2
S1	Ec: 1 Nv: 477 Np: 217848 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima	Ec: 1 Nv: 6812997 Np: 6878325 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1452, No óptima
SG1	Ec: 1 Nv: 477 Np: 224 Um: 340336 Ns: 0 Mc: X, No óptima	Ec: 1 Nv: 6337197 Np: 6357253 Um: 340336 Ns: 1 Mc: 1485, No óptima

9.3. Pruebas sobre el aplicativo basado en algoritmos genéticos

9.3.1. Pruebas sobre entradas varias

Se realizan diferentes pruebas sobre el algoritmo genético, los parámetros del algoritmo son los especificados en la tabla 7.1.

Tabla 9.32: Pruebas algoritmo genético para E6

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc: 2640, No óptima
30	Mc: 2640, No óptima
300	Mc: 2475, No óptima

Tabla 9.33: Pruebas algoritmo genético para E8

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc: 40194, No óptima
30	Mc: 35112, No óptima
300	Mc: 31944, No óptima

Tabla 9.34: Pruebas algoritmo genético para E15

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc: 161040, No óptima
30	Mc: 165891, No óptima
300	Mc: 161502, No óptima

9.3.2. Pruebas sobre entradas que no cumplen restricciones

Tabla 9.35: Pruebas algoritmo genético para F1

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc: 2508, No óptima
30	Mc: 2376, No óptima
300	Mc: 1881, No óptima

Tabla 9.36: Pruebas algoritmo genético para F2

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc:2716, No óptima
30	Mc:1980, No óptima
300	Mc:1749, No óptima

Tabla 9.37: Pruebas algoritmo genético para F3

Tiempo (seg)	Resultados
3	Mc:2739, No óptima
30	Mc:2343, No óptima
300	Mc:1551, No óptima

9.4. Resultados

9.4.1. Solución basada en programación por restricciones

Resultados

1. Comparando entre sí las estrategias de distribución creadas en este proyecto no presentan diferencias notables con respecto al desempeño ante entradas sin características.
2. Las estrategias de distribución genéricas presentan mejor desempeño que las distribuciones creadas a medida que la entrada aumenta de tamaño, pero no encuentran soluciones tan rápidamente.
3. El consumo de memoria de la ejecución depende del motor virtual de *Mozart* y no del tamaño de la entrada.
4. El consumo de memoria puede verse afectado por la cantidad de datos que se deben almacenar, en el caso que no se tenga motor de búsqueda.
5. El mejor desempeño se encuentra cuando no se utiliza el motor de búsqueda, sin embargo éste presenta las peores soluciones.
6. El uso de los distribuidores que intentan asignar al inicio de la banda presentan un mejor rendimiento de los que intentan asignar inicialmente al final, cuando la banda se encuentra asignada en su inicio o final.
7. No se muestra ventaja de ningún distribuidor, si la banda se encuentra asignada aleatoriamente.
8. A medida que una banda se encuentra con más canales asignados, los parámetros de desempeño mejoran sensiblemente.
9. Con respecto a instancia con requerimientos homogéneos, no es posible obtener alguna mejora sustancial con alguno de los distribuidores implementados en el proyecto.

Al fin qué?

10. Las ejecuciones con instancias que tiene requerimientos heterogéneos, no muestran mejora frente a la estrategia de búsqueda que se aplique.
11. Al variar el tamaño de los requerimientos, las estrategias creadas en el proyecto tienden a buscar más rápidamente una solución válida que las estrategias genéricas.
12. Al variar las entradas en las estrategias de distribución propias del proyecto, los parámetros de desempeño presentan un comportamiento proporcional al tamaño de la entrada, los genéricos de *Mozart* no presentan variación en su desempeño frente a la entrada, pero no funcionan si la entrada es muy grande.
13. El nivel de recomputación no afecta sensiblemente el desempeño de la aplicación. Este permite mejorar un poco los parámetros de rendimiento, pero después de cierto valor éstos empeoran al tomar en cuenta la carga adicional al recalcular los nodos.
14. El consumo de memoria depende de la compilación del código.
15. Las restricciones flexibles y las iteraciones permiten probar quitando una o más restricciones, para encontrar posibles soluciones a entradas que no cumplen las restricciones.

Desventajas

La estructura de datos manejada en el proyecto tiene una complejidad de $O(N^2)$ por ser una matriz de operadores por número de canales, por lo que presenta un crecimiento considerable al aumentar el tamaño de la banda. Asimismo los propagadores que se deben crear para implementar las restricciones dependen en gran medida del tamaño de la entrada, por lo que el aplicativo puede fallar cuando se tienen entradas muy grandes y se expanden tantos nodos que la máquina virtual de *Mozart OZ* presenta un desborde.

También se ha encontrado que si el archivo es muy grande, el *Parser* de *Mozart OZ* puede presentar problemas por el gran tamaño del árbol de dependencias creado y puede producir un desborde.

qué significa
muy grande?

La limitación de memoria viene dada por la infraestructura servidor virtual del grupo AVISPA, por lo que se ve la necesidad de utilizar estrategias de distribución que se deben considerar a partir del modelo, el modelo propuesto en éste proyecto tiene una alta dependencia de las variables de propagación entre sí que dificultan la creación de este tipo de estrategias.

9.4.2. Solución basada en algoritmos genéticos

El algoritmo genético presenta los siguientes resultados:

1. El algoritmo encuentra las soluciones óptimas si se deja el suficiente tiempo.
2. El algoritmo puede encontrar malas soluciones en un corto tiempo, pero se debe dejar un tiempo suficiente para encontrar buenas soluciones.
3. A medida que crece la entrada se debe dejar más tiempo el algoritmo para que encuentre soluciones válidas y eventualmente soluciones óptimas.
4. El diseño tiene problemas de mínimos locales que pueden hacer que en ciertas ejecuciones del algoritmo no se encuentre nunca la solución óptima, así se tenga una solución válida.
5. Por el diseño del algoritmo, no es posible saber si se tiene una solución óptima al problema.
6. El algoritmo presenta una convergencia muy lenta en instancias de gran tamaño del problema, por lo que es necesario estudiar técnicas para acelerar la convergencia del algoritmo a una solución válida.

