



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

OPTIMIZACIÓN DE ASIGNACIÓN DE CAMPOS CLÍNICOS EN LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS CON HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

PABLO ANDRÉS CASTELLETTO PUÑO

PROFESOR GUÍA:
CLAUDIO HELD BARRANDEGUY

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HÉCTOR AGUSTO ALEGRÍA
LEONARDO CAUSA MORALES

SANTIAGO DE CHILE
2015

OPTIMIZACIÓN DE ASIGNACIÓN DE CAMPOS CLÍNICOS EN LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS CON HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA COMPUTACIONAL

Los campos clínicos son establecimientos como clínicas, hospitales y diversas instituciones del área de la salud que atienden pacientes. Los alumnos universitarios del área de la salud requieren asistir a campos clínicos como requisito básico para aprobar los cursos prácticos incluidos en los currículos de las universidades. Cada universidad que imparte carreras del área de la salud debe conseguir campos clínicos que les faciliten sus instalaciones, y personal para que sus alumnos realicen sus cursos prácticos. Algunas universidades cuentan con sus propios campos clínicos; las que no los tienen, deben establecer convenios con instituciones que manejen campos clínicos. Estos convenios son acuerdos bajo contrato entre dos entidades, que reglamentan deberes y derechos para el uso de campos clínicos.

La Universidad de las Américas no cuenta con campos clínicos como recurso propio y tiene más de 5000 estudiantes en carreras pertenecientes al área de salud que necesitan asistir a campos clínicos. Actualmente mantiene más de 100 convenios con diversas entidades de salud para cumplir con el requerimiento curricular.

La asignación de cada uno de sus estudiantes a campos clínicos representa una tarea compleja, debido al alto número de alumnos a asignar y las distintas variables asociadas a los convenios y sus campos clínicos, como por ejemplo: el horario, las características propias cada curso, número máximo de alumnos asociado a un supervisor, etc. Un problema adicional es la falta de un estándar de convenios, una estructura de datos que indique cuales son las variables más relevantes de cada convenio para el proceso de asignación. Actualmente el proceso de asignación se realiza de forma manual. Considerando su complejidad, la falta de un estándar de convenios y una gran diferencia entre el costo predicho y el real del proceso, el equipo de gestión de la Universidad de las Américas estima que el proceso es ineficiente y mejorable. El objetivo del presente trabajo es implementar un sistema que permita automatizar y mejorar el proceso de asignación de campos clínicos a alumnos de la Universidad de las Américas. Para ello, se propone plantear el proceso de asignación como un problema de optimización multi-objetivo y el uso de herramientas de inteligencia computacional como principal método de resolución.

El sistema se implementó exitosamente y en una prueba simplificada que simuló el proceso de asignación de los alumnos de la sede Viña del mar de la Universidad de las Américas en el primer semestre del año 2014, se logró una reducción de los costos de asignación de un 20% con respecto costo real.

A mi familia y amigos

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi familia, por el apoyo incondicional en todo ámbito de mi vida y por haberme enseñado a siempre mejorar como persona. Si no hubiese sido por ellos no habría llegado hasta aquí.

Agradezco a Javier Causa por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y a mi profesor guía Claudio Held por sus sabios consejos.

No puedo quedarme sin agradecer a mis amigos de siempre: Peyukin, Pipito, Hemo, Matito, Smithsu, Cordero, Tomasin, Nachkinz, Narduth y Dany por todos los OW e incontables momentos maravillosos que seguramente me sacarán carcajadas por el resto de mis días. Mención especial a Matías por las infinitas sesiones de animé, videos, música, películas, tarreos, fracasos, conversa y estudio.

Agradezco a los brony-amigos, por todas las juntas que me alejaron completamente de la rutina, la burbuja universitaria y todo lo considerado normal.

Agradezco a mi polola Karinita LPH, por alegrarme el diario vivir, por todos esos momentos inolvidables, por los recuerdos felices y hasta por los que no son tan felices, pero igualmente verdaderos.

Nuevamente agradezco a Karinita Santelices y Felipe Smith por acompañarme y apoyarme en los últimos momentos de esta aventura.

Y finalmente gracias a Marita, Nelson, Pau Pau, Nicole, Gaby, Maca, amigo pipe, Eve, Álvaro, los Nerds del lab, Yoshi y todos aquellos que me acompañaron e hicieron más feliz mi camino por la universidad.

Tabla de Contenido

Capítulo 1: INTRODUCCION	1
1.1 Contenido de los capítulos	1
1.2 Fundamentación	1
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.3.3 Propuesta	4
Capítulo 2: CONTEXTUALIZACION.....	6
2.1 Campos clínicos.....	6
2.1.1 Tipos de campos clínicos en Chile	6
2.1.2 Demanda de campos clínicos.....	8
2.2 Universidad de las Américas (UDLA).....	11
2.2.1 Sedes de la UDLA	11
2.2.2 Acreditación	11
2.2.3 Facultad de ciencias de salud y campos clínicos	13
2.2.4 Matrícula	13
2.2.5 Convenios.....	14
2.2.6 Características de los cursos prácticos del área de salud	16
2.3 Revisión Bibliográfica	18
2.4 Conceptos y Herramientas a Utilizar	19
2.4.1 Optimización	19
2.4.2 Algoritmos genéticos	22
2.4.3 NSGA II	26
2.4.4 Tipos de variables.....	29
2.4.5 Optimización por asignación de prioridades	30
Capítulo 3: IMPLEMENTACION	31
3.1 Etapa 1: Reconocer los agentes involucrados en el problema.....	32
3.1.1 Base de datos UDLA	32
3.1.2 Base de datos alumnos	35
3.1.3 Base de datos de convenios.....	36
3.2 Etapa 2: Fuentes de datos y uso del sistema.....	40
3.2.1 Fuentes de tabla de alumnos	41
3.2.2 Fuentes de tablas de convenios	44
3.3 Etapa 3: Separación de los convenios por zonas	47

3.4	Etapa 4: Selector de Convenios	47
3.4.1	Descripción de los algoritmos genéticos.....	48
3.5	Etapa 5: Unión de convenios actualizados por zona.....	54
3.6	Etapa 6: Separación de convenios y alumnos por zona, carrera, tipo y pasantía o internado.....	54
3.6.1	División por zona (Z).....	55
3.6.2	División por carrera (C).....	55
3.6.3	División por tipo (T).....	55
3.6.4	División por pasantía o internado (Pol).....	55
3.6.5	Salida de la etapa 6	55
3.7	Etapa 7: Asignación de actividades a convenios	55
3.7.1	Descripción de los algoritmos genéticos.....	56
3.8	Etapa 8: Agrupación de actividades en cursos	65
3.9	Etapa 9: Asignación de rotaciones.....	66
3.9.1	Preparación de la entrada	66
3.9.2	Elegir el número de alumnos que participa en la rotación	70
3.9.3	Agrupar grupos de alumnos de una misma actividad.....	71
3.9.4	Asociaciones Campo clínico – Grupo de alumnos.....	72
3.9.5	Combinación de asociaciones de distintas actividades	73
3.9.6	Evaluación de Combinaciones	75
3.9.7	Formación de rotaciones:	76
3.9.8	Asignación temporal:	76
3.9.9	Selección de alumnos.....	77
3.10	Etapa 10: Resultados.....	78
Capítulo 4:	Análisis de Resultados	79
4.1	Prueba zona VL	79
4.1.1	Base de datos de alumnos	79
4.1.2	Convenios.....	80
4.1.3	Resultados de la etapa 4 de selección de convenios	81
4.1.4	Resultados en la etapa 7 de asignación de actividades a convenios	84
4.1.5	Resultados en la etapa 9 de asignación de rotaciones.....	86
4.2	Prueba convenios simulados	90
4.2.1	Resultados prueba simulada	91
Capítulo 5:	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
	Bibliografía	95
	Anexo 1: Convenios UDLA.....	i

Anexo 2: Datos por defecto de los convenios UDLA de la zona VL ii
Anexo 3: Pautas de evaluación de los centros de práctica iv

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Incrementos de matrícula y tasas de crecimiento anual de matrícula por área de conocimiento durante los periodos 1990-1999 y 2000-2009 [13]. Tanto el incremento como la tasa del área de salud son mayores a todas las demás en el período 2000-2009.	9
Tabla 2-2: Sedes de la Universidad de las Américas	11
Tabla 2-3: Carreras de la Universidad de las Américas	13
Tabla 2-4: Número de alumnos matriculados por universidad en el año 2014 [22].....	13
Tabla 2-5: Ejemplos de cursos prácticos de la UDLA y sus características. Cada curso puede tener una o más actividades que los alumnos deben cumplir. Las actividades tienen a su vez un tipo que indica la clase de campo clínico en que debe realizarse y un número de horas necesario para cumplirlas. Además las actividades pueden ser de pasantía o internado, característica que heredan del curso al que pertenecen.	16
Tabla 3-1: Carreras del área de salud de la UDLA junto a la sigla que la representa	33
Tabla 3-2: Tabla de sedes y zonas de la UDLA con sus respectivas ID	33
Tabla 3-3: Ejemplo de cursos del área de salud de la UDLA junto a sus características como el semestre en el que se imparte y si se trata de una pasantía o internado	34
Tabla 3-4: Tipos de actividades en la UDLA	34
Tabla 3-5: Ejemplo de actividades en la UDLA y sus características correspondientes a los primeros 3 cursos de la Tabla 3-3. Entre sus características están el número de horas necesario para cumplirlas y el tipo de campo clínico en el que se debe realizar .	35
Tabla 3-6: Estructura de datos de alumnos y actividades. Se muestra cada campo de la estructura junto a una breve descripción, el tipo de variable, un ejemplo y el rango si es que aplica (Ver sección 2.4.4)	35
Tabla 3-7: Estructura de datos de convenios y campos clínicos. Se muestra cada campo de la estructura junto a una breve descripción, el tipo de variable, un ejemplo y el rango si es que aplica (Ver sección 2.4.4).....	37
Tabla 3-8: Ejemplo del campo “Horario” para un campo clínico. Cada intervalo de tiempo del campo clínico se representa por un “1” si se encuentra disponible y por un “0” en caso contrario	38
Tabla 3-9: Ejemplo de número de cupos y alumnos por supervisor de enfermería para un campo clínico	39
Tabla 3-10: Ejemplo del campo de asignación de un campo clínico. Se muestran 3 actividades definidas por la ID del curso al que pertenecen y la ID de la actividad dentro del curso junto a su categoría dada por la carrera y tipo al que pertenecen y si corresponde a una pasantía o internado (Pol). Junto a las actividades se incluyen la cantidad de alumnos asignados en la etapa 7 del proceso (Ver sección 3.7) junto a los cupos que representan. También se muestran los cupos por categoría disponibles por el campo clínico para comprobar que los cupos asignados por categoría no superen este valor. En el ejemplo las primeras dos actividades pertenecientes a los cursos de ID 4 y 2 respectivamente tienen la misma categoría por lo que los cupos de tal categoría utilizados por éstas actividades es $3.5+3.5=7$, número igual a los cupos disponibles. También se muestra la cantidad de alumnos y cupos que asignados en la etapa 9 (Ver sección 3.9). Estos valores pueden diferir con los de la etapa 7 debido a conflictos de horario. Finalmente se muestran los alumnos sobrantes de la etapa 7, valor que el sistema utiliza para considerar que los grupos de alumnos asignados están incompletos (Ver sección 3.7.1.3)	39

Tabla 3-11: Objetivos del sistema según fuente de datos	40
Tabla 3-12: Base de datos de alumnos generada con los datos indicados en el cuadro de registro del programa simulador de la Figura 3-3. En la tabla se muestra el desglose de cada curso de cada alumno en actividades y sus características como en la Tabla 3-5	42
Tabla 3-13: Ejemplo de parte de los alumnos ingresados a la UDLA. La tabla contiene alumnos de todas las carreras de la universidad	43
Tabla 3-14: Ejemplo de tabla de alumnos resultante luego filtrar los alumnos del área de salud de la Tabla 3-13 y desglosar sus cursos en sus respectivas actividades como en la Tabla 3-5	43
Tabla 3-15: Ejemplo de demanda de cupos de la zona RM. La demanda es la sumatoria de los cupos requeridos por cada alumno para cada categoría Zona/Curso/Tipo/Pol (Ver sección 3.1.2.1)	48
Tabla 3-16: Ejemplo de una solución de la etapa 4 de selección de convenios. Se muestran 4 convenios de C1 a C4 y se indica si sus cupos son o no modificables. Si no lo son, sólo tienen una variable que tiene valor 1 si el convenio está activo y 0 en caso contrario. Los demás convenios comparten la variable anterior pero además tienen una más por cada carrera en la que tengan cupos. Estas últimas indican la cantidad de cupos que se van a utilizar de la carrera a la que corresponda. Las variables asociadas a carreras se ignoran si el convenio no está activo como es el caso de C4, por ello, sus variables se encuentran en amarillo mientras que las demás en están en verde.	49
Tabla 3-17: Ejemplo de demanda de cupos de la zona RM junto a los cupos proporcionados por un grupo de convenios cualquiera. La demanda es la sumatoria de los cupos requeridos por cada alumno para cada categoría Zona/Curso/Tipo/Pol (Ver sección 3.1.2.1)	52
Tabla 3-18: Ejemplo de alumnos pertenecientes a la categoría RM/ENF/OIS/Pasantía luego de pasar por la etapa 6. En el ejemplo hay 50 alumnos en la actividad de ID 1 que forma parte del curso ENF402 y 100 alumnos en la actividad de ID 2 que forma parte del curso ENF600 además se muestran algunas características de las actividades y los cupos en total que representan los alumnos	57
Tabla 3-19: Ejemplo de campos clínicos filtrados para la categoría RM/ENF/OIS/Pasantía	57
Tabla 3-20: Ejemplo de cálculo del número máximo de grupos para los campos clínicos presentados en la Tabla 3-19 y las actividades de Tabla 3-18.....	58
Tabla 3-21: Solución no factible generada al azar para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. En azul se muestra el número de alumnos asignados para cada combinación entre campo clínico y actividad de la categoría filtrada. Además se muestran los límites para cada combinación encontrados en Tabla 3-20. Esta solución es no factible porque la cantidad de cupos del convenio CC1 para esta categoría es superada.....	59
Tabla 3-22: Solución factible para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. En azul se muestra el número de alumnos asignados para cada combinación entre campo clínico y actividad de la categoría filtrada. Además se muestran los límites para cada combinación encontrados en Tabla 3-20. Además se agrega la codificación a número binario de cada variable y la cadena formada por la concatenación de las variables binarias que representa a la solución dentro del algoritmo genético. El número de dígitos del número binario de cada variable está dado por el límite superior.....	61
Tabla 3-23: Salida posible de la etapa 6 para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. La salida incluye la cantidad de alumnos y grupos de alumnos (en azul) asignados por combinación campo clínico e actividad y los cupos que requieren para su asignación .	64

Tabla 3-24: Ejemplo de solución final mostrada en Tabla 3-23 considerando alumnos sobrantes o excedentes de acuerdo a la cantidad de alumnos por actividad dados en Tabla 3-18.....	65
Tabla 3-25: Ejemplo de entrada de a la etapa 9. Se muestran 7 campos clínicos nombrados de CC1 a CC7 junto a su campo “Número de alumnos por supervisor” (Ver Tabla 3-7) y el número de grupos que tienen asignados a 2 actividades genéricas 1 y 2. Un campo clínico puede estar asociado a más de una actividad como es el caso de CC2. Además se incluyen los alumnos excedentes mencionados en Tabla 3-24.....	67
Tabla 3-26: Tabla 3-25 reordenada para considerar los alumnos excedentes. Se extrae un grupo de alumnos del campo clínico CC3 y se agrega como otra columna. La nueva columna tiene sólo 1 grupo asignado y la cantidad de alumnos por supervisor es la cantidad original menos la cantidad de alumnos excedentes. Además se agregan otros campos de la estructura de datos como “Puntaje” y “Sede Preferente” que se utilizan en esta etapa (Ver Tabla 3-7). También se incluye la variable “Tiempo fijo” que indica si los grupos están obligados a ser asignados en un intervalo de tiempo específico. Esta variable se inicializa como vacía para todos los campos clínicos	67
Tabla 3-27: Ejemplos del proceso de división de horarios de acuerdo al procedimiento mencionado en sección 3.9.1	69
Tabla 3-28: Evaluación de propuestas del ejemplo de la Tabla 3-28 utilizando el procedimiento de la sección 3.9.2. En verde se marca la mejor propuesta	70
Tabla 3-29: Ejemplo de combinaciones de grupos de alumnos para la actividad 1 del ejemplo iniciado en Tabla 3-26. Estos resultados se obtienen siguiendo el procedimiento de la sección 3.9.3 con el valor de la propuesta P=8.....	72
Tabla 3-30: Ejemplo de combinación de asociaciones para una misma actividad, en este caso la actividad 1 del ejemplo iniciado en la Tabla 3-26. Estos resultados se obtienen asociando distintos campos clínicos a las combinaciones encontradas en la Tabla 3-29.....	73
Tabla 3-31: Ejemplo de combinación de asociaciones para cada actividad del ejemplo iniciado en la Tabla 3-26	74
Tabla 3-32: Ejemplo de combinaciones entre actividades distintas para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-26. Son las combinaciones de una asociación de actividad 1 y otra de actividad 2 mostrados en la Tabla 3-31.....	74
Tabla 4-1: Resumen de alumnos y sus actividades para el primer semestre de 2014 en VL.....	79
Tabla 4-2: Resumen de convenios utilizados para semestre de 2014 en VL destacando si se encuentran activos en las tres pruebas realizadas máximo, promedio y mínimo ..	80
Tabla 4-3: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación. El color rojo indica que los cupos dados por los convenios para alguna categoría no alcanzan a los necesarios	81
Tabla 4-4: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1) y luego de etapa de selección de convenios (E4). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.....	83
Tabla 4-5: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1), luego de etapa de selección de convenios (E4) y después de la asignación de grupos de alumnos (E7). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.	84

Tabla 4-6: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1), luego de etapa de selección de convenios (E4), después de la asignación de grupos de alumnos (E7) y finalmente luego de la asignación de rotaciones (E9). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.86

Tabla 4-7: Ejemplo de la tabla final para tres alumnos asignados en la prueba de la zona VL. Cada fila de la tabla muestra una actividad correspondiente a un alumno junto a su categoría, el horario y fecha de asistencia, el convenio y el campo clínico en el que el alumno debe realizar la actividad, los costos asociados, datos de llenado de los cupos del campo clínico para la categoría de la actividad y datos de llenado para la categoría en general. Se indican con un -1 en el campo convenio y otros cuando la actividad no se logra asignar.....87

Tabla 4-8: Costos y número de actividades (N° de Act) asignadas de cada convenio para cada aproximación de cupos en la prueba de la zona VL. Los costos indicados son el costo fijo (Fijo), variable (Var), por supervisión (Sup) y total (Tot).....89

Tabla 4-9: Horarios posibles para la prueba de convenios simulados H1, H2, H3 y H4.90

Tabla 4-10: Resumen de la prueba de convenios simulados y sus resultados para las etapas más importantes del algoritmo (Etapa 1, Etapa 4, Etapa 7 y Etapa 9). En rojo se indica que los cupos asignados en una etapa son menores que los necesarios91

Índice de Figuras

Figura 2-1: Evolución del número de universitarios de pregrado por áreas de conocimiento (1983-2009) [13]. Se aprecia un alto crecimiento en las matrículas del área de salud durante el periodo 2000-2009.....	9
Figura 2-2: Número de alumnos matriculados en la UDLA en los últimos años. En azul se muestran el total de alumnos y en rojo los alumnos del área de salud.	14
Figura 2-3: Ejemplo de optimización de un objetivo. La función a optimizar es $fx = x^2 - 5$ y su valor óptimo resulta ser -5 para el valor $x=0$ marcado con una cruz en verde sobre la curva.....	20
Figura 2-4: Ejemplo de optimización de un objetivo con una restricción. En azul se muestra la función a optimizar que es $fx = x^2 - 5$ y en rojo la restricción asociada al problema que es $fx \geq gx = x + 1$. Bajo estas condiciones el valor óptimo que se encuentra es -1 que se alcanza para $x=-2$, punto marcado en verde	20
Figura 2-5: Ejemplo de frente de Pareto para 2 funciones objetivo. Las x representan posibles soluciones a un problema descrito por dos funciones objetivo $F1$ y $F2$, que se quieren minimizar. Las x marcadas en verde son óptimas relativas (OR) y las marcadas en rojo no lo son (NOR). La solución $P3$ no es óptima, porque la solución $P2$ tiene el mismo valor en $F1$, pero uno mejor en $F2$. Esto significa que $P2$ domina a $P3$, así como también a las demás soluciones que se encuentran dentro del rectángulo achurado. Las soluciones $P1$ y $P2$, ambas sobre la curva que describe el frente de Pareto son óptimas relativas, pero con diferentes valores para $F1$ y $F2$	22
Figura 2-6: Ejemplo de recombinación en un punto. Los rectángulos de colores corresponden a la cadena binaria que representa a cada individuo. La barra que los corta, representa el punto de entrecruzamiento que se elige de forma aleatoria. El resultado del proceso de recombinación son 2 individuos descendientes cuya cadena binaria se intercambia de un padre a otro cuando se llega a un punto de entrecruzamiento.....	24
Figura 2-7: Ejemplo de recombinación en dos puntos. Los rectángulos de colores corresponden a la cadena binaria que representa cada individuo. Las barras que los cortan, representan los puntos de entrecruzamiento que se eligen de forma aleatoria. El resultado del proceso de recombinación son 2 individuos descendientes cuya cadena binaria se intercambia de un padre a otro cuando se llega a un punto de entrecruzamiento.....	24
Figura 2-8: Ejemplo de mutación. Cada valor de la cadena tiene una probabilidad de mutar de acuerdo a la probabilidad de mutación, en el ejemplo, muta el segundo valor de la cadena que representa un individuo cambiando de 0 a 1	24
Figura 2-9: Diagrama de un algoritmo genético simple	25
Figura 2-10: Diagrama del algoritmo genético NSGA II	28
Figura 2-11: Tipos de variables	29
Figura 3-1: Diagrama resumen del sistema de asignación, los recuadros blancos indican un proceso, los amarillos las entradas/salidas y los puntos que el proceso se repite para cada entrada. Las primeras dos etapas están relacionadas con la obtención de la base de datos, las siguientes 7 con la resolución del problema de asignación y la última con los resultados.	31
Figura 3-2: Bases de datos (BD) UDLA	32
Figura 3-3: Captura del programa de simulación de bases de datos de alumnos. Para asignar alumnos se debe elegir su sede, el curso que requieren realizar asociado a	

alguna carrera específica y luego su cantidad. Finalmente se presiona “Añadir” y se repite el proceso para otros cursos. Cuando estén considerados todos los cursos se presiona el botón “Listo”	41
Figura 3-4: Captura del programa implementado para agregar y estandarizar convenios. Para utilizarlo se debe elegir el convenio a editar en el campo “Convenio” y modificar el resto de las características del convenio que se encuentran en el mismo panel. Este procedimiento es análogo para los campos clínicos, se selecciona el campo clínico en la casilla “Centro Clínico” y luego se modifican sus demás campos . Para terminar se presiona “Listo” y para crear otro convenio “Nuevo Convenio”. En la parte inferior del programa se pueden ver las instrucciones en forma más detalladas y el historial de cambios realizados.....	45
Figura 3-5: Separación de convenios por zonas (Z). Actualmente la UDLA tiene 3 zonas mencionadas en la Tabla 2-2	47
Figura 3-6: Diagrama resumen de la etapa 4 para la zona 1 (Z1). Primero se calcula la demanda de los alumnos de cada zona de la UDLA y luego se aplica la selección de convenios a los convenios de cada zona por separado teniendo como entrada sus respectivos convenios y demanda de cupos.....	47
Figura 3-7: Gráfico de la función f que prioriza siempre que sobren cupos a que falten en el grupo de convenios seleccionados. Además beneficia las combinaciones de convenios en las que sobre la cantidad mínima de cupos	53
Figura 3-8: Diagrama resumen de la etapa 5. Simplemente se vuelven a unir los datos de los convenios, pero esta vez con los convenios seleccionados, situación que se denota con un asterisco	54
Figura 3-9: Diagrama resumen de la etapa 6. Se separan las bases de datos para cada categoría Zona (Z)/Carrera (C)/Tipo (T)/Pasantía o Internado (Pol)	54
Figura 3-10: Diagrama de la etapa 7. Las bases de datos de cada una de las categorías Zona (Z)/Carrera (C)/Tipo (T)/Pasantía o Internado (Pol) entran por separado al proceso al proceso de asignación. El resultado son las cantidades de actividades de cada categoría asignadas a distintos campos clínicos.....	56
Figura 3-11: Diagrama de la etapa 8. Las asignaciones de actividades por categoría encontradas en la etapa 7 se reorganizan por cursos en cada zona utilizando la base de datos de cursos de la UDLA.....	65
Figura 3-12: Diagrama de la etapa 9 para el curso genérico 1 en la zona genérica 1 de 2 actividades. Primero se generan combinaciones de distintos campos clínicos (CCs) en los que se puedan asignar en total z alumnos, es decir, z actividades (Act) 1 y z actividades 2 en total. Luego se escoge la mejor combinación de acuerdo a ciertos criterios. En el caso del ejemplo resultado ser asignar 3 actividades 1 a CC1 y 3 actividades 2 a CC2. Después se escoge la fecha en que se asignan las actividades en el recuadro de ubicación temporal. En el ejemplo 3 alumnos asisten a la actividad 1 en la fecha T1 y a la actividad 2 en la fecha T2. Finalmente se escoge cual es la identidad de los 3 alumnos. Este proceso se repite hasta asignar a todos los alumnos del curso	66
Figura 3-13: Captura del programa de intercambio de alumnos.	78
Figura 4-1: Frente de Pareto encontrado en la etapa 4 para las tres formas de estimación de cupos: a) máximo, b) promedio y c) mínimo para la prueba de la zona VL. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. Para todos los casos se alcanza una convergencia muy temprana ya que sólo se aprecian puntos de la generación 1 y 40. Los puntos de las demás generaciones se encuentran sobrescritos por los de la generación 40. Indicando que 40 generaciones es demasiado para el	

problema. En a) y b) se alcanzan ajustes cercanos a 0 y en c) el ajuste es cercano a 200 indicando que faltan cupos para asignar a todos los alumnos.82

Figura 4-2: Ejemplos de Frentes de Pareto encontrados en la etapa 7 de la categoría Enfermería/APS/Pasantía para las tres formas de estimación de cupos: a) máximo, b) promedio y c) mínimo en la prueba de la zona VL. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. El algoritmo no es capaz de reducir los costos de manera significativa en b) y c) debido a que los cupos dados no dan mucha libertad para cambiar las asignaciones de grupos a diferencia de a) en donde se tienen cupos de sobra. Nuevamente en c) se dejan fuera a alumnos debido a la falta de cupos de la aproximación a diferencia de los otros casos.....85

Figura 4-3: Frente de Pareto de la selección de convenios (E4) de la zona de Concepción para la prueba de convenios simulados. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. El frente compuesto por las soluciones de última generación es más definido que el encontrado en la prueba VL debido a la mayor variabilidad de convenios92

Figura 4-4: Frente de Pareto de la Etapa 7 para la categoría RM/ENF/Hospital/Internado en la prueba de convenios simulados. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen.92

Capítulo 1: INTRODUCCION

1.1 Contenido de los capítulos

En el presente capítulo se muestra la realidad actual de la Universidad de las Américas (UDLA) con respecto a los campos clínicos, exponiendo así los problemas que le afectan. Luego se plantean los objetivos de la memoria y la propuesta de solución.

En el capítulo 2 se exponen las características de la UDLA que tienen relación directa con el problema y las herramientas que se utilizan para su resolución.

En el capítulo 3, se muestra la metodología de trabajo, donde se detallan los pasos que se siguen para la elaboración del sistema.

En el capítulo 4 muestran los resultados obtenidos y finalmente en el capítulo 5 se exponen las conclusiones y las posibles mejoras que se podrían realizar a futuro.

1.2 Fundamentación

Las carreras de pregrado, programas de posgrado y especialidades del área de salud que son impartidas por las distintas instituciones de educación superior deben cumplir estándares de formación y calidad que permitan alcanzar a sus estudiantes el conjunto de competencias y habilidades necesarias para convertirse en profesionales capaces de desempeñarse eficazmente en los servicios de salud del país.

En el proceso formativo de profesionales del área de salud se dictan cursos teóricos, desarrollados dentro de un aula de clase, y también cursos prácticos, desarrollados en recintos que atienden pacientes. En estos últimos, el alumno aplica los conocimientos teóricos aprendidos y perfecciona habilidades que le permitirán ejercer su profesión. El objetivo de este proceso es formar profesionales competentes e íntegros, que en el futuro puedan responder ante cualquier situación que se presente en su área mediante sus propios conocimientos, habilidades y experiencia [1].

Para el cumplimiento de los cursos prácticos, el alumno debe asistir de forma obligatoria a campos clínicos, que son establecimientos que permiten el desarrollo de las actividades prácticas que dictan estos cursos. Ejemplos de campos clínicos son hospitales, centros de salud familiar (CESFAM), clínicas privadas, instituciones de salud mental, entre otros.