9.4.3. Análisis comparativo entre los métodos de restricciones y evolutivo

Cada uno de los métodos de solución del problema tiene sus ventajas y sus desventajas, para entradas pequeñas ambos son apropiados, pero si la entrada crece el algoritmo genético requiere un tiempo demasiado grande para llegar a una solución válida, a diferencia del método por programación por restricciones.

Sin embargo, ante entradas pequeñas que no cumplen requerimientos el algoritmo genético muestra ser una mejor opción ya que a pesar de no se cumpla una o más restricciones, se buscará la solución con el menor costo, a diferencia del método de programación por restricciones donde es necesario elegir restricciones flexibilizar y usar iteraciones para escoger la mejor combinación para obtener el mejor costo posible ante estas instancias.

9.4.4. Análisis de expresividad del modelo

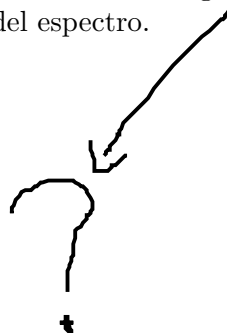
Como se pudo observar en las diferentes pruebas el modelo de asignación de canales y la metodología propuesta se pueden expandir sin mayores cambios a métodos de solución del problema diferentes al de programación por restricciones, como fue el caso del algoritmo genético que se implementó en éste proyecto.

Los cambios que se deben tomar en cuenta está principalmente enfocado a los formatos de entrada, ya que el formato XML es complejo y algunos lenguajes no cuentan con librerías para obtener su información directamente, lo que hace necesario crear otros formatos y utilizar módulos intermedios que hagan la conversión de los formatos de entrada y salida.

9.4.5. Aplicación del modelo en situaciones reales

El proceso de pruebas permite establecer que el modelo creado en el proyecto se puede aplicar en casos reales así:

- Instancias pequeñas del problema, en el cual no se tenga un gran número de requerimientos de entrada.
- Casos donde tener una asignación no óptima en las divisiones de un territorio no represente problemas graves en la normal prestación de servicios.
- Como aplicativo de prueba para el estudio de la gestión del espectro, tomando en cuenta los alcances y limitaciones del mismo, no es apropiado para realizar la asignación tomando en cuenta todos los aspectos posibles relacionados con la gestión del espectro.



Capítulo 10

Conclusiones y trabajos futuros

10.1. Conclusiones

1. El problema de asignación de canales o frecuencia fue estudiado en base al problema de *channel assignment* y en las consideraciones que se encuentran en el documento nacional de atribución de frecuencias de Colombia, los cuales permitieron abstraer el problema de tal forma se pudiera escribir en un modelo lineal, en el cual se pudieran abstraer las restricciones más importantes que se deben tomar en cuenta en éste proceso.
2. El uso de modelo lineal permite realizar un proceso de implementación transparente ya que no se requirieron artefactos propios de un lenguaje, lo que facilita su expansión a diferentes métodos de solución, como fue en este caso, que se diseñaron dos aplicativos, uno basado en programación por restricciones y otro basado en algoritmos evolutivos.
3. La metodología del grupo AVISPA para aplicaciones por restricciones permitió seguir una serie de pasos, para convertir en un servicio Web la aplicación creada en lenguaje *Mozart OZ*; así mismo se pudo usar con algunos cambios en otro paradigma de programación que en el proyecto fueron los algoritmos genéticos.
4. El uso del paradigma de programación por restricciones en el análisis comparativo permitió establecer que es el método más apropiado para solucionar el problema en instancias que cumplan las restricciones, debido a que se puede obtener una solución válida y con un costo cercano al óptimo rápidamente a diferencia del método del algoritmo evolutivo que tiene una convergencia bastante lenta; sin embargo, no es el método más apropiado para encontrar la mejor solución, debido a que se requiere una gran capacidad computacional para hacer el recorrido de todo el árbol de búsqueda y puede llegarse a un punto en que el aplicativo falla por falta de recursos.
5. 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, además permite tener al usuario un punto de comparación sobre las posibles soluciones que puede tomar una instancia del problema.
6. El uso de estrategias de distribución diseñadas para el proyecto permite acelerar las búsquedas de soluciones válidas al problema frente a estrategias genéricas, sin embargo son más costosas en recursos, debido a que la implementación y su concepción no considera aspectos de agilidad y de ahorro de recursos.

7. Los resultados permitieron establecer algunas pautas sobre **que** estrategias de búsqueda y motores de búsqueda presentan mejor rendimiento frente a los otros tomando como base una forma conocida de la entrada, sin embargo en la mayoría de casos no se encuentra mejora en rendimiento comparando un propagador con otro en entradas cuya forma no corresponde a las formas conocidas que se establecieron a lo largo del proyecto.
8. 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, sin ser afectado en gran medida por el tamaño de la entrada, sin embargo la búsqueda de soluciones óptimas es el punto débil del proceso que se ha realizado en éste proyecto, ya que por la alta complejidad que pueden tomar las instancias no es posible encontrar fácilmente un método que permita guiar la búsqueda hacia la solución óptima.
9. Las pruebas realizadas han arrojado que el uso de un motor de búsqueda aumenta sensiblemente el numero de propagadores y dominios finitos requeridos, ya que con éste se busca obtener la mejor solución bajo unos criterios definidos, para entradas muy grandes resulta bastante costoso el uso de estos motores, por lo que, buscar la solución óptima en instancias grandes del problema puede ser un proceso bastante complicado, que requiere una gran capacidad de procesamiento.
10. En las pruebas se encontró que la restricción que más efecto produce en el rendimiento es la de asignación ya que afecta sensiblemente los parámetros de ejecución, **ya** a medida que la banda se encuentra más ocupada el número de propagadores y variables de estado finitos necesarias para realizar la búsqueda de soluciones se reduce considerablemente.
11. El número de propagadores dependen directamente del tamaño de la entrada, por lo que el tamaño máximo aceptado de una entrada depende directamente del número máximo que soporta la máquina virtual de *Mozart OZ*.
12. Se pudo establecer que la solución implementada en éste proyecto queda sujeta a algunas limitaciones computacionales, como son el tamaño de la entrada y el tamaño de los requerimientos, si son **muy grandes** el aplicativo puede fallar y no mostrarse soluciones a una instancia.
13. Como resultado final de las pruebas realizadas y del estudio del proceso de diseño e implementación, se puede establecer que la propuesta presentada en éste proyecto es un acercamiento a un proceso basado en programación por restricciones que permita solucionar éste problema. Se debe tomar en cuenta muchos más aspectos que están relacionados en el proceso de gestión del espectro, como son las asignaciones en detalle, el uso de datos reales y poder procesar entradas de gran tamaño sin presentar problemas en el aplicativo. Como aporte de éste proyecto se tiene una experiencia o acercamiento que permite tener una base para construir una propuesta que tenga como producto final un aplicativo para realizar el proceso de gestión del espectro usando el paradigma de programación por restricciones y pueda ser usado como un aplicativo Web.

10.2. Trabajos futuros

1. El modelo implementado en el proyecto no garantiza obtener una solución óptima a nivel de detalle de asignación, ya que no se consideran las asignaciones particulares de cada una de las divisiones territoriales de una zona geográfica donde se desee realizar el proceso de asignación de canales. Se debe a futuro considerar cambios al modelo y a la implementación que posibiliten estudiar la asignación en todo su detalle.
2. Se requiere estudiar un modelo que considere las posiciones y características de los transmisores de un operador en determinada área geográfica, esto para incluir en el modelo aspectos de propagación y calidad de servicio en el proceso de gestión del espectro.
3. Se deben considerar aspectos técnicos del proceso de la gestión del espectro, en especial la recomendación ITU K52, que trata los aspectos sobre niveles de radiación producto de emisiones electromagnéticas que deben respetarse para evitar efectos negativos en los seres humanos.
4. El proyecto fue realizado en base a datos que fueron diseñados para realizar pruebas en el aplicativo pero que no corresponden a la realidad, **para** poder estudiar el problema más a fondo se requieren datos reales, los cuales lamentablemente no se encuentran accesibles al público en general.
5. En las pruebas se encontró que el aplicativo en base a *Mozart OZ* presenta problemas en instancias **grandes**, por lo que se debe estudiar como superar éste problema desde el diseño de la aplicación o utilizar otras opciones de implementación que no dependen de una máquina virtual, como es el caso de *Gecode* que es una librería de programación por restricciones para C++.
6. Debido a que se necesita una gran capacidad de procesamiento en instancias grandes del problema, se recomienda realizar un estudio posterior sobre **que** cambios se deben realizar al modelo, a la estrategia de implementación y la forma de implementación, para que en la ejecución se pueda realizar una distribución del proceso en varios nodos de cómputo de tal forma se pueda procesar una gran carga computacional sin depender de las capacidades de una infraestructura computacional que de soporte al aplicativo.

Capítulo 11

Bibliografía

- [1] J. F. Díaz, C. Martinez, C. Delgado, F. Vargas, and M. Cruz, “Metodología para crear aplicaciones de programación por restricciones como servicio web. definición e implementación con diversos casos.” Documento interno del grupo AVISPA.
- [2] ITU, “International telecommunication union.” <http://www.itu.int/>, 2011. Noviembre de 2012.
- [3] TIA, “Broadband spectrum: The engine for innovation, job growth, and advancement of social priorities,” tech. rep., TIA, Advancing Global Communications, 2011.
- [4] Hurley and D. H. Smith, “Fixed spectrum frequency assignment algorithms genetic algorithms in engineering systems: Innovations and applications,” *IEEE*, 1995.
- [5] A. Quellmalz, A. Knalmann, and B. Muller, “Efficient frequency assignment with simulated annealing,” *IEEE*, 1995.
- [6] C. An, L. Zhang, and W. Liu, “A spectrum allocation algorithm based on matching game,” *IEEE*, 2009.
- [7] P. de la República Colombia, “Ley 1341 de 2009.” web.presidencia.gov.co/leyes/2009/julio/ley134130072009.pdf, 2009. Noviembre 2012.
- [8] M. de Tecnologías de Información y Comunicaciones, “Cuadro nacional de atribución de frecuencias,” tech. rep., República de Colombia, 2010.
- [9] Departamento, “Proceso de estudio y subasta para servicios 4g en colombia,” tech. rep., MinTIC, Gobierno de Colombia, 2012.
- [10] T. Roxborough, S. Medidi, and A. Sen, “On channel assignment problem in cellular networks,” in *Signals, Systems and Computers, 1997. Conference Record of the Thirty-First Asilomar Conference on*, vol. 1, pp. 630–634 vol.1, nov. 1997.
- [11] T. Weise, *Global Optimization Algorithms, Theory and Application*. it-weise.de (self-published): Germany, 2009.
- [12] ANE, “Agencia nacional del espectro.” <http://www.ane.gov.co/index.shtml>, 2012. Noviembre 2012.
- [13] R. Barták, “Guide to constraint programming.” <http://ktiml.mff.cuni.cz/~bartak/constraints/intro.html>, 1998. Noviembre 2012.