Los campos clínicos son uno de los pilares fundamentales de la formación de los profesionales del área de salud, ya que es allí donde se produce la interacción directa entre los estudiantes, médicos formadores y el resto de los profesionales que allí ejercen y, sobre todo, donde adquieren las competencias para tratar a los pacientes y sus familias. Debido a su importancia, la comisión nacional de acreditación establece mediante la ley 20.129 [2], que estos cursos deben estar presentes en las carreras del área de salud para que sean acreditadas. Además existen estudios que indican que la presencia de cursos de esta índole en el proceso de formación de los alumnos, los prepara mejor en cuanto a competencia para su futuro profesional. [3] [4]

Una universidad con alumnos en el área de la salud debe encargarse de conseguir campos clínicos que les faciliten sus instalaciones y personal para poder enviar allí a sus alumnos a realizar sus cursos prácticos. Para esto, la universidad puede recurrir a sus propios campos clínicos si los tiene. En caso contrario, debe realizar convenios con instituciones que manejen campos clínicos.

En Santiago de Chile existen cuatro universidades que poseen campos clínicos propios, éstas son la Universidad de Chile (Hospital Clínico Universidad de Chile), la Universidad Católica (Red de salud UC CHRISTUS), la Universidad del Desarrollo (Clínica UDD) y la Universidad de los Andes (Clínica Universidad de los Andes). Estas universidades pueden enviar a todos o parte de sus alumnos sus propios campos clínicos. Sin embargo, el resto de las universidades no disponen de campos clínicos propios, por lo que están obligadas a realizar convenios con otras instituciones que manejen campos clínicos para suplir su demanda de campos clínicos. Los convenios son acuerdos bajo contrato entre dos entidades sobre algún asunto determinado, en este caso, el uso de campos clínicos.

Las instituciones que brindan el servicio de campos clínicos en Chile son limitadas y existe una demanda creciente en los últimos años debido al aumento de alumnos que ingresa a carreras relacionadas con el área de salud. Es por ello que los convenios son un preciado bien para las universidades que no tienen campo clínico propio, y que deben aprovecharse al máximo.

Una de las universidades de Chile que no posee campos clínicos propios es la Universidad de las Américas. Por lo que debe competir con las demás universidades del país para conseguir campos clínicos para sus más de 5000 alumnos en carreras de salud que poseen cursos prácticos, distribuidos en las ciudades de Santiago, Valparaíso y Concepción. Los cursos prácticos de todos los alumnos del área de salud de la UDLA representan aproximadamente 1.280.000 horas de campo clínico al año.

Actualmente el proceso de asignación se realiza en forma manual y es bastante complejo debido a que en él inciden un gran número de variables que se especifican en el presente trabajo como por ejemplo:

- Características de los cursos prácticos: En la UDLA, los cursos prácticos se dividen en actividades. Cada actividad tiene diferentes características como el tipo de lugar en que se debe realizar, carrera a la que pertenece, número de horas requeridas para su cumplimiento, entre otros. Para que una actividad se pueda asignar a un campo clínico, este último debe contar con el espacio de asignación y además cumplir con ciertos requerimientos dados por las características de la actividad.
- Alumnos a asignar: Se debe tratar siempre de asignar el mayor número posible de alumnos a campos clínicos.
- Costos asociados: Cada convenio tiene asociado un costo fijo, en el que se incurre por sólo el hecho de realizar el convenio, además de costos variables, que dependen de las horas de campo clínico que se utilicen y costos por la supervisión de los alumnos. Los costos variables y de supervisión varían según las

características de la actividad a asignar. Se debe tratar de reducir el costo total de las asignaciones.

- Horarios de los campos clínicos: Las horas disponibles varían de acuerdo a cada campo clínico. Existen campos clínicos para internados de disponibilidad completa, 24 horas del día, 7 días a la semana, en tanto otros sólo ofrecen horario convencional para los alumnos 8 horas al día y 5 días a la semana. Para aprovechar al máximo el campo clínico, se debe tratar de asignar alumnos en todo su horario.
- Número de supervisores: La cantidad de alumnos que puede estar con un supervisor que guíe sus actividades es diversa, varía según campo clínico. Para ahorrar costos de supervisión, se debe tratar de asignar el número máximo de alumnos posible a cada supervisor.
- Calidad de los campos clínicos: En el caso en que se tengan más campos clínicos de los necesarios, se debe tratar de dejar de lado los que sean evaluados negativamente por el personal de la UDLA y los alumnos que allí asistieron en periodos de asignación anteriores.
- Ubicación de los campos clínicos y sedes de la universidad: Se debe tratar de asignar a los alumnos de una sede determinada a campos clínicos que se encuentran cerca de ella. De este modo, se disminuye el tiempo de viaje de los alumnos.

El actual sistema de asignación manual, la gran cantidad de horas de campo clínico a asignar y las distintas variables involucradas provocan:

- Una asignación de alumnos lenta y que probablemente no aprovecha a cabalidad los recursos disponibles.
- Una alta incertidumbre para el área de finanzas de la universidad reflejado en diferencias de más del 30% entre los gastos previstos por temas de campos clínicos versus los gastos reales, es decir, un manejo de recursos que debería poder mejorarse.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de asignación automática de alumnos de la UDLA a campos clínicos mediante herramientas de inteligencia computacional que permita mejorar el sistema actual en cuanto a costos, número de alumnos asignados, bienestar de los alumnos y el uso de los campos clínicos asociados a los convenios que la universidad tenga disponible. Además el sistema debe poder estimar los costos asociados a problemas de asignación de periodos futuros utilizando una estimación de los alumnos de tales periodos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Crear una base de datos de convenios que contenga las variables más relevantes en el proceso de asignación de campos clínicos con el objetivo de utilizarla como entrada al sistema automático y así estandarizar los convenios de la universidad.
- Implementar una aplicación computacional que permita ingresar y modificar los convenios actuales de la universidad utilizando la base de datos estándar para facilitar este proceso, mantener un registro de cambios de convenios, disminuir la cantidad de errores y consolidar la base de convenios creada dentro de la universidad.
- Seleccionar las variables más relevantes del proceso de asignación de los alumnos a asignar en el periodo de estudio.
- Implementar una aplicación computacional que permita generar bases de datos de alumnos simuladas para realizar estimaciones de costos futuros y probar el funcionamiento del sistema en escenarios futuros.
- Generar una tabla de resultados que indique a qué campo clínico fue asignada cada una de las actividades de cada alumno con cursos prácticos del área de salud de la Universidad de las Américas.
- Generar alertas en caso de falta de cupos.
- Generar información relevante acerca del uso de los convenios, como el porcentaje de uso, costo total, etc.

1.3.3 Propuesta

Se propone plantear el problema de asignación de campos clínicos de la Universidad de las Américas como un problema de optimización multi-objetivo, y la utilización de herramientas de inteligencia computacional como método principal de solución. En particular se utilizan algoritmos genéticos NSGA-II [5], ya que permiten manejo de restricciones, trabajan con varios objetivos, tienen facilidad para operar con variables discretas limitadas y existe una baja probabilidad de que se quede estancado en medio de las iteraciones en soluciones sub-óptimas. Además en la literatura se han resuelto problemas similares como por ejemplo, la asignación de horario de los cursos en una universidad [6], la asignación de alumnos a grupos de laboratorio [7] y la asignación de alumnos a una lista de proyectos universitarios [8] utilizando algoritmos genéticos como método de resolución obteniendo resultados satisfactorios.

También se propone utilizar el programa computacional MATLAB para la implementación del sistema de asignación y las aplicaciones para las bases de datos de convenios y alumnos. Debido a que el algoritmo NSGA-II se encuentra desarrollado en MATLAB, cuenta con herramientas para realizar aplicaciones y además la UDLA cuenta con licencias del programa.

Capítulo 2: CONTEXTUALIZACION

En este capítulo se explica lo que son los campos clínicos y su situación actual en Chile. También se incluye una sección con información de la Universidad de las Américas, que muestra su necesidad de poseer un mejor sistema de asignación de alumnos a campos clínicos y además muestra información relevante de la universidad para el diseño del sistema. Además contiene una sección de revisión bibliográfica y finalmente una con conceptos y herramientas que se utilizan en el sistema desarrollado.

2.1 Campos clínicos

Los campos clínicos son establecimientos como clínicas, hospitales y diversas instituciones del área de la salud que atienden pacientes. Las universidades que imparten carreras del área de la salud requieren de ellos para que sus alumnos realicen cursos prácticos de sus curriculum,

Para que una universidad satisfaga sus necesidades de campos clínicos, utiliza sus propios campos clínicos cuando los tiene. En caso contrario, debe realizar convenios con instituciones que manejen campos clínicos. Estos convenios son acuerdos de beneficio mutuo entre dos entidades, en este caso: una institución aporta la infraestructura y personal especializado de sus campos clínicos, mientras que las universidades aportan capital monetario, e implementos técnicos y mejoras para el campo clínico en general [9].

Los campos clínicos constituyen uno de los pilares fundamentales de la formación de los profesionales del área de salud, ya que es allí donde se produce la interacción directa entre los estudiantes, médicos formadores, enfermeros, tecnólogos, y personal que allí ejerce. Esto permite a los alumnos adquirir las competencias para tratar a los pacientes y sus familias y trabajar injertos en la situación real que presentan los servicios de salud del país.

Debido a la importancia de los campos clínicos en la formación de profesionales íntegros del área de salud, la comisión nacional de acreditación establece mediante la ley 20.129 [2], que los cursos prácticos de las carreras del área de salud deben incluir la asistencia a campos clínicos para que sean acreditadas. Existen estudios que indican que la presencia de cursos prácticos que incluyan la asistencia a campos clínicos en el proceso de formación de los alumnos, los prepara mejor en cuanto a competencia para su futuro profesional. [3] [4]

2.1.1 Tipos de campos clínicos en Chile

La atención de salud de las personas chilenas está a cargo de un sistema público y privado. FONASA (Fondo Nacional de Salud) es el ente financiero encargado de recaudar, administrar y distribuir los dineros estatales destinados a salud. El sector privado está representado por las ISAPRE (Instituciones de Salud Previsional) o aseguradoras de salud. [10]

2.1.1.1 Campos clínicos públicos

Todos los cotizantes del sistema público pueden optar por atenderse en los campos clínicos del Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS). Para llevar a cabo sus funciones, el SNSS se ha estructurado en una red asistencial de establecimientos y niveles de atención; éstos últimos organizados de acuerdo a su cobertura y complejidad asistencial.

- Nivel Primario:

Conocido también como centros de APS (Atención Primaria de Salud), estos tienen mínima complejidad y amplia cobertura. Realiza atenciones de carácter ambulatorio en las Postas Rurales de Salud y en los Consultorios Generales, Urbanos y Rurales. Allí se ejecutan principalmente los Programas Básicos de Salud de las Personas. Para su realización se cuenta con medios simples de apoyo diagnóstico y un arsenal terapéutico determinado y de acuerdo a las prestaciones que brindan.

El tipo de personal que realiza las acciones de salud varía según la magnitud de la población a atender y la naturaleza de las actividades a cumplir, abarcando desde el auxiliar rural hasta un equipo que incluye médicos generales y personal de apoyo.

Las atenciones que se efectúan en este nivel son fundamentalmente: Controles, Consultas, Visitas Domiciliarias, Educación de Grupos, Vacunaciones y Alimentación Complementaria.

- Nivel Secundario

Está representado por hospitales que corresponden a una complejidad intermedia y de cobertura media. La característica fundamental de este nivel es que actúa por referencia y que sus acciones involucran tanto atención ambulatoria como de hospitalización en unidades de apoyo del mismo establecimiento.

Los recursos involucrados para satisfacer las demandas de este nivel son más complejos, es decir, cuentan con médicos más especializados y cantidad de elementos de apoyo diagnóstico y terapéutico que en el nivel primario.

- Nivel Terciario

Son hospitales especializados que se caracterizan por su alta complejidad y cobertura reducida. Este nivel está destinado a resolver aquellos problemas que sobrepasan la capacidad resolutoria de los niveles precedentes, debiendo actuar como centro de referencia no sólo para la derivación de pacientes de su sector territorial, sino que con frecuencia tal derivación tiene carácter regional, suprarregional y a veces nacional.

Al igual que el nivel intermedio, a este nivel le corresponde realizar tanto acciones de tipo ambulatorio, efectuadas en los consultorios de especialidades de estos hospitales, como atención cerrada en sus diversos servicios de hospitalización. Sus recursos humanos son los de la más alta especialización y los elementos de apoyo clínico diagnóstico y terapéutico, los de mayor complejidad técnica.

El hecho que los establecimientos hospitalarios realicen actividades de alta complejidad, no los exime de desarrollar las funciones correspondientes al nivel secundario, ya que tienen también la responsabilidad de solucionar los problemas de frecuencia intermedia en la población a su cargo [11].

2.1.1.2 Campos clínicos privados

Los campos clínicos privados están conformados por las ISAPRE y por prestaciones de salud particulares. Las ISAPRE operan como un sistema de seguros de salud basado en contratos individuales pactados con los asegurados, en el que los beneficios otorgados dependen directamente del monto de la prima cancelada. Los proveedores privados de salud son los hospitales, clínicas y profesionales independientes que atienden tanto a los asegurados de las ISAPRE como a los cotizantes del sistema público. Si bien esta categoría no tiene una clasificación de establecimientos como las de la SNSS, se puede hacer una analogía de acuerdo a las funciones que cumple cada uno de estos establecimientos [12].

2.1.1.3 Otras Instituciones de salud (OIS)

Por otra parte existen establecimientos cuyas actividades no están enfocadas completamente en resolver problemas de salud, pero tienen un área en el que se necesita de personal con conocimientos de esta área. Como por ejemplo: escuelas, universidades, hogar de ancianos, casinos, centros de cuidados paliativos, entre otros.

2.1.2 Demanda de campos clínicos

Desde que existen las escuelas de medicina, los centros de salud públicos han estado a disposición de las universidades como campos clínicos, servicio que era gratuito. Hasta hace poco más de 16 años lo hacían gratis, pero eso cambió a fines de los años 90, periodo en el cual las universidades privadas comenzaron a disputar con urgencia campos clínicos para desarrollar y adquirir competitividad con sus carreras de salud. Esta situación se ha magnificado con los años por el aumento de universidades privadas, lo que creó un flujo de ofertas millonarias por los centros asistenciales.

En la Figura 2-1, se muestra el aumento del número de universitarios de pregrado a lo largo de los años en Chile, divididas por área de conocimiento. En particular, se puede observar que la curva del área de salud ha tenido un gran crecimiento desde finales de los años 90, logrando posicionarse en el año 2009 como la segunda área con más matrículas después del área de tecnología.