- [14] M. de Tecnologías de Información y Comunicaciones, “Ministerio de tecnologías de información y comunicaciones, portal web,” tech. rep., Gobierno Colombiano, 2010.
- [15] F. P. C. y. T. d. A. Centro de Apoyo Tecnológico a Emprendedores, “Estudio de los sistemas de gestión de contenidos web,” tech. rep., Creative Commons By-sa, 2012.
- [16] W. W. W. C. (W3C), “Extensible markup language (xml).” <http://www.w3.org/XML/>, 2012. Noviembre 2012.
- [17] S. de la República Colombia, “Ley 252 de 1995.” http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1995/ley_0252_1995.html, 1995. Noviembre 2012.
- [18] S. de la República Colombia, “Ley 514 de 1999.” http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1999/ley_0514_1999.html, 1999. Noviembre 2012.
- [19] I. T. Union, “Handbook national spectrum management,” tech. rep., International Telecommunication Union, 2005.
- [20] F. Rossi, P. van Beek, and T. Wals, *Handbook of Constraint Programming*. Oxford University, 2006.
- [21] K. R, *Principles of Constraint Programming*. Cambridge University, 2003.
- [22] P. V. Roy, “Second international conference, moz 2004, charleroi, belgium,” in *Multiparadigm Programming in Mozart/Oz*, 2004.
- [23] P. van Roy, “Conceptos, técnicas y modelos de programación.” Traducido por Juan Francisco Díaz.
- [24] A. N. del Espectro, “Estudio de análisis de toques de espectro radioeléctrico para servicios móviles terrestres,” tech. rep., MinTIC, Gobierno de Colombia, 2010.
- [25] M. Morara, J. Mauro, and M. Gabbrielli, “Solving xcsp problems by using gecode,” *University of Bologna*, 2011.
- [26] D. A. N. de Estadística, “Conceptos básicos de la organización territorial de colombia,” tech. rep., DANE, 2012.
- [27] B. V. del Banco de la República, “Listado de municipios de colombia-ayuda de tareas sobre geografía,” tech. rep., Banco de la República, 2005.
- [28] D. Buytaert., “Drupal open source cms.” <http://drupal.org/>, 2012. Noviembre 2012.
- [29] G. R. C. f. A. I. Saarland University, Swedish Institute of Computer Science, “The mozart programming system.” <http://www.mozart-oz.org/>, 2012. Noviembre 2012.
- [30] S. Pinagapany and A. Kulkarni, “Solving channel allocation problem in cellular radio networks using genetic algorithm,” in *Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008. COMSWARE 2008. 3rd International Conference on*, pp. 239–244, jan. 2008.
- [31] S. K. G de K. F. (Kim F.) Man, K. S. Tang, *Genetic Algorithms: Concepts and Design*. Springer, 1999. Page 26.

Anexos

Ejemplo entrada XML

Ejemplo de una entrada de una banda con 5 canales, dos operadores presentes y dos operadores que solicitan asignación.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<instance>
  <presentation nbSolutions="?" format="XCSP_2.1">
    Representacion entrada de problema gestion espectro radioelectrico
  </presentation>
  <dict>
    <entry key="GeograficAssigantionType">
      <i>1</i>
    </entry>
    <entry key="GeograficAssigantionID">
      <i>1</i>
    </entry>
    <entry key="FrequencyBand">
      <i>4</i>
    </entry>
    <entry key="FrequencyRank">
      <i>2</i>
    </entry>
    <entry key="NumberChannels">
      <i>5</i>
    </entry>
    <entry key="NumberPresentOperators">
      <i>2</i>
    </entry>
    <entry key="NumberOfOperatorWithRequirements">
      <i>2</i>
    </entry>
    <entry key="ChannelSeparation">
      <i>1</i>
    </entry>
    <entry key="PresentOperators">
      <list>
        <i>35</i>
        <i>16</i>
      </list>
    </entry>
    <entry key="OperatorsWithRequeriments">
      <list>
        <i>33</i>
        <i>35</i>
      </list>
    </entry>
    <entry key="Requeriments">
      <tuple>
        <i>
          <entry key="33">
            <i>2</i>
          </entry>
        </i>
        <i>
          <entry key="35">
            <i>3</i>
          </entry>
        </i>
      </tuple>
    </entry>
    <entry key="MaxAssignationsSubDivision">
      <tuple>
        <i>
          <entry key="33">
            <i>0</i>
          </entry>
        </i>
      </tuple>
    </entry>
  </dict>
</instance>
```

```

        </i>
        <i>
            <entry key="35">
                <i>0</i>
            </entry>
        </i>
    </tuple>
</entry>
<entry key="ChannelAssignInDivisions">
    <list>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
    </list>
</entry>
<entry key="ReservedChannels">
    <list>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
    </list>
</entry>
<entry key="DisabledChannels">
    <list>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
        <i>0</i>
    </list>
</entry>
<entry key="ChannelAssignment">
    <tuple>
        <i>
            <entry key="35">
                <i>
                    <list>
                        <i>0</i>
                        <i>0</i>
                        <i>0</i>
                        <i>0</i>
                        <i>0</i>
                    </list>
                </i>
            </entry>
        </i>
    </tuple>
    <i>
        <entry key="16">
            <i>
                <list>
                    <i>0</i>
                    <i>0</i>
                    <i>1</i>
                    <i>1</i>
                    <i>0</i>
                </list>
            </i>
        </entry>
    </i>
</tuple>
</entry>
<entry key="MaxChannelAssignmentByOperator">
    <i>10</i>
</entry>
</dict>
</instance>

```

Ejemplo salida XML

Ejemplo de una entrada de una banda con 5 canales, dos operadores que han obtenido asignación y dos soluciones.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<solutions authorXML="Carlos_Andres_Delgado_Saavedra" >
  <head solution="Optima">
    <geograficAssignmentType> 1 </geograficAssignmentType>
    <geograficAssignmentID> 1 </geograficAssignmentID>
    <frequencyBand> 4 </frequencyBand>
    <frequencyRank> 2 </frequencyRank>
    <channelsNumber> 29 </channelsNumber>
    <operatorsNumber> 5 </operatorsNumber>
    <channelSeparation> 1 </channelSeparation>
    <numberOperatorPerChannel> 1 </numberOperatorPerChannel>
    <considerTop> true </considerTop>
    <staticAssignment> true </staticAssignment>
    <considerSeparation> true </considerSeparation>
    <numSolutions> 2 </numSolutions>
    <spacesCreated> 1 </spacesCreated>
    <spacesSucceeded> 2 </spacesSucceeded>
    <FDVariables> 144909 </FDVariables>
    <propagators> 148028 </propagators>
    <memoryUsage> 339992 </memoryUsage>
    <executionTime> 410 </executionTime>
  </head>
  <solution id="0">
    <costs>
      <blocksNumber> 6 </blocksNumber>
      <difChannelNumberMaxBlockFree> 23 </difChannelNumberMaxBlockFree>
      <channelNumberUseless> 6 </channelNumberUseless>
      <totalCost> 1155 </totalCost>
    </costs>
    <report>
      <operator name="16">
        <channels>
          <channel ID="1"> 0 </channel>
          <channel ID="2"> 0 </channel>
          <channel ID="3"> 1 </channel>
          <channel ID="4"> 1 </channel>
          <channel ID="5"> 0 </channel>
        </channels>
      </operator>
      <operator name="18">
        <channels>
          <channel ID="1"> 1 </channel>
          <channel ID="2"> 0 </channel>
          <channel ID="3"> 0 </channel>
          <channel ID="4"> 0 </channel>
          <channel ID="5"> 0 </channel>
        </channels>
      </operator>
    </report>
  </solution>
  <solution id="1">
    <costs>
      <blocksNumber> 7 </blocksNumber>
      <difChannelNumberMaxBlockFree> 24 </difChannelNumberMaxBlockFree>
      <channelNumberUseless> 7 </channelNumberUseless>
      <totalCost> 1254 </totalCost>
    </costs>
    <report>
      <operator name="16">
        <channels>
          <channel ID="1"> 0 </channel>
          <channel ID="2"> 0 </channel>
          <channel ID="3"> 1 </channel>
          <channel ID="4"> 1 </channel>
          <channel ID="5"> 0 </channel>
        </channels>
      </operator>
      <operator name="18">
        <channels>
          <channel ID="1"> 1 </channel>
          <channel ID="2"> 0 </channel>
          <channel ID="3"> 0 </channel>
          <channel ID="4"> 0 </channel>
          <channel ID="5"> 0 </channel>
        </channels>
      </operator>
    </report>
  </solution>
</solutions>
```