Matrículas

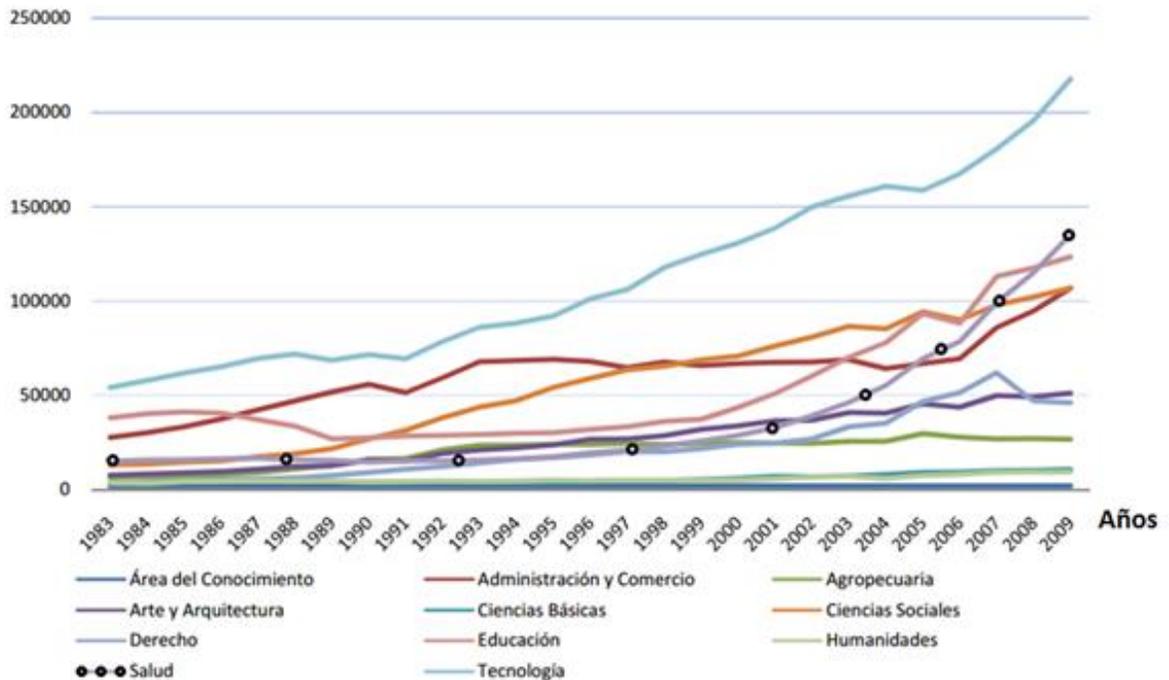


Figura 2-1: Evolución del número de universitarios de pregrado por áreas de conocimiento (1983-2009) [13]. Se aprecia un alto crecimiento en las matrículas del área de salud durante el periodo 2000-2009.

Como se observa en la Tabla 2-1, tanto el incremento porcentual de matrículas como su tasa de crecimiento en el área de salud son las más altas, en comparación con todas las otras áreas de conocimiento, durante el periodo 2000-2009, lo que explica el rápido aumento de la demanda de campos clínicos.

Tabla 2-1: Incrementos de matrícula y tasas de crecimiento anual de matrícula por área de conocimiento durante los periodos 1990-1999 y 2000-2009 [13]. Tanto el incremento como la tasa del área de salud son mayores a todas las demás en el período 2000-2009.

	Incremento matrícula	Tasa de incremento	Incremento matrícula	Tasa de incremento
	1990-1999	1990-1999	2000-2009	2000-2009
Administración y Comercio	17,8%	1,8%	59,8%	5,3%
Agropecuaria	52,2%	4,8%	7,2%	0,8%
Arte y Arquitectura	103,6%	8,2%	51,3%	4,7%
Ciencias Básicas	34,5%	3,4%	80,2%	6,8%
Ciencias Sociales	156,7%	11,0%	51,0%	4,7%
Derecho	138,2%	10,1%	91,3%	7,5%
Educación	35,6%	3,4%	183,3%	12,3%
Humanidades	20,9%	2,1%	82,7%	6,9%
Salud	76,3%	6,5%	369,3%	18,7%
Tecnología	74,0%	6,4%	66,4%	5,8%
Total general	67,6%	5,9%	91,6%	7,5%

Actualmente, las instituciones que brindan el servicio de campos clínicos en Chile son limitadas y existe una demanda creciente. Son varios los campos clínicos que se han sobrevendido y sobrepasan con creces su capacidad formadora, representada como el máximo de estudiantes que están en condiciones de recibir. Un ejemplo es el Hospital del Salvador, donde conviven estudiantes de 18 instituciones de educación superior, superando su con creces su capacidad formadora [14]. Otro problema que se genera en torno a los campos clínicos, es cuando la universidad toma el control del establecimiento de salud público como es el caso es el del Hospital Félix Bulnes que inicio un convenio con Universidad Mayor en el año 1999. Los médicos del hospital concuerdan en que ahí se ha perdido el foco: que lo docente está por sobre lo asistencial y que quien manda ya no es la dirección del hospital, sino que la Universidad Mayor [15].

Situaciones como las mencionadas en el párrafo anterior hacen que el Ministerio de Salud de Chile comience a tomar medidas para regular la situación de los campos clínicos. En el año 2010 el Ministerio de Salud aprueba la norma general técnica y administrativa número 18, sobre asignación y uso de los campos de formación profesional y técnica [16]. Esta norma regula la asignación y uso de los hospitales como campos clínicos. Por ejemplo, establece que en ningún caso los estudiantes de una misma carrera pertenecientes a distintos centros formadores, pueden coexistir en el centro de formación en el mismo período del año. También establece que el objetivo final de los convenios es contribuir a mejorar la situación de salud de la población y el generar procesos de formación de profesionales y técnicos de excelencia.

Luego en el año 2012 se transparenta el uso de los campos clínicos mediante la resolución N° 254 del Ministerio de Salud [17]. Esta resolución aprueba una norma que indica que la capacidad formadora de los establecimientos públicos del área de salud, para las distintas carreras profesionales y técnicas de salud, deben ser publicadas en la página web del ministerio de salud. Mediante la resolución las universidades, institutos profesionales o centros de formación técnica pueden informarse igualmente de la disponibilidad de los campos clínicos dentro del SNSS.

2.2 Universidad de las Américas (UDLA)

La UDLA es una institución de educación superior privada chilena fundada en 1988. En el mes de diciembre del año 1997 es declarada autónoma por el Consejo Superior de Educación de Chile, que le da independencia para establecer y desarrollar su proyecto educativo y otorgar títulos profesionales y grados académicos oficiales [18].

2.2.1 Sedes de la UDLA

Actualmente la UDLA cuenta con 6 sedes que se detallan en la Tabla 2-2:

Tabla 2-2: Sedes de la Universidad de las Américas

Sedes de la UDLA	Código
Providencia	PR
Santiago Centro	SC
La Florida	LF
Maipú	MP
Concepción	CO
Viña del Mar	VA

2.2.2 Acreditación

La acreditación es un proceso voluntario al que se someten las instituciones de Educación Superior autónomas, así como las carreras de pregrado, programas de posgrado y especialidades del área de la salud que ellas imparten, para contar con una certificación de calidad de sus procesos internos y resultados. En el caso de las carreras de medicina y pedagogía la acreditación es obligatoria, según lo establece la ley 20.129 [2].

Desde el año 2006 Chile cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad (Ley N° 20.129), que establece que el organismo encargado de verificar y promover la calidad de las universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica, y de las carreras que estas instituciones ofrecen, es la Comisión Nacional de Acreditación (CNA).

La acreditación puede ser de dos tipos:

- La Acreditación Institucional certifica el cumplimiento del proyecto de la institución, y la existencia, aplicación y resultados de mecanismos eficaces de autorregulación y aseguramiento de la calidad.
- La Acreditación de Carreras certifica la calidad en función de sus propósitos declarados y de los criterios establecidos por las respectivas comunidades académicas y profesionales.

En Chile existen 178 instituciones de Educación Superior, 126 son autónomas, y de las cuales 81 están acreditadas (64,3%).

La Comisión Nacional de Acreditación puede acreditar a una institución por diferentes periodos (1 a 7 años). En la medida que los mecanismos de aseguramiento de calidad son más sólidos y obtienen mejores resultados, mayor cantidad de años de acreditación recibe la institución. De las 81 instituciones chilenas acreditadas, el 60% lo está por 4 años o más. Cabe destacar que el 100% de las universidades tradicionales están acreditadas institucionalmente, y sólo el 85% de las universidades privadas autónomas lo está.

La acreditación es esencial en materia de ayuda estudiantil, ya que los estudiantes que recién ingresan a la Educación Superior sólo pueden acceder a financiamiento estatal o recursos que cuenten con garantía del Estado, si es que se matriculan en instituciones acreditadas. En el caso de los posgrados acreditados, sus alumnos pueden optar a fondos concursables de becas con financiamiento estatal [19].

2.2.2.1 Acreditación UDLA

En el año 2007 la UDLA se somete con éxito al proceso de acreditación, siendo acreditada por 2 años. En el año 2010 vuelve a acreditarse, esta vez por tres años, hasta el año 2013. El 16 de octubre del año 2013 se notifica al plantel la pérdida de acreditación por parte de la CNA, que a pesar de las apelaciones de la rectoría de la casa de estudios, se confirma en enero de del año 2014. Entre los argumentos de la CNA para no acreditar a la universidad se encuentran:

- Bajo número de docentes de planta
- Retroceso en cuanto a infraestructura y a los servicios prestados por las bibliotecas de algunas de las sedes
- Falta de recursos humanos para la gestión académica con capacidad para impulsar procesos de cambio y mejora educativa perdurables [20]

La universidad se someterá al proceso de acreditación nuevamente en octubre del año 2015 [21].

2.2.3 Facultad de ciencias de salud y campos clínicos

En el año 2005, la UDLA formó su facultad de ciencias de salud para aumentar su oferta de carreras. Desde sus inicios esta facultad ofrece 6 carreras de pregrado que se detallan en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3: Carreras de la Universidad de las Américas

Carrera	Código
Enfermería	ENF
Fonoaudiología	FON
Kinesiología	KIN
Nutrición y dietética	NYD
Técnico superior en enfermería	TEN
Terapia ocupacional	TOC

Cada una de las carreras incluye cursos prácticos en su malla curricular en lineamiento con la ley 20.129 [2]. La UDLA no posee campos clínicos propios para que sus alumnos cumplan con sus cursos prácticos. Es por ello que necesita realizar convenios con otras instituciones que manejen campos clínicos públicos o privados, que les faciliten el acceso a sus alumnos a estos centros de salud junto a la cooperación de su personal para la realización de sus actividades prácticas.

2.2.4 Matrícula

En los últimos años la UDLA se ha situado como una de las universidades chilenas con más alumnos matriculados. En el año 2014 se encontraba en el tercer lugar en este aspecto, estando sólo debajo de la Universidad Andrés Bello y la Universidad de Chile, como se muestra en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4: Número de alumnos matriculados por universidad en el año 2014 [22]

Ranking 2014 en cuanto a número de alumnos en Chile	Universidad	N° de Alumnos
1°	Universidad Andrés Bello	48.255
2°	Universidad de Chile	37.521
3°	Universidad de las Américas	30.026
4°	Universidad Santo Tomás	29.596
5°	Universidad Católica de Chile	29.485

En la Figura 2-2 se puede ver que la UDLA muestra un crecimiento casi constante de 2500 alumnos por año desde el año 2010 hasta el 2013. Sin embargo, el año 2014 sufre una caída debido principalmente a que la universidad ya no puede recibir alumnos con beneficios estatales por la pérdida de la acreditación en este año. También se aprecia que el número de alumnos del área de salud posee un comportamiento similar al anterior pero en menor escala.

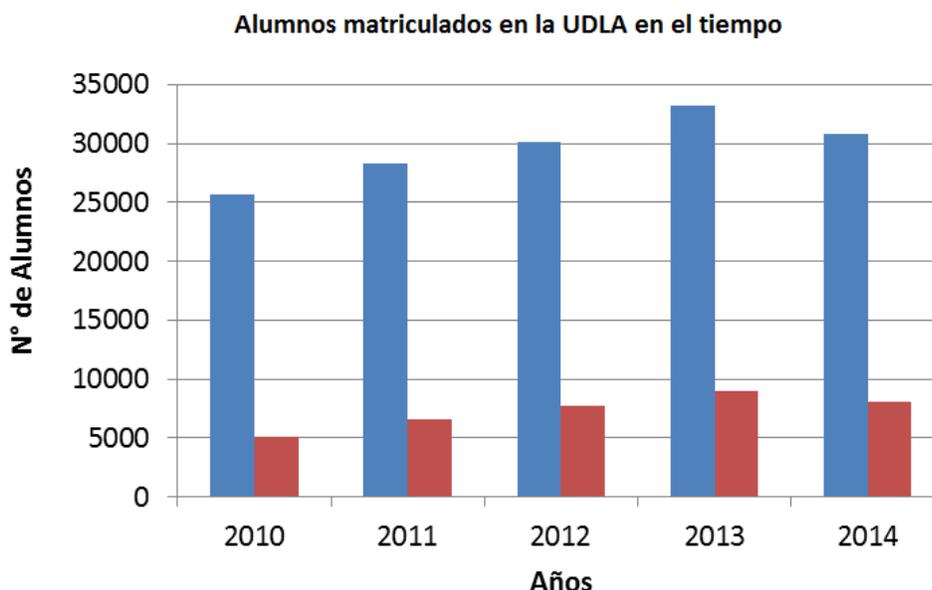


Figura 2-2: Número de alumnos matriculados en la UDLA en los últimos años. En azul se muestran el total de alumnos y en rojo los alumnos del área de salud.

2.2.5 Convenios

Los convenios son acuerdos bajo contrato entre dos entidades sobre algún asunto determinado. En el contexto de este trabajo, se trata de un acuerdo entre la UDLA y una institución que maneja campos clínicos, acerca de las condiciones y consideraciones que debe cumplir la universidad, para que la institución facilite el acceso de los alumnos de la UDLA para que cumplan con sus cursos prácticos.

Debido a que la UDLA no cuenta con campos clínicos propios debe satisfacer sus demandas de campos clínicos sólo mediante convenios. Actualmente la universidad cuenta con cerca de 100 convenios formales y 30 convenios informales (acuerdos en los que no existe contrato). Los convenios informales surgen como una solución rápida para suplir de forma expedita las necesidades de campo clínico cuando los convenios formales no dan abasto a la necesidad de la universidad. En el Anexo 1, se pueden ver los convenios de la UDLA.

La falta de acreditación de la universidad constituye un mayor problema para conseguir campos clínicos públicos debido a la resolución N° 254 del Ministerio de Salud [17], que aprueba una norma que dicta que sólo universidades acreditadas pueden acceder a campos clínicos públicos.

2.2.5.1 Agentes involucradas

La UDLA y las demás universidades que no poseen campo clínico propio, deben ubicar a sus alumnos en establecimientos externos a la universidad. Esto implica que las universidades no sólo deben invertir recursos en conseguir los convenios y utilizar sus campos clínicos de estos últimos, sino que también en:

- Supervisores: Personas que aseguran que los alumnos de la universidad asistan a los campos clínicos y los guíen en la realización de las actividades dictadas por los cursos prácticos. Pueden ser profesores de la universidad o trabajadores profesionales del centro de salud.
- Coordinadores: Personas que mantienen un contacto constante entre la universidad y el campo clínico, asegurando la disposición de recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de los cursos prácticos y controlar el trabajo de los supervisores. El costo de los coordinadores no se considera en el presente trabajo.