Diagrama de flujo aplicativo basado en programación por restricciones

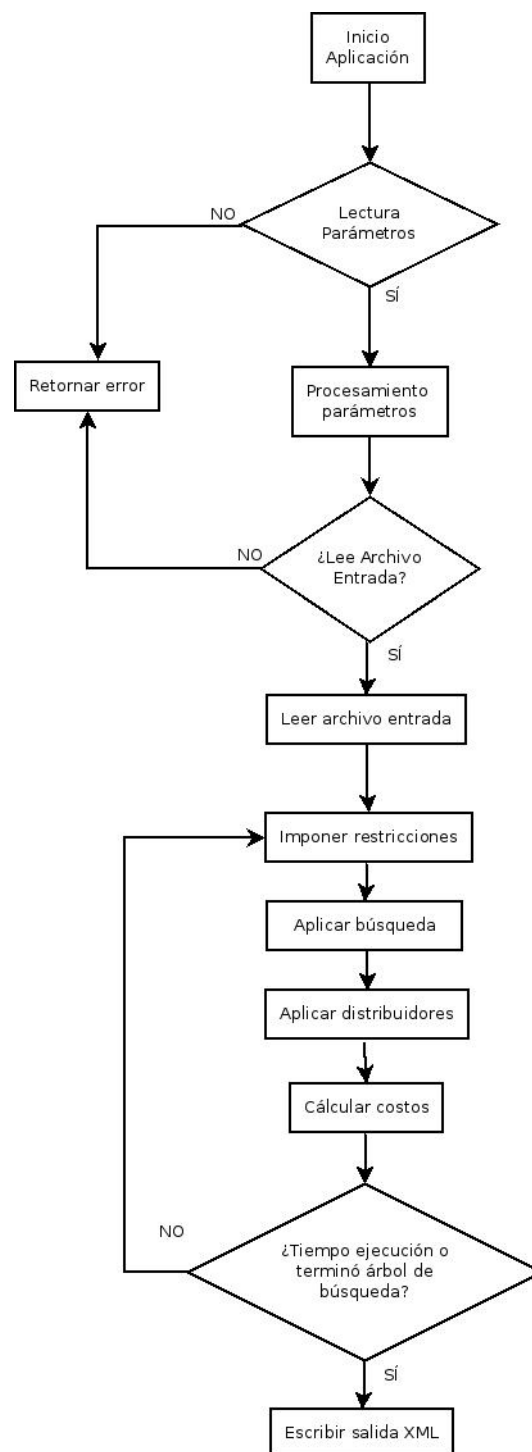


Figura 11.1: Diagrama de flujo del funcionamiento del aplicativo basado en programación por restricciones.