2.2.5.2 Variables de los convenios y sus campos clínicos:

Las condiciones presentadas por cada convenio pueden llegar a ser muy diferentes entre sí, a continuación se presentan las principales variables:

- Cupos por hora: El cupo es la unidad básica considerada en los costos variables y de supervisión, corresponden a una cierta cantidad de tiempo de uso de un campo clínico por parte de un alumno o supervisor. Existen casos en que este valor puede cambiar dependiendo de la carrera del alumno que utilice el campo clínico, pero su valor más común es de 160 horas de campo clínico.
- Cupos disponibles: Para limitar la cantidad de alumnos que asisten a cada campo clínico se utilizan los cupos. Por ejemplo, un convenio puede establecer que se utilice un máximo de 10 cupos de enfermería al semestre en uno de sus campos clínicos. Si la cantidad de cupos por hora es 160, esto equivale a 1600 horas de campo clínico para los alumnos de la universidad. Si se tiene un curso de enfermería de 80 horas, se podrían asignar 20 alumnos al campo clínico del ejemplo. Algunas instituciones imponen restricciones para el uso de cupos tales como la carrera y si se trata de cursos de pasantía o internado. En algunos casos se debe cancelar el máximo de cupos dados, mientras que en otros casos sólo los cupos utilizados.

- **Costos:** Los costos de los convenios se pueden resumir en tres tipos diferentes:
 - **Costos fijos:** Son costos asociados a los beneficios que le provee la universidad al convenio, ejemplo: compra de equipos médicos, arreglo de salas de atención de un campo clínico, entre otros.
 - **Costos variables:** Es el costo que se incurre por el uso de campo clínico de cada alumno. El cobro se realiza normalmente por cupos.
 - **Costo de supervisión:** Es el costo que se incurre por la supervisión de los alumnos. El cobro se realiza normalmente por cupos.
- **Número de alumnos por supervisor:** Número de alumnos máximo que puede guiar un supervisor al mismo tiempo. Este valor cambia de acuerdo a las carreras y espacios disponibles en los campos clínicos según cada convenio.
- **Horario:** Horario en que los alumnos pueden asistir a cada uno de los campos clínicos disponibles.

2.2.5.3 Dificultades del proceso de asignación en la UDLA

Como en la UDLA no se imparten todas las carreras del área de salud, como por ejemplo medicina u odontología, no puede utilizar cupos de estas carreras. Por lo tanto, cuando consigue convenios que incluyen cupos de estas carreras, se pierden.

La UDLA no tiene sus convenios estandarizados, es decir, no posee una tabla con las características principales de los convenios que influyen en el proceso de asignación de campos clínicos. Tener una base de datos que represente de la mejor manera posible las variables de los convenios es fundamental para mejorar el sistema. Es por ello que en presente trabajo se forma esta tabla, para utilizarla como una de las entradas del sistema de asignación automático.

2.2.6 Características de los cursos prácticos del área de salud

Todos los cursos prácticos del área de salud impartidos en la UDLA requieren que el alumno asista a por lo menos un campo clínico. En la Tabla 2-5 se muestran ejemplos de cursos de la UDLA y sus características:

Tabla 2-5: Ejemplos de cursos prácticos de la UDLA y sus características. Cada curso puede tener una o más actividades que los alumnos deben cumplir. Las actividades tienen a su vez un tipo que indica la clase de campo clínico en que debe realizarse y un número de horas necesario para cumplirlas. Además las actividades pueden ser de pasantía o internado, característica que heredan del curso al que pertenecen.

Nombre del Curso	Código del curso	Semestre en el que se imparte	Pasantía (P)/ Internado (I)	N° de Actividad	Tipos	Horas
EVALUACIÓN NUTRICIONAL I	ENF500	6°	P	1	APS	4
				2	HOSPITAL	4
				3	OIS	4
				4	UDLA	4
SALUD DEL ADULTO I	NYD506	5°	I	1	APS	80
				2	HOSPITAL	80

2.2.6.1 Semestre

Los cursos en la UDLA se imparten una vez al año y tienen una duración de un semestre. Si un alumno reprueba un curso en el semestre de otoño, debe esperar al próximo año para poder tomarlo nuevamente. El primer número que aparece en el código del curso no representa necesariamente el semestre en que se imparte.

2.2.6.2 Actividades

Cada curso práctico está dividido en un cierto número de actividades. Para aprobar el curso, el alumno debe cumplir con las horas de cada una de sus actividades en campos clínicos del tipo especificado por la actividad. Por ejemplo, como se muestra en la Tabla 2-5, el curso de enfermería “Salud del Adulto I”, requiere la asistencia de 80 horas a un campo clínico del tipo APS y 80 horas a uno del tipo hospital.

2.2.6.3 Tipos de Actividades UDLA

Cada actividad tiene asociada uno de cuatro tipos distintos que representan la clase de campo clínico a la que deben asistir los alumnos para poder cumplirla. Los tipos de la UDLA son:

1. Atención primaria de salud o APS: Corresponden a establecimientos de campo clínico del nivel primario según la SNSS o de características equivalentes en el sector privado.
2. Hospital: Corresponden a establecimientos de campo clínico de nivel secundario o terciario según la SNSS o de características equivalentes en el sector privado.
3. Otras instituciones de salud o OIS: Son campos clínicos cuyas actividades no están enfocadas completamente en resolver problemas de salud, como por ejemplo: escuelas, universidades, hogar de ancianos, entre otros.
4. UDLA: Corresponden a centros de simulación de atención de pacientes que se encuentran dentro de la misma universidad.

Esta división se realiza principalmente porque:

1. Las herramientas, las características de los pacientes y la infraestructura necesarias para el desarrollo de la actividad, sólo puede encontrarse en un tipo determinado de establecimiento
2. Se desea que los alumnos conozcan diferentes realidades que se viven en cada tipo de establecimiento en nuestro país. Así los alumnos pueden elegir qué tipo de establecimiento es el que más se adecua a sus intereses para desempeñarse como profesional en el futuro.

2.2.6.4 Rotaciones

Una rotación de alumnos, es un grupo determinado de alumnos que cambian de un campo clínico a otro para completar todas las actividades de un curso práctico en específico.

2.2.6.5 Número de horas, Pasantía e Internado

Un curso práctico puede ser clasificado según su duración y nivel de formación necesaria para cursarlo en dos clases pasantías e internados (Pol). Todas las actividades asociadas al curso heredan esta clasificación.

- Pasantías: Las actividades de estos cursos tienen desde dos hasta ochenta horas al semestre y se realizan en los primeros años de las carreras. El número de alumnos por supervisor en los cursos de esta clasificación varía entre 3 y 6. En estos cursos los estudiantes aprenden mayoritariamente observando el trabajo del supervisor, discutiendo sus ideas con sus compañeros y realizando actividades básicas si el supervisor lo permite.
- Internados: Las actividades de estos cursos son más extensas que las pasantías, van desde 120 a 480 horas al semestre y se realizan en los últimos años de las carreras. Estos cursos ocupan la totalidad o gran parte del tiempo académico de los alumnos. El número de alumnos por supervisor en esta clasificación es de uno o dos, lo que hace que el aprendizaje sea más personal. En el internado, el alumno realiza actividades como profesional, pero siempre es guiado y asistido por un supervisor.

2.3 Revisión Bibliográfica

Si bien en la literatura no se encontraron trabajos que traten exactamente el problema de asignación de campos clínicos, se han resuelto problemas similares como por ejemplo, la asignación de horario de los cursos en una universidad [6], la asignación de alumnos a grupos de laboratorio [7] y la asignación de alumnos a una lista de proyectos universitarios [8] utilizando algoritmos genéticos como método de resolución obteniendo resultados satisfactorios. Es por ello que la herramienta principal para resolver el problema de asignación son los algoritmos genéticos.

2.4 Conceptos y Herramientas a Utilizar

2.4.1 Optimización

La optimización es una rama de las matemáticas aplicadas que consiste en una recolección de principios y métodos usados para solucionar problemas cuantitativos [23]. Esta clase de problemas se puede encontrar en una gran variedad de disciplinas como física, biología, ingeniería, economía entre otros. El objetivo de la optimización es encontrar la mejor solución posible al problema respetando las restricciones en el caso de que existan. Las restricciones son condiciones de igualdad o desigualdad que cualquier solución debe cumplir.

Los problemas de optimización se dividen en dos grupos de acuerdo al número de objetivos que se buscan cumplir: problemas de optimización simple o de un objetivo y problemas de optimización multi-objetivo. La optimización simple busca obtener el mejor diseño o decisión, el cual es regularmente un máximo o mínimo global. En cambio en la optimización multi-objetivo puede que no exista una solución que sea la mejor en todos los objetivos del problema.

2.4.1.1 Optimización con una función objetivo

En un problema de optimización de un objetivo, existe una función $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, que es llamada función de costos en el caso que se desee minimizarla o función de utilidad cuando se quiere maximizarla. En cualquier caso el procedimiento a realizar es análogo debido a la relación:

$$\underbrace{\min}_{\vec{x} \in \mathbb{R}^n} f(\vec{x}) \equiv \underbrace{\max}_{\vec{x} \in \mathbb{R}^n} [-f(\vec{x})] \quad (1)$$

En el caso de una función de costos se desea encontrar $\vec{x}' \in \mathbb{R}^n$ que cumpla que:

$$f(\vec{x}') \leq f(\vec{x}) \quad \forall \vec{x} \in \mathbb{R}^n \quad (2)$$

Es decir, se desea que la función evaluada en el vector \vec{x}' , sea menor a todas las demás. El punto \vec{x}' se denomina mínimo global de f sobre \mathbb{R}^n y al valor $f(\vec{x}')$ se le conoce como óptimo de la función [24]. Por ejemplo, sea la función de una variable $f(x) = x^2 - 5$. En este ejemplo el valor óptimo de f es -5 y se alcanza para $x = 0$, según puede verse en la Figura 2-3.

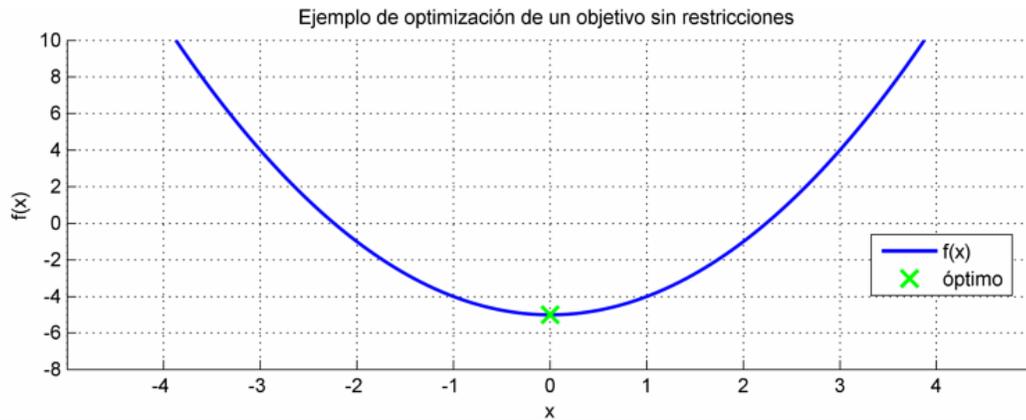


Figura 2-3: Ejemplo de optimización de un objetivo. La función a optimizar es $f(x) = x^2 - 5$ y su valor óptimo resulta ser -5 para el valor $x=0$ marcado con una cruz en verde sobre la curva

Si al ejemplo anterior se agrega la restricción:

$$f(x) \geq g(x) = x + 1 \quad (3)$$

el valor óptimo de f cambia a -1 , que se alcanza para $x = -2$ como se muestra en la Figura 2-4.

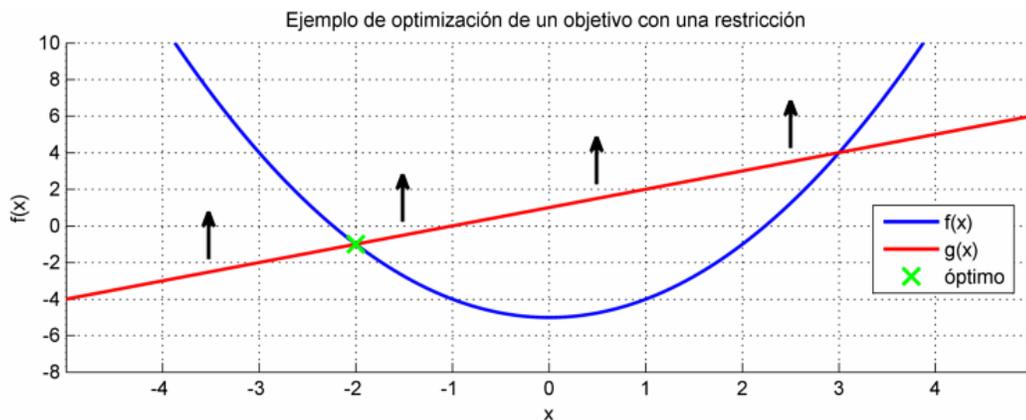


Figura 2-4: Ejemplo de optimización de un objetivo con una restricción. En azul se muestra la función a optimizar que es $f(x) = x^2 - 5$ y en rojo la restricción asociada al problema que es $f(x) \geq g(x) = x + 1$. Bajo estas condiciones el valor óptimo que se encuentra es -1 que se alcanza para $x=-2$, punto marcado en verde

2.4.1.2 Optimización multi-objetivo

En un problema de optimización multi-objetivo, se tiene una función $\vec{f} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$, con número de objetivos $m > 1$ y se desea encontrar $\vec{x}' \in \mathbb{R}^n$, solución de:

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \vec{f}(\vec{x}) \equiv \max_{x \in \mathbb{R}^n} [-\vec{f}(\vec{x})] \quad (4)$$

A diferencia del caso anterior, no siempre existe un vector de variables \vec{x}' que satisfice $\forall i$:

$$f_i(\vec{x}') \leq f_i(\vec{x}) \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, m, \forall \vec{x} \in \mathbb{R}^n \quad (5)$$

Esto ocurre cuando las funciones objetivos a optimizar entran en conflicto entre sí, lo que significa que la mejora en el desempeño de una función objetivo conlleva un empeoramiento en alguna de las demás, lo que implica que no existe una solución que tenga un desempeño mejor a las demás en todas las funciones objetivos. En este caso el resultado es un conjunto de soluciones en las que cada una de ellas tiene ventajas frente a las otras, pero en el cual ninguna es mejor en todos los aspectos. En última instancia es el diseñador el que debe elegir una de las soluciones del conjunto atendiendo a sus preferencias en el diseño [23].

Para el análisis de cuáles son los valores de \vec{x} que generan los mejores resultados para las funciones objetivo, se utiliza el concepto de óptimo de Pareto.