Modelo entidad relación

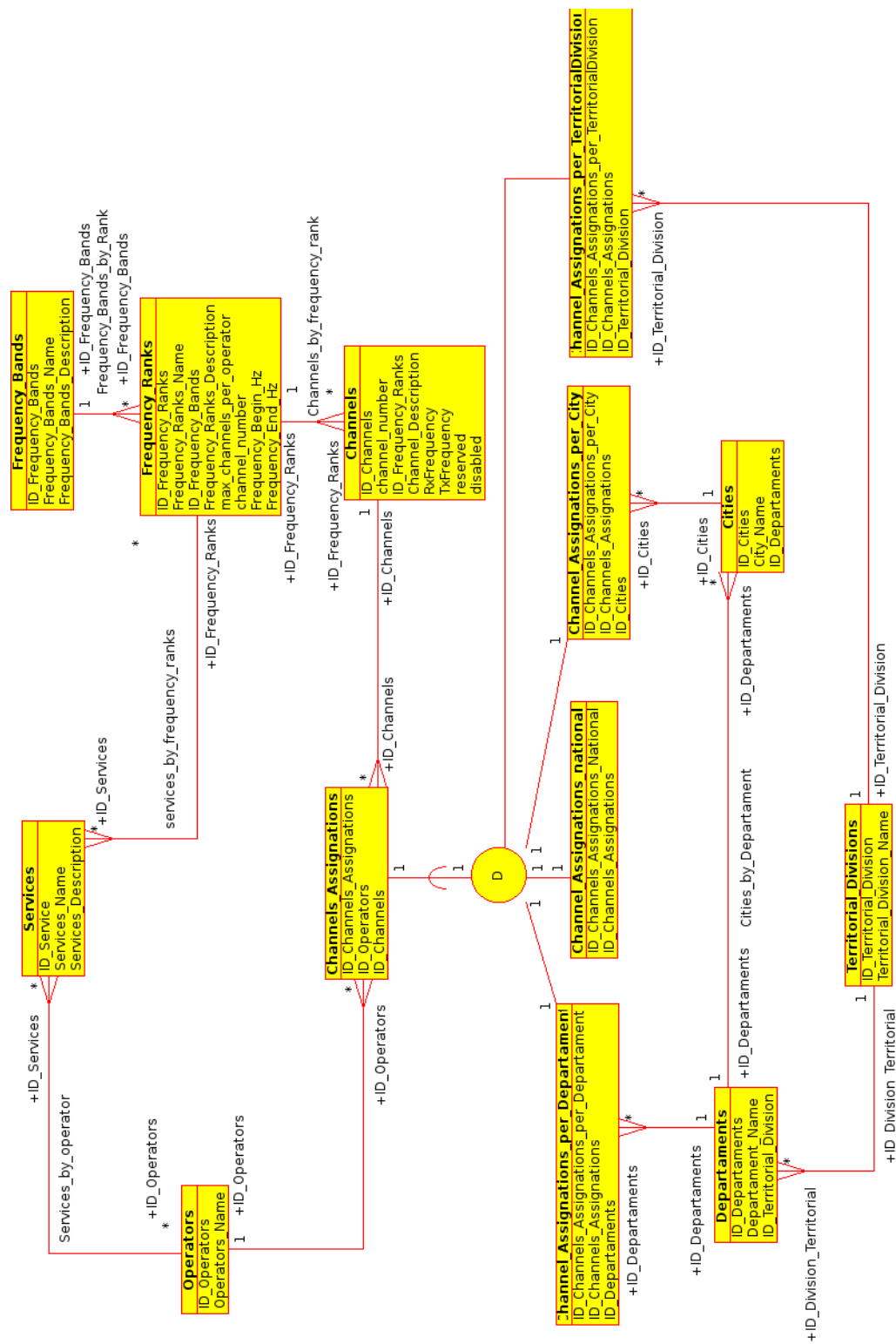


Figura 11.2: Modelo entidad relación del proyecto

Manuales de usuario

Consultas a base de datos

Existen dos tipos de consultas básicas: consultas por zona determinada o por rango de frecuencia. Usted puede elegir consultar a nivel nacional, en una entidad territorial, departamento o municipio. Las consultas requieren un poco de tiempo en desplegarse debido a que presentan información considerable, considere usar una conexión de al menos 516 kbps.

Selección de entidades territoriales
Usted puede seleccionar en que lugar se va realizar el proceso de asignación del espectro:

- Para nivel nacional no debe realizar ninguna selección geográfica
- A nivel regional seleccione la región específica
- A nivel departamental seleccione el departamento dentro de la región específica
- A nivel local seleccione el municipio dentro del departamento específico

Selección nacional

Seleccionar división territorial

Dirección Territorial Barranquilla

Seleccionar departamento

Figura 11.3: Filtro en la consulta por zona geográfica.

Usted puede elegir la zona geográfica que desea consultar.

Por operador

Selección operador

Emcalli

Consultar por operador

Figura 11.4: Filtro en la consulta por operador.

En esta pantalla usted puede elegir el operador al cual se va consultar su asignación.

Por Banda/Rango de frecuencia

Seleccione una banda de frecuencia

High Frequency HF 3 - 30 MHz

Seleccione un rango de frecuencia

Todos

Consultar por frecuencia

Figura 11.5: Filtro en la consulta por banda.

En esta consulta se puede elegir la banda que se desea consultar.

Gestión Operadores

Estas operaciones sólo las puede realizar un usuario con rol administrador de espectro.

Registrar Operador

Nombre operador:

Operador

Ingrese el nombre del operador, recuerde en no insertar un operador con nombre ya existente para evitar confusiones.

Agregar o quitar servicios

Gestión de servicios

Seleccione servicio:

Seleccionar

AGREGAR SERVICIO

Servicios que presta el operador

Nombre servicio	Acción
	GUARDAR

Lista de operadores registrados

Mostrar 10 registros

Buscar:

Operador	Acción
Agencia de vigilancia los carcinos LTDA	Editar
Agencia de vigilancia Lost	Editar
Agencia de vigilancia Titan	Editar
Amor Sterio	Editar
Bogota Alcaldia Mayor	Editar
Cain Ltda	Editar
Canal Cali	Editar
Canal Caracol	Editar
Canal Irravisión	Editar
Canal Tele antioquia	Editar
Operador	Acción

Mostrando desde 1 hasta 10 de 78 registros

Figura 11.6: Registrar operador

Para registrar un operador, usted debe definir sus parámetros y hacer clic en guardar.

Editar operador: Agencia de vigilancia los carcinos LTDA

Regresar

Nombre operador:

Agencia de vigilancia los carcinos LTDA

Ingrese el nombre del operador, recuerde en no cambiar el nombre por una ya existente.

GUARDAR

Agregar o quitar servicios

Gestión de servicios

Seleccione servicio:

Mi Servicio

AGREGAR

Servicios del operador

Mostrar 10 registros

Buscar:

Nombre servicio	Acciones
Servicio de aficionados	Eliminar
Servicio de aficionados por satélite	Eliminar
Servicio de investigación espacial	Eliminar

Figura 11.7: Editar operador.

Para editar un operador, puede editar cualquier de los cambios y servicios asociados a el.

Gestión Servicios.

Estas operaciones sólo las puede realizar un usuario con rol administrador de espectro.

Añadir servicio

Nombre servicio:

Ingrese el nombre del servicio, recuerde en no usar uno ya existente.

Descripción servicio:

Ingrese la descripción del nuevo servicio

Lista de servicios registrados

Mostrar registros Buscar:

Nombre servicio	Descripción	Acciones
Mi Servicio	Este es un servicio de prueba. Para testear las consultas a la BD	Editar
Servicio de aficionados	Servicio de radiocomunicación que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiofrenia con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.	Editar

Figura 11.8: Agregar servicio.

Para agregar un servicio, se debe definir un nombre y su descripción, finalmente hacer clic en guardar.

Editar Servicios

Nombre servicio:

Editar el nombre del servicio, recuerde en no usar uno ya existente.

Descripción servicio:

Edite la descripción del nuevo servicio

Figura 11.9: Editar servicio.

Aquí usted podrá editar los parámetros asociados de un servicio.

Gestión Rangos de Frecuencia

Estas operaciones sólo las puede realizar un usuario con rol administrador de espectro.

Seleccione banda

Por favor seleccione una banda de frecuencia y haga clic en seleccionar.

Selección banda:

Seleccione una banda de frecuencia para listar sus rangos asociados

Rangos de frecuencia asociados a banda: High Frequency HF

Añadir rango de frecuencia

Por favor haga clic en Mostrar/Ocultar para ver u ocultar el formulario para agregar un nuevo rango de frecuencia en la banda seleccionada.

Lista de frecuencias registradas

Por favor haga clic en Mostrar/Ocultar para ver u ocultar la lista de rangos de frecuencia asociados a la banda seleccionada.

Figura 11.10: Selección banda de frecuencia.

En esta pantalla usted podrá seleccionar la banda de frecuencia para realizar acciones sobre los rangos de frecuencia asociados a ella.

Rango de frecuencias:

Indique el rango de frecuencias de la nueva banda. Ejemplo: 10kHz - 20kHz.

Máximo número de canales por operador:

Máximo número de canales permitido por operador en la banda, debe ser mayor que 0.

Frecuencia inicial (Hz):

Ingrese la frecuencia inicial de la banda en Hz. Debe ser menor que la frecuencia final y mayor que 0.

Frecuencia final (Hz):

Ingrese la frecuencia final de la banda en Hz. Debe ser mayor que la frecuencia inicial.

Número de canales:

Ingrese el número de canales en el rango de frecuencias, una vez creada la banda podrá editarlos.

Separación mínima:

Indique la separación mínima entre canales de operadores diferentes.

Descripción rango de frecuencia:

Ingrese la descripción del nuevo rango de frecuencia

Descripción de canales rango de frecuencia:

Ingrese la descripción de los canales del rango, esto aplica para todos los canales pero puede ser editado posteriormente.

Ingrese las ecuaciones de frecuencias de transmisión de los canales

Frecuencia base Tx	Multiplicador	Frecuencia corrimiento	Divisor
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

Ingrese la fórmula de la frecuencia de transmisión de los canales. En todos los campos debe ingresar enteros mayores o iguales que 0, n es el número consecutivo del canal.

Ingrese las ecuaciones de frecuencias de recepción de los canales

Multiplicador	Divisor	Multiplicador	Frecuencia corrimiento	Divisor
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

Ingrese la fórmula de la frecuencia de recepción de los canales. En todos los campos debe ingresar enteros mayores o iguales que 0, n es el número consecutivo del canal.

Figura 11.11: Agregar banda de frecuencia.

En este campo usted podrá crear un nuevo rango de frecuencia, especificando cada uno de los datos del rango y las formulas que se aplican para el cálculo de las frecuencias de transmisión y recepción de cada uno de los canales del nuevo rango de frecuencia.

Lista de frecuencias registradas

Por favor haga clic en **Mostrar/Ocultar** para ver u ocultar la lista de rangos de frecuencia asociados a la banda seleccionada.

Mostrar/Ocultar Lista

Mostrar: 10 registros

Buscar:

Rango de frecuencia	Máximo número de canales por operador	Frecuencia inicial (Hz)	Frecuencia final (Hz)	Número de canales	Separación mínima	Descripción	Acciones
12230-13197 kHz	12	12230002	13197001	41	1	Transmisión para explotación dúplex en banda lateral única (canales de dos frecuencias) Banda de 12-14 MHz	Editar
16360-17408 kHz	10	16360000	17360000	56	1	Transmisión para explotación dúplex en banda lateral única (canales de dos frecuencias) Banda de 16 MHz	Editar
18823-19798 kHz	10	18823000	19798000	15	1	Transmisión para explotación dúplex en banda lateral única (canales de dos frecuencias) Banda de 18/19 MHz	Editar
22000-22853 kHz	10	22000000	22853000	53	1	Transmisión para explotación dúplex en banda lateral única (canales de dos frecuencias) Banda de 22 MHz	Editar

Figura 11.12: Lista de rangos de frecuencia registrados en una banda.

En esta pantalla, usted podrá elegir que rango de frecuencia desea editar.

Regresar

Rango de frecuencias:
12230 13197 kHz
Máximo número de canales permitido por operador en la banda, debe ser mayor que 0.

Máximo número de canales por operador:
52
Ingrese la frecuencia inicial de la banda en Hz. Debe ser menor que la frecuencia final y mayor que 0.

Frecuencia inicial (Hz):
12230002
Ingrese la frecuencia inicial de la banda en Hz. Debe ser menor que la frecuencia final y mayor que 0.

Frecuencia final (Hz):
13197001
Ingrese la frecuencia final de la banda en Hz. Debe ser mayor que la frecuencia inicial.

Separación mínima:
1
Indique la separación mínima entre canales de operadores diferentes.

Descripción rango de frecuencia:
Transmisión para explotación dúplex en banda lateral única (canales de dos frecuencias) Banda de 12-14 MHz

Ingrese la descripción del nuevo rango de frecuencia

Guardar

Figura 11.13: Editar rango de frecuencia.

La operación editar rango de frecuencia permite editar los parámetros asociados a un rango de frecuencia.