2.4.1.3 Óptimo de Pareto

Es un concepto que permite comparar las diferentes soluciones obtenidas de un problema multi-objetivo mediante el uso de la dominancia. Se dice que un vector $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ domina al vector $\vec{v} = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ denotado por $\vec{u} \preceq \vec{v}$ si y sólo si \vec{u} es parcialmente menor que \vec{v} , es decir:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, u_i \leq v_i \wedge \exists j \in \{1, 2, \dots, k\}, u_j < v_j. \quad (6)$$

En otras palabras \vec{u} domina a \vec{v} si todos los valores de \vec{u} son menores o iguales a sus análogos en el vector \vec{v} y además al menos uno de los valores de \vec{u} es estrictamente menor a su análogo en \vec{v} . En un problema de optimización multi-objetivo, con funciones objetivo $\vec{f}(\vec{x})$, el conjunto óptimo de Pareto denotado por P^* , está definido como:

$$P^* = \{ \vec{x} \in F \mid \nexists \vec{x}' \in F, \vec{f}(\vec{x}') \preceq \vec{f}(\vec{x}) \}, \quad (7)$$

donde F es el conjunto de soluciones factibles que cumplen con las restricciones del problema. Un vector de variables $\vec{x}^* \in F$ es óptimo de Pareto si no existe otro $\vec{x} \in F$ tal que $f_i(\vec{x}) \leq f_i(\vec{x}^*) \forall i = 1, 2, \dots, k$ y $f_j(\vec{x}) < f_j(\vec{x}^*)$ para por lo menos un valor de j . Esto significa que \vec{x}^* es un óptimo de Pareto si no existe ningún vector factible de variables de decisión $\vec{x} \in F$ que empeore el desempeño de una función objetivo sin causar simultáneamente la mejora del desempeño de al menos otra función objetivo. En otras palabras, el óptimo de Pareto está definido como un conjunto cuyos elementos corresponden a soluciones posibles a un problema determinado, de manera tal que ninguna solución sea mejor que las demás en todos de los objetivos del problema.

Este método rara vez proporciona una única solución, pero sí un conjunto de soluciones llamadas conjunto óptimo de Pareto. Los vectores \vec{x}^* correspondientes a las soluciones incluidas en este conjunto son llamadas no-dominadas.

Las soluciones que forman parte del óptimo de Pareto también llamadas soluciones óptimas relativas definen una curva llamada frente de Pareto que se puede visualizar utilizando un gráfico en cuyos ejes se encuentren las funciones objetivo del problema. En la Figura 2-5 se puede ver algunas soluciones de un problema de optimización multi-objetivo con dos funciones objetivo $F1$ y $F2$ a minimizar, soluciones óptimas relativas OR , otras soluciones factibles NOR y óptimo de Pareto P^* .

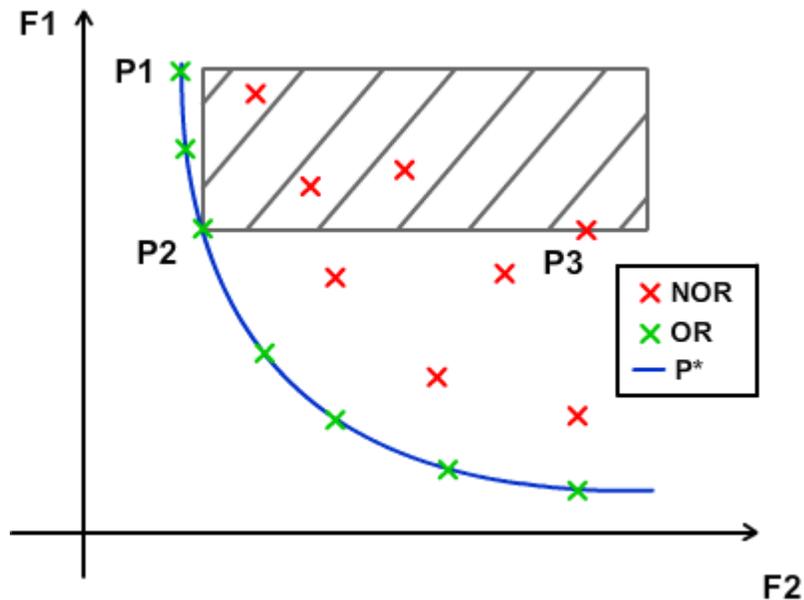


Figura 2-5: Ejemplo de frente de Pareto para 2 funciones objetivo. Las x representan posibles soluciones a un problema descrito por dos funciones objetivo F1 y F2, que se quieren minimizar. Las x marcadas en verde son óptimas relativas (OR) y las marcadas en rojo no lo son (NOR). La solución P3 no es óptima, porque la solución P2 tiene el mismo valor en F1, pero uno mejor en F2. Esto significa que P2 domina a P3, así como también a las demás soluciones que se encuentran dentro del rectángulo achurado. Las soluciones P1 y P2, ambas sobre la curva que describe el frente de Pareto son óptimas relativas, pero con diferentes valores para F1 y F2.

De la figura se deduce que la solución P3 no es óptima relativa porque existe P2, que se desempeña de igual manera que P3 en cuanto al objetivo F1, pero que tiene un mejor valor para F2. El rectángulo achurado representa la región de todas las soluciones que son dominadas por P2, esto quiere decir que todas las soluciones que se encuentren en esta área tienen un peor desempeño en una o ambas funciones objetivo que P2. Es por ello que las soluciones dominadas por P2 no son óptimas relativas (NOR) y se encuentran marcadas de color rojo. Tanto P1 como P2 son soluciones óptimas relativas (OR), ya que no son dominadas por ninguna otra solución. Por lo tanto, ambas pertenecen al conjunto de soluciones óptimas de Pareto y forman parte de la curva marcada en azul llamada frente de Pareto.

2.4.2 Algoritmos genéticos

Son métodos de resolución de problemas de optimización iterativos que están inspirados en el mecanismo de selección natural que se encuentra en organismos vivos en la naturaleza, descrito por Charles Darwin para explicar el fenómeno de la evolución [25].

La evolución es el cambio de las características de una especie a lo largo de las generaciones que se debe a que los individuos de una población descendiente presentan combinaciones genéticas que no se encuentran en los progenitores debido a los procesos de recombinación genética, que es el intercambio de material genético entre sus progenitores y la mutación, que es la modificación súbita del material genético. La selección natural es un proceso en el cual los individuos más aptos son los que tienen más probabilidades de sobrevivir y generar descendencia en un ambiente competitivo.

Los algoritmos genéticos utilizan una analogía con la evolución natural. Cada individuo en el ámbito de la teoría de la evolución se asocia a una solución al problema de optimización. Así, la solución del problema es un individuo que se ha perfeccionado, seleccionándose y mutándose a través de múltiples generaciones.

Los individuos o soluciones se representan por un vector de variables \vec{x} donde cada valor del vector corresponde a una característica del individuo y las condiciones del ambiente por una serie de funciones \vec{f} que corresponden a los objetivos de un problema de optimización multi-objetivo mencionado en la sección 2.4.1.2. Por otro lado, cada iteración del algoritmo representa una nueva generación de individuos descendiente de los individuos de la generación anterior.

Para simular los procesos de recombinación genética y mutación, también llamados operadores genéticos, se requiere que los individuos estén dados por una cadena de valores binarios que represente los genes del individuo. Para ello, cada valor del vector de variables \vec{x} correspondiente a cada individuo es transformado a número binario y luego los valores resultantes son concatenados entre sí.

En cada generación, se eligen distintos pares de individuos de la población a los cuales se les aplican los operadores genéticos. Las especificaciones del proceso de selección son variables según el método específico de algoritmos genéticos que se utilice, pero siempre se da prioridad a los individuos que tienen un mejor desempeño en las funciones objetivos en alineamiento con la selección natural.

2.4.2.1 Recombinación genética

Es el operador genético mediante el cual se intercambia material genético entre dos individuos padre hacia su descendencia. Cada par de progenitores genera dos nuevos individuos que forman parte del conjunto de descendencia. En el algoritmo, la probabilidad con la que ocurre este proceso entre dos progenitores seleccionados está dada por el parámetro probabilidad de entrecruzamiento. El valor elegido para este parámetro suele ser cercano al 90% [25]. Dentro del algoritmo, el operador de recombinación puede ser de varios tipos, siendo los más importantes los nombrados a continuación:

- Recombinación en un punto

Se selecciona un punto de forma aleatoria dentro de la cadena binaria. A este punto se le conoce como punto de entrecruzamiento. A partir de este punto los datos de los individuos padre se intercambian como se muestra en la Figura 2-6.



Figura 2-6: Ejemplo de recombinación en un punto. Los rectángulos de colores corresponden a la cadena binaria que representa a cada individuo. La barra que los corta, representa el punto de entrecruzamiento que se elige de forma aleatoria. El resultado del proceso de recombinación son 2 individuos descendientes cuya cadena binaria se intercambia de un padre a otro cuando se llega a un punto de entrecruzamiento

- Recombinación en dos puntos

Se seleccionan dos puntos de entrecruzamiento de forma aleatoria dentro de la cadena binaria. Cada vez que se llegue a un punto de entrecruzamiento, los datos de los individuos se intercambian como se muestra en la Figura 2-7.

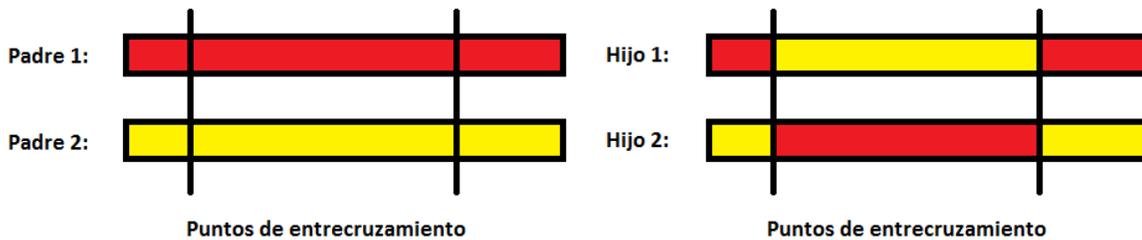


Figura 2-7: Ejemplo de recombinación en dos puntos. Los rectángulos de colores corresponden a la cadena binaria que representa cada individuo. Las barras que los cortan, representan los puntos de entrecruzamiento que se eligen de forma aleatoria. El resultado del proceso de recombinación son 2 individuos descendientes cuya cadena binaria se intercambia de un padre a otro cuando se llega a un punto de entrecruzamiento

2.4.2.2 Mutación

El propósito de este operador genético es proveer un mecanismo para escapar abruptamente de los óptimos locales, así como desplazar a los individuos hacia zonas del espacio de búsqueda que no pueden ser alcanzadas por medio de la recombinación genética. En el algoritmo, al igual que la recombinación genética tiene una probabilidad de ocurrencia asociada, pero normalmente se utiliza un valor menor al 1%. En el caso de aplicarse sobre un individuo, cada uno de sus valores dentro de la cadena binaria puede cambiar con la misma probabilidad anterior. En la Figura 2-8, se puede ver un ejemplo de mutación [25].

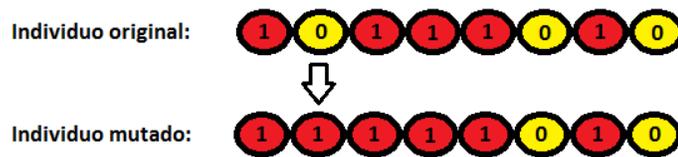


Figura 2-8: Ejemplo de mutación. Cada valor de la cadena tiene una probabilidad de mutar de acuerdo a la probabilidad de mutación, en el ejemplo, muta el segundo valor de la cadena que representa un individuo cambiando de 0 a 1

2.4.2.3 Pasos de un algoritmo genético simple

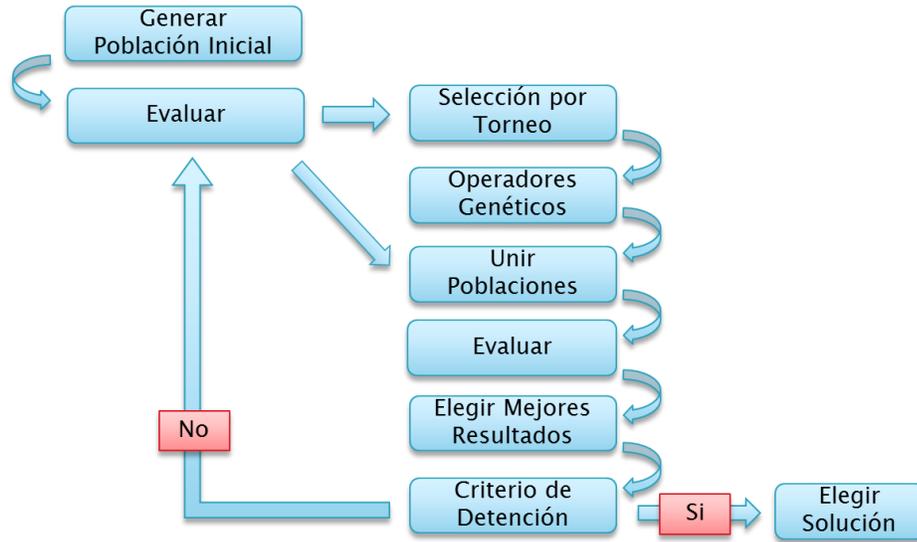


Figura 2-9: Diagrama de un algoritmo genético simple

A continuación, se explican cada uno de los pasos del algoritmo genético simple ilustrado en la Figura 2-9:

1. Generar población inicial: En una aplicación práctica de algoritmos genéticos, se genera una población de individuos cuyas variables se encuentran dentro de los rangos dados por el problema que típicamente son elegidos al azar. Existen estudios que proponen que el valor del tamaño óptimo de la población S_{opt} se encuentra dentro del siguiente rango dado por el tamaño de la cadena binaria que representa cada individuo n [26]:

$$n \leq S_{opt}(n) \leq 2n \quad (8)$$

2. Evaluar: Se evalúan todas las funciones objetivo para cada una de las soluciones o individuos.
3. Selección por torneo: A partir de un subconjunto de la población de forma aleatoria priorizando las soluciones que obtengan mejores resultados en los objetivos, se toman dos individuos escogidos al azar, el que mejor desempeño tenga según las funciones objetivo es elegido como padre. Una vez que se tenga cierta cantidad de pares de padres determinada, se pasa a la siguiente etapa.
4. Operadores genéticos: Se aplican operadores genéticos de recombinación y mutación a cada par de padres del subconjunto resultante de la selección por torneo. Al conjunto resultante se le llama descendencia. El funcionamiento de los operadores genéticos se detalla en la sección 2.4.2.1 y 2.4.2.2
5. Unir poblaciones: La población del inicio de la iteración se une con la población de descendencia.