Mostrar: 10 registros

Buscar:

Número de canal	Descripción del canal	Frecuencia de transmisión (Hz)	Frecuencia de recepción (Hz)	¿Está reservado?	¿Está deshabilitado?	Acciones
1	Frecuencia estaciones costeras y barco Reservado	13077001	13077001	Si	Si	Editar
2	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
3	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
4	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
5	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
6	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
7	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
8	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
9	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar
10	Frecuencia estaciones costeras y barco	13080000	13080000	No	No	Editar

Número de canal: Mostrando desde 1 hasta 10 de 10 registros

Figura 11.14: Lista de canales asociados a un rango de frecuencia.

Es la lista de canales asociados a un rango de frecuencia, si usted desea editar alguno de ellos debe hacer clic en *Editar*.

Ayuda

Regresar

Frecuencia transmisión (Hz):
13077001
Indique la frecuencia de transmisión del canal

Frecuencia recepción (Hz):
12230000
Indique la frecuencia de recepción del canal

¿Está reservado?
☒
Indique si el canal está reservado.

¿Está deshabilitado?
☒
Indique si el canal está deshabilitado.

Descripción canal:
Frecuencia estaciones costeras y barco Reservado

Ingrese la descripción del canal

Guardar

Figura 11.15: Editar canal.

Al hacer clic en editar, usted puede editar los parámetros asociados a un canal de un rango de frecuencia.

Gestión Entradas XML

Ingresar XML de entrada:

Choose file No file chosen

Guardar

Archivos de entrada en el sistema

Mostrar: 10 registros

Buscar:

Archivo	Visualizar	Descargar	Acción
entrada.xml	Ver entrada	Descargar	Borrar
entradaGrande.xml	Ver entrada	Descargar	Borrar
entradaGrande2.xml	Ver entrada	Descargar	Borrar
entradaGrande3.xml	Ver entrada	Descargar	Borrar
entradaMenor.xml	Ver entrada	Descargar	Borrar

Mostrando desde 1 hasta 5 de 5 registros

Figura 11.16: Lista de entradas XML almacenadas en el sistema.

La gestión de entradas XML permite visualizar, descargar y borrar las entradas XML propias de un usuario.

Gestión Salidas XML

Ingresar XML de salida:

Choose file No file chosen

Guardar

Archivos de salidas en el sistema

Mostrar: 10 registros

Buscar:

Archivo	Descargar	Visualizar	Acción
genetico.xml	Descargar	Ver solución	Borrar
salida30Hz.xml	Descargar	Ver solución	Borrar
salida7.xml	Descargar	Ver solución	Borrar
salidaVariaXML.xml	Descargar	Ver solución	Borrar

Mostrando desde 1 hasta 4 de 4 registros

Figura 11.17: Lista de salidas XML almacenadas en el sistema.

La gestión de salidas XML permite visualizar, descargar y borrar las salidas XML propias de un usuario.

Generador de entradas

En el generador de entradas, usted debe seleccionar la zona geográfica y la banda de frecuencia en donde desea realizar un requerimiento, una vez hecho éste proceso puede proceder a crear los requerimientos de la entrada.

Operador	Número de canales requeridos
San Diego	2
San José	2
San Juan	2

Figura 11.18: Especificación de requerimientos.

Una vez haga la creación de requerimientos podrá generar la entrada XML y almacenarla en el sistema.

Actualizar Base de datos

Estas operaciones sólo las puede realizar un usuario con rol administrador de espectro.

Selecciones archivo de entrada:

Choose File No file chosen

Selección salida almacenada:

Ninguna

Seleccione una entrada predefinida, ninguna si desea cargar un archivo.

Cargar archivo

A continuación usted podrá elegir una de las soluciones que c

Figura 11.19: Selección salida XML para actualizar base de datos.

Usted debe seleccionar un archivo de salida o ingresar uno, para registrar su información a la base de datos.

Solución #	Ver solución	Almacenar solución en Base de datos
Solución #0		

Importante: Si existe una asignación actual esta será sobrescrita por la especificada en el archivo

Figura 11.20: Selección entrada XML para actualizar base de datos.

Es importante aclarar que una asignación con datos incorrectos, puede comprometer la integridad de los datos de la base de datos.

Aplicativos

Existen dos aplicativos en el proyecto, por programación por restricciones y por algoritmo genético.

Selecciones archivo de entrada:

Choose File No file chosen

Selección entrada definida:

Ninguna

Seleccione una entrada predefinida, ninguna si desea cargar un archivo.

Selección motor de búsqueda:

Mejor costo

Escoja el motor de búsqueda.

Selección estrategia distribución:

Asignar primero al inicio de la banda

Escoja la distribución de búsqueda con se realizará la solución del problema.

Peso número de bloques:

33

Ingrese peso costo número de bloques

Peso máximo bloque de canales libres:

33

Ingrese peso costo de bloque de canales libres

Peso número de canales inútiles:

33

Ingrese peso costo Peso número de canales inútiles

Tiempo de ejecución:

3

Ingrese el tiempo de ejecución máximo en segundos (s)

Número máximo de soluciones por iteración:

10

Número de soluciones

Nivel de recomputación:

1

Ingrese el nivel de recomputación

Figura 11.21: Aplicativo por programación por restricciones.

Fortaleza y flexibilidad de restricciones

Selecciones el número de iteraciones que desea realizar:

1

Iteración 1

☐ No considerar separación.

☐ No considerar topa.

☐ Canales en operadores que solicitan asignación se pueden mover.

Número de operadores por canal:

1

Número de operadores por canal (en casos especiales: 0)

Ejecutar

Figura 11.22: Flexibilidad y debilidad de restricciones.

En la flexibilidad se pueden definir que restricciones no se toman en cuenta y decidir cuantas iteraciones se van a realizar.

Los resultados se despliegan mostrando la información general de la ejecución, un listado de soluciones encontradas y el detalle de que cada solución.

Figura 11.24: Información general acerca de una salida XML.

Figura 11.24: Información general acerca de una salida XML.

Figura 11.24: Información general acerca de una salida XML.

Figura 11.24: Información general acerca de una salida XML.