6. Evaluar: Se evalúan todas las funciones objetivo para cada solución de la nueva población.
7. Elegir mejores resultados: Se descartan las peores soluciones del conjunto unido hasta que el tamaño de la población sea igual al inicial. El concepto de peores soluciones, lo define el tipo de algoritmo genético. Existen algunas versiones que sólo dejan las soluciones de la descendencia.
8. Criterio de detención: Si este punto se cumple algún criterio de detención, como por ejemplo, que se finalicen un número determinado de iteraciones, se detiene el algoritmo, en caso contrario, se vuelve al paso 2 para iniciar una nueva iteración.

En el caso de tener restricciones, éstas se aplican antes del proceso de evaluación. La forma en que se apliquen las restricciones no es única y está completamente ligada al problema en específico [25].

En particular, se utilizará el algoritmo genético conocido como NSGA II que agrega 2 nuevos conceptos y define completamente los procesos de selección por torneo y de elección de los mejores resultados.

2.4.3 NSGA II

Es un algoritmo genético multi-objetivo que utiliza un proceso de selección particular que le permite:

- Que las soluciones encontradas estén más alejadas entre sí en el espacio de objetivos como el mostrado en la Figura 2-5, sin la necesidad de añadir un nuevo parámetro. Esto permite que las soluciones no se acumulen en un punto específico preservando su diversidad.
- Ser elitista, es decir, que preserve siempre las mejores soluciones de la población, acelerando el proceso de evolución y evitando la pérdida de buenas soluciones [27].

Para el proceso de selección, se requiere calcular dos valores para cada solución luego del proceso de evaluación de soluciones:

- El frente o grupos de soluciones al que pertenece utilizando el concepto de orden por no dominancia.
- La distancia existente entre la solución y todas las demás utilizando el concepto de distancia de apiñamiento.

2.4.3.1 Orden por no dominancia

En un problema de optimización en el que se desea minimizar una única función objetivo, ordenar los individuos con respecto a su desempeño es sencillo. Los individuos simplemente se ordenan de acuerdo a su desempeño en la función objetivo.

En el caso de que se tenga más de una función objetivo la operación se complica y es necesario incluir otros conceptos, en este caso, el orden por no dominancia. El orden por no dominancia es una forma de ordenar los individuos de la población agrupándolos en frentes (grupos de soluciones) utilizando el concepto de dominancia mencionado en la sección 2.4.1.3. Si un individuo se encuentra en el frente F_n con $n \in \mathbb{N}$, significa que domina a todos los individuos que se encuentren en algún frente F_k con $k \in \mathbb{N}$, $k > n$. De esta forma las mejores soluciones se encuentran en el primer frente F_1 y no son dominadas por ninguna otra solución. Al final del algoritmo, los individuos ubicados en el primer frente corresponden a las soluciones óptimas de Pareto.

2.4.3.2 Distancia de Apiñamiento

Una vez que los individuos se encuentran ordenados por frentes, se desea que estén distribuidos de manera dispersa en el espacio de soluciones y no juntos en un mismo punto. Para ello se utiliza la distancia de apiñamiento que se calcula para cada individuo siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Se elige un objetivo
2. Se toman las soluciones en el mismo frente que el individuo en consideración y se ordenan de acuerdo al objetivo elegido
3. Se calcula la diferencia normalizada entre los valores de la función objetivo de los individuos adyacentes al actual, en cuanto a valor de la función objetivo. La normalización se realiza dividiendo el valor calculado con la diferencia entre el valor máximo y mínimo alcanzados para el objetivo en consideración.
4. Si aún quedan objetivos por considerar para el individuo, se vuelve al paso 1. En caso contrario, se calcula la distancia de apiñamiento del individuo como la suma de los valores calculados en 3 para cada objetivo. En el caso de que algún individuo se encuentre en la frontera para alguno de los objetivos, es decir, que alcance el máximo o mínimo para tal objetivo, se le asigna distancia de apiñamiento infinita.

Si un individuo tiene una alta distancia de apiñamiento, quiere decir que se encuentra muy separado de los demás individuos en el espacio de objetivos normalizado, por otro lado, si la distancia de apiñamiento es baja, significa que el individuo se encuentra cerca de sus adyacentes en tal espacio.

2.4.3.3 Selección de individuos: Torneo NSGA II

En este proceso se escoge un grupo de individuos a los cuales se les aplican operadores genéticos. Para ello se toman dos individuos al azar y se selecciona en primera instancia el que se encuentre en el frente con menor índice dado por el orden por no dominancia. Si ambos individuos comparten el mismo frente, se elige al individuo con mayor distancia de apiñamiento. Este proceso se repite hasta que el número de individuos elegidos alcance el tamaño elegido para el conjunto de descendencia, normalmente este valor corresponde al tamaño de la población original dividido en dos. Luego los individuos resultantes pasan a la etapa de operadores genéticos

2.4.3.4 Elección de mejores individuos NSGA II

Luego de combinar la población del inicio de una iteración con el conjunto de descendencia originado utilizando operadores genéticos, el grupo de individuos resultante es evaluado y ordenado nuevamente por no dominancia y distancia de apiñamiento. Del grupo resultante se seleccionan los individuos que pasan a la siguiente generación. Esta elección se realiza mediante un proceso iterativo en el que en cada iteración, se escoge el individuo que se encuentra en el frente con índice más pequeño y que dentro del frente escogido tenga una mayor distancia de apiñamiento. El proceso iterativo se repite hasta que el grupo de los individuos escogidos alcance el tamaño de la población original.

2.4.3.5 Diagrama NSGA II con restricciones

Al agregar los nuevos conceptos de NSGA II al algoritmo genético básico presentado en 2.4.2.3, resulta el diagrama del algoritmo NSGA II mostrado en la Figura 2-10 [5].

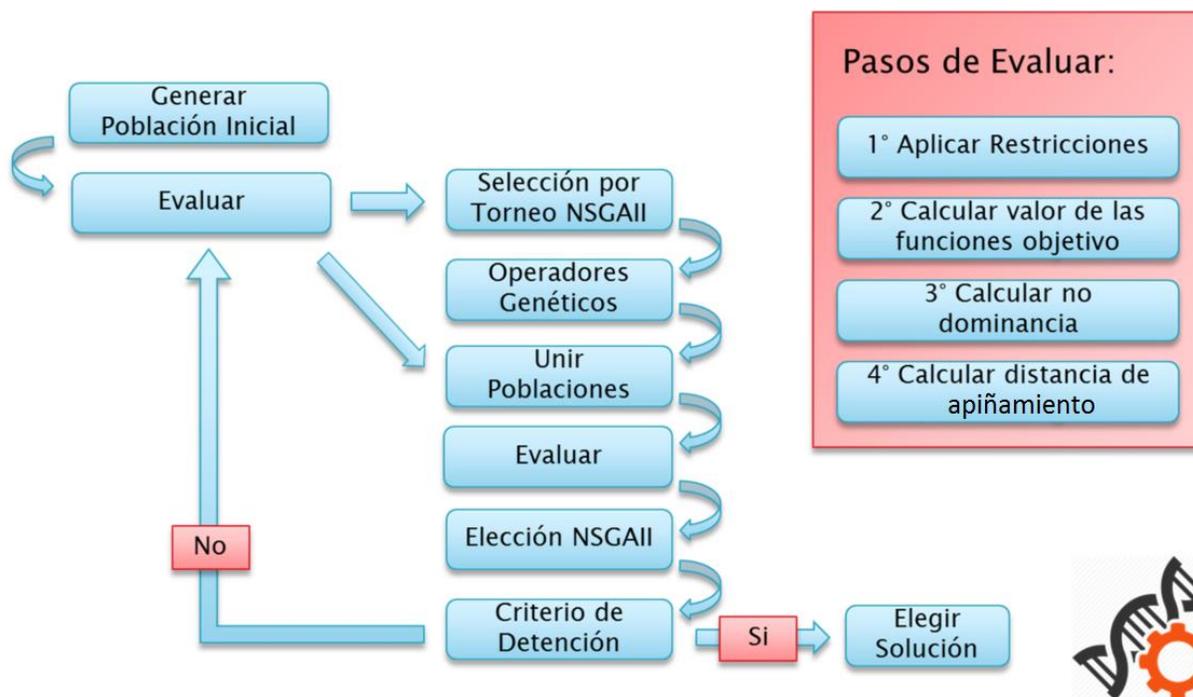


Figura 2-10: Diagrama del algoritmo genético NSGA II

2.4.4 Tipos de variables

Las variables que se usan para representar las bases de datos de convenios y alumnos pueden ser de distintos tipos. Reconocer el tipo de las variables es importante para definir las operaciones que se pueden realizar con ellas. Se puede distinguir dos tipos de variables, las que a su vez se pueden subdividir en otros dos tipos como se muestra en la Figura 2-11 [28].

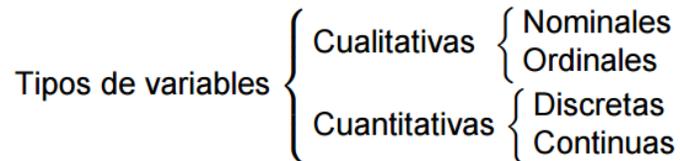


Figura 2-11: Tipos de variables

Las variables cualitativas son aquellas que miden una cualidad y las cuantitativas son las que miden una cantidad.

2.4.4.1 Variable nominal

Es aquella cuyos valores son nombres o códigos sin una relación de orden intrínseco entre ellos. Ejemplos son: sexo, religión, raza, sede, curso, etc. Si una variable nominal puede tomar sólo 2 valores, se le dice variable dicotómica.

2.4.4.2 Variable ordinal

Corresponde a aquella cuyos valores son nombres o códigos, pero con una relación de orden intrínseco entre ellos, es decir, sus valores conllevan un ordenamiento de mayor a menor. Por ejemplo, la calificación (excelente, bueno, regular, malo), el grado en las fuerzas armadas (general, coronel, capitán, etc.), el orden de inscripción de los alumnos (primero, segundo, tercero, etc.) entre otros.

2.4.4.3 Variable discreta

Es aquella que sólo toma valores enteros. Por ejemplo, número de hijos por familia, número de insectos por hoja, número de alumnos por supervisor, etc.

2.4.4.4 Variable continua

Corresponden a las variables que pueden asumir cualquier valor real dentro de un cierto rango. Por ejemplo, estatura, peso, edad, cupos disponibles del campo clínico, nota del alumno, etc.

2.4.5 Optimización por asignación de prioridades

Es un método simple que se utiliza para resolver problemas de optimización multi-objetivo que está basado en prioridades. Consiste en asignar prioridades distintas a cada uno de los objetivos del problema de forma tal, que el valor de un objetivo de cierta prioridad no puede mejorarse en desmedro de un objetivo de mayor prioridad. Para ello, se resuelve cada uno de los objetivos por separado utilizando algún método de optimización de un objetivo de la forma que sigue.

1. Se toma el objetivo con mayor prioridad
2. Se resuelve con un método de optimización de un objetivo
3. El valor encontrado en el punto anterior se utiliza como restricción de igualdad para el objetivo actual para el cálculo de los demás objetivos
4. Se extrae el objetivo de mayor prioridad y se vuelve al paso 1 hasta calcular el valor de cada uno de los objetivos.

Este método destaca por su rapidez y simpleza. El valor encontrado nunca es óptimo a menos que ninguna de las funciones objetivos se contraponga. Se recomienda su uso sólo cuando las prioridades entre los objetivos sean claras y se requiera rapidez de cálculo [29].

En este trabajo se utiliza para ordenar un conjunto de soluciones limitadas por pasos anteriores del problema, de acuerdo a el valor de obtenido en un conjunto de soluciones objetivo.

Capítulo 3: IMPLEMENTACION

El sistema se implementa en su totalidad utilizando la herramienta computacional Matlab. Para desarrollar el sistema que resuelve el problema de asignación, se siguen 10 etapas. Las primeras 2 están relacionadas con la obtención de los datos a utilizar, las siguientes 7 con la resolución del problema de asignación de campos clínicos y la última etapa está relacionada con los resultados que genera el sistema. En la Figura 3-1 se muestra un diagrama resumen del sistema y en el resto de la sección se detalla cada una de ellas.

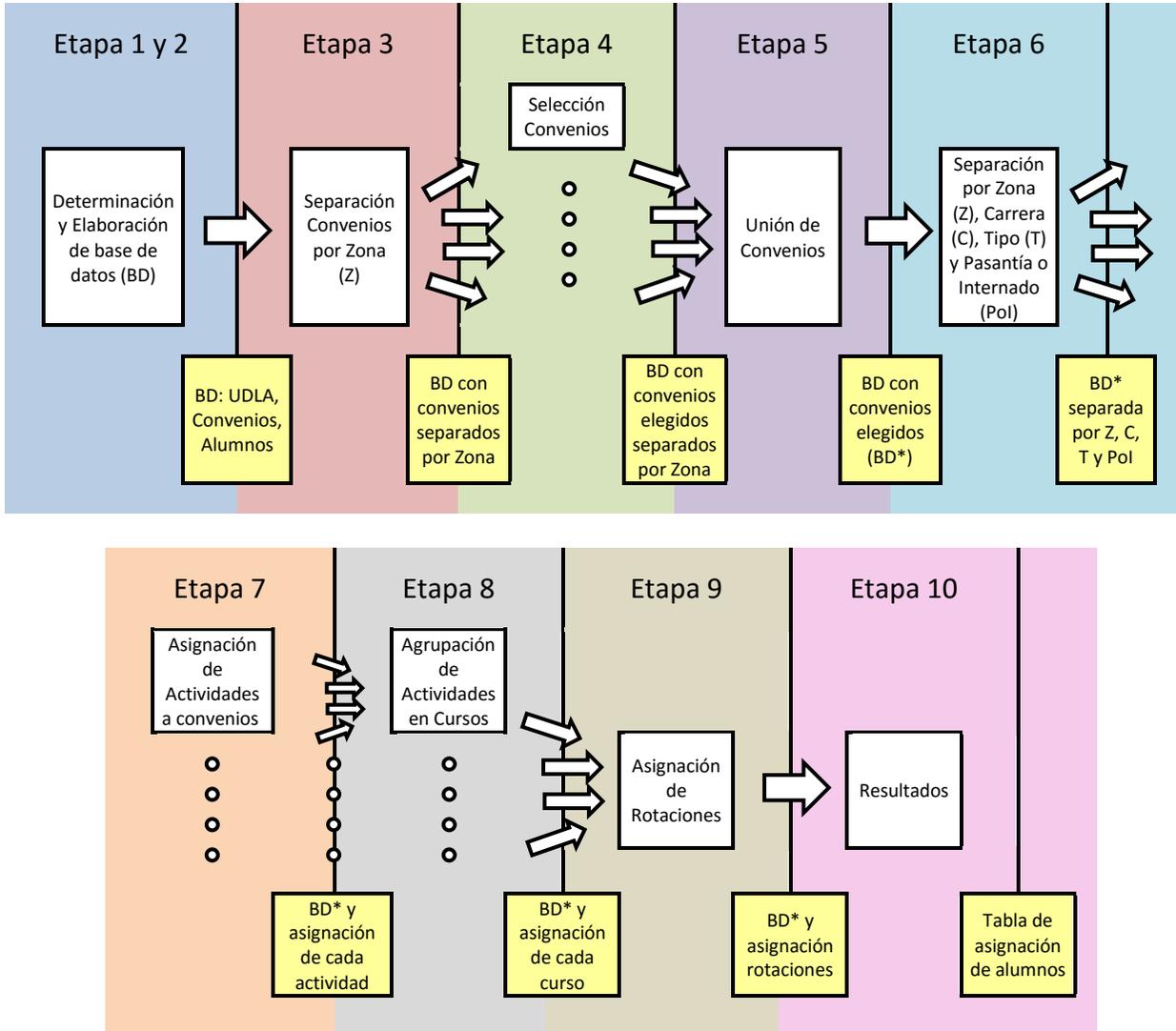


Figura 3-1: Diagrama resumen del sistema de asignación, los recuadros blancos indican un proceso, los amarillos las entradas/salidas y los puntos que el proceso se repite para cada entrada. Las primeras dos etapas están relacionadas con la obtención de la base de datos, las siguientes 7 con la resolución del problema de asignación y la última con los resultados.

3.1 Etapa 1: Reconocer los agentes involucrados en el problema

El primer paso corresponde a distinguir los principales agentes que participan en el proceso de asignación de campos clínicos e identificar sus variables más relevantes. Estos agentes son los datos de la universidad, los convenios que posee y los alumnos a asignar. A cada uno de los agentes se le asigna una base de datos que se describe en esta sección.

3.1.1 Base de datos UDLA

Esta base de datos (BD) está relacionada con la información de los cursos y carreras asociados al proceso de asignación de campos clínicos en la universidad. En este caso, las bases de datos están completas, es decir que no es necesario ninguna estimación de datos. Para ello, se selecciona la información más relevante para el proceso y se reordena en diferentes tablas de datos para su posterior uso, en las demás bases de datos como en el sistema de asignación de campos clínicos. Los resultados son cinco tablas diferentes, desde la Tabla 3-1 a la Tabla 3-5 que se muestran en esta sección. En la Figura 3-2 se puede ver la división de la base de datos UDLA.

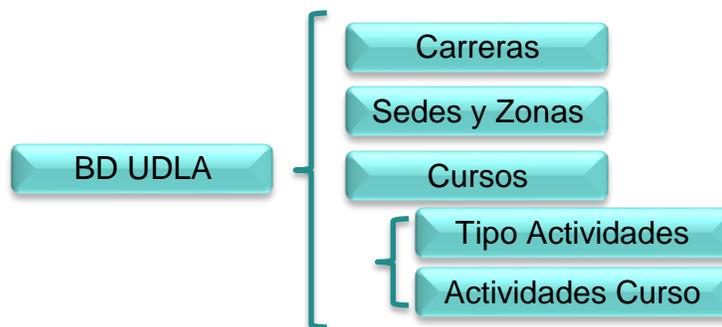


Figura 3-2: Bases de datos (BD) UDLA

3.1.1.1 Carreras de la UDLA

La Tabla 3-1 muestra todas las carreras del área de la salud de la Universidad de las Américas que tiene cursos prácticos y, por tanto, requieren que sus alumnos asistan a campos clínicos. Esta tabla contiene los mismos datos que la mostrada en la sección 2.2.3 más un número de identificación para cada carrera.

Tabla 3-1: Carreras del área de salud de la UDLA junto a la sigla que la representa

ID Carrera	Carrera	Sigla
1	Enfermería	ENF
2	Fonoaudiología	FON
3	Kinesiología	KIN
4	Nutrición y Dietética	NYD
5	Terapia Ocupacional	TOC
6	Técnico en Enfermería	TEN

Sede y zonas de la UDLA

En la Tabla 3-2 se muestran las sedes de la Universidad de las Américas que poseen cursos que requieren campos clínicos. Esta tabla contiene los mismos datos que la mostrada en 2.2.6, pero además contiene las variables “Nombre Zona” e “ID Zona”, que indican la región a la que pertenece la sede. En caso de existir varias sedes por zona, se diferencian entre sí con la variable “ID Sede dentro de cada zona”.

Tabla 3-2: Tabla de sedes y zonas de la UDLA con sus respectivas ID

ID Sede	Código Sede	Nombre Sede	ID Zona	Nombre Zona	ID Sede dentro de cada zona
1	PR	Providencia	1	Región Metropolitana	1
2	LF	La Florida	1	Región Metropolitana	2
3	MP	Maipú	1	Región Metropolitana	3
4	SC	Santiago Centro	1	Región Metropolitana	4
5	CO	Concepción	2	Concepción	1
6	VL	Viña del Mar	3	Viña del Mar	1

3.1.1.2 Cursos de la UDLA

La Universidad de las Américas cuenta actualmente con 6 carreras del área de la salud que en conjunto tienen 62 cursos prácticos que requieren asistencia a campos clínicos. Esta tabla muestra todos estos cursos, el semestre al que corresponden y los clasifica entre cursos de pasantía o internado (0 para pasantía, 1 para internado). Algunos ejemplos de cursos de la tabla se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Ejemplo de cursos del área de salud de la UDLA junto a sus características como el semestre en el que se imparte y si se trata de una pasantía o internado

ID Curso	Carrera	Ramo	Nombre	Semestre en el que se imparte	Semestre Otoño(1) /Primavera(2)	Pasantía(0) /Internado(1)
1	ENF	ENF402	PAE II	4	2	0
2	ENF	ENF500	SALUD DEL ADULTO I	5	1	0
3	ENF	ENF600	SALUD DEL ADULTO II	6	2	0
4	ENF	ENF700	SALUD DEL NIÑO Y ADOLESCENTE I	7	1	0
5	ENF	ENF800	SALUD DEL NIÑO Y ADOLESCENTE II	8	2	0
6	ENF	ENF901	INTERNADO I APS	9	1	1
7	ENF	ENF902	INTERNADO II HOSP	10	2	1
8	FON	FON001	PRACTICA PROFESIONAL II	10	2	1
9	FON	FON301	LINGÜÍSTICA APLICADA	3	1	0

3.1.1.3 Tipos de actividades de la UDLA

Como se explica en la sección 2.2.6, cada curso de la Universidad de las Américas puede tener una o más actividades prácticas, las cuales pueden ser hasta de 4 tipos diferentes. En la Tabla 3-4 se muestran los diferentes tipos de actividades relacionadas a los cursos.

Tabla 3-4: Tipos de actividades en la UDLA

ID Actividad	Nombre
1	Atención primaria de Salud (APS)
2	Hospital
3	Otras instituciones de salud (OIS)
4	UDLA

3.1.1.4 Actividades de los cursos de UDLA

Es necesario tener registro de cada una de las actividades que conforman cada curso y sus respectivos tipos. Debido a que las actividades no cuentan con un nombre establecido, se les asigna un ID dentro de cada curso como forma de diferenciarlas. La Tabla 3-5 muestra el desglose de las actividades de los primeros tres cursos ejemplificados en la Tabla 3-3 junto a otras de sus características relevantes como tipo y cantidad de horas necesarias dentro de un campo clínico para poder completarla.

Tabla 3-5: Ejemplo de actividades en la UDLA y sus características correspondientes a los primeros 3 cursos de la Tabla 3-3. Entre sus características están el número de horas necesario para cumplirlas y el tipo de campo clínico en el que se debe realizar

ID Curso	Carrera	Tipo	Actividad del curso	Ramo	Horas
1	Enfermería	OIS	1	ENF402	12
2	Enfermería	APS	1	ENF500	80
2	Enfermería	Hospital	2	ENF500	80
3	Enfermería	APS	1	ENF600	80
3	Enfermería	Hospital	2	ENF600	60
3	Enfermería	OIS	3	ENF600	20

3.1.2 Base de datos alumnos

El segundo agente relevante en este proceso corresponde a los alumnos del área de salud que deban ser asignados a algún centro clínico para completar sus cursos prácticos. Esta base se representa como una estructura de datos, en la cual cada elemento corresponde a una actividad de un curso de un alumno. Una base de datos de alumnos completa debe contener todas las actividades de cada curso de cada alumno. En la Tabla 3-6 se describen todos los campos de esta estructura:

Tabla 3-6: Estructura de datos de alumnos y actividades. Se muestra cada campo de la estructura junto a una breve descripción, el tipo de variable, un ejemplo y el rango si es que aplica (Ver sección 2.4.4)

Campo	Descripción de la variable	Tipo Variable	Ejemplo	Rango
ID Actividad global	Número identificador de cada actividad de cada alumno	Nominal 1x1	4	N/A
ID Alumno	Número identificador del alumno	Nominal 1x1	1	N/A
Zona	Zona a la que pertenece el alumno	Nominal 1x1	3	N/A
Sede	Sede a la que asiste el alumno	Nominal 1x1	1	N/A
Carrera	Carrera a la que pertenece el alumno	Nominal 1x1	1	N/A
Actividad	Datos que describen la actividad en si [Ramo, Tipo y N° Actividad]	Nominal 1x3	[4,1,1]	N/A
Horas	Número de horas de campo clínico que requiere la actividad	Continua 1x1	80	[0, ∞)
Pasantía o Internado	Indica si la actividad es una pasantía (0) o un internado (1)	Nominal dicotómica 1x1	0	N/A

Campo	Descripción de la variable	Tipo Variable	Ejemplo	Rango
Semestre	Semestre en que se imparte la actividad (Otoño Primavera)	Ordinal 1x1	2	N/A
Problema	N Intervalos de semanas en las que el alumno no puede asistir a clases	Ordinal Nx2	$\begin{bmatrix} 1 - 2 \\ 7 - 9 \end{bmatrix}$	N/A
Nota	Nota promedio del alumno en ramos anteriores	Continua 1x1	64	[10, 70]
Número de Inscripción	Número en que el alumno inscribió sus ramos con respecto a sus compañeros de generación	Ordinal 1x1	3487	N/A

3.1.2.1 Consideraciones de los campos de la estructura de alumnos

1. Problema:

El campo “Problema” indica intervalos de tiempo en el cual el alumno no puede asistir a sus actividades de campos clínicos. Entre las situaciones justificables que caben en esta categoría se encuentran embarazos, asistencias a congresos, enfermedades, etc.

Cuando un alumno es asignado en un periodo de tiempo en el que no puede asistir, se generan pérdidas de cupos de campo clínico, lo que implica incurrir nuevamente en gastos de asignación. Es por esto que se decide crear un campo para tomar en consideración esta situación, el cual, a pesar de no ser robusto ante imprevistos, permite mejorar la asignación para casos planificados.

Este campo, aún no está ingresado en la base de datos de los alumnos de la universidad, sin embargo es considerado de modo que a medida que sea llenado en el tiempo, se mejore el desempeño del sistema.

3.1.3 Base de datos de convenios

El último agente involucrado corresponde a los convenios de la Universidad de las Américas, los datos son complejos de manejar ya que no existe una base de datos establecida. Para esto, se diseña una estructura de datos de convenios con las características necesarias para una asignación correcta.

Una vez diseñada la estructura, se procede a agregar cada uno de los convenios de la universidad. Se establecen valores por defecto para algunos de los campos del convenio debido a que existen casos en que no es posible determinarlos con facilidad. Los valores por defecto específicos para la zona VL se muestran en el Anexo 2. Los valores para las variables de alumnos por supervisor y costos se obtienen utilizando el promedio de estos datos para convenios reales zona.

De forma similar a la base de datos alumnos, se realiza el desglose de cada convenio en cada uno de sus campos clínicos. En la Tabla 3-7 se muestra la estructura de datos diseñada para los convenios de campos clínicos.

Tabla 3-7: Estructura de datos de convenios y campos clínicos. Se muestra cada campo de la estructura junto a una breve descripción, el tipo de variable, un ejemplo y el rango si es que aplica (Ver sección 2.4.4)

Campo	Descripción de la variable	Tipo Variable	Rango
ID Convenio	Identificador del convenio	Nominal 1x1	N/A
ID Campo clínico	Identificador del campo clínico dentro de un convenio	Nominal 1x1	N/A
ID Global	Identificador global del campo clínico	Nominal 1x1	N/A
Rut	Rut del convenio	Nominal 1x1	N/A
Código de actividad	Código de actividad UDLA del convenio	Nominal 1x1	N/A
Activo	Indica si al convenio se le pueden asignar alumnos o no	Nominal dicotómica 1x1	N/A
Modificaciones	Indica si el convenio permite o no modificaciones en sus cupos	Nominal dicotómica 1x1	N/A
Sede preferente	Sede de la cual se prefiera que provengan los alumnos	Nominal 1x1	N/A
Zona	Zona en la que se encuentra el campo clínico	Nominal 1x1	N/A
Comuna	Comuna donde se encuentra el centro clínico	Nominal 1x1	N/A
Costo fijo	Costo independiente de los cupos utilizados del convenio [UF]	Continua 1x1	$[0, \infty)$
Costo variable	Costo por cupo utilizado del convenio para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol [UF]	Continua 1x1	$[0, \infty)$
Costo por supervisor	Costo por cupo de supervisión [UF]	Continua 1x48	$[0, \infty)$ c/u
Alumnos por supervisor	Número de alumnos por supervisor para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol	Discreta 1x48	N/A
Grupos simultáneos pasantía	Número de grupos de alumnos simultáneos de pasantía que admite el centro clínico	Discreta 1x1	N/A
Grupos simultáneos internado	Número de grupos de alumnos simultáneos de internado que admite el centro clínico	Discreta 1x1	N/A
Puntaje	Calidad del campo clínico según evaluación UDLA	Continua 1x1	$[0,10]$
Horario	Horas del día disponibles del centro clínico para recibir alumnos en práctica	Nominal dicotómica 1x24	N/A

Campo	Descripción de la variable	Tipo Variable	Rango
Días	Días de la semana disponibles del centro clínico para recibir alumnos en práctica	Nominal dicotómica 1x7	N/A
Disponibilidad semestral	Rango de semanas en que el campo clínico puede recibir alumnos de la UDLA	Ordinal 1x2	N/A
Horas cupo	Número de horas a las que equivale un cupo en cada carrera del centro clínico	Continua 1x6	N/A
Cupos	Cupos disponibles del centro clínico para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol	Continua 1x48	$[0, \infty)$ c/u
Asignación	Indica el número de alumnos asignados a cada ramo luego de cada paso del algoritmo	Estructura de datos	N/A
Alumnos asignados	Indica que alumnos están asignados, su actividad y horario	Estructura de datos	N/A

3.1.3.1 Consideraciones de los campos de la estructura de convenios

1. Horario

Para el horario se utiliza el supuesto de que el horario de cada día habilitado en un campo clínico es igual a los demás. El horario se presenta como un vector de 24 valores nominales dicotómicos, donde cada valor representa un intervalo de tiempo de una hora. El valor 1 indica que el intervalo está disponible, mientras que el 0 indica lo contrario. En la Tabla 3-8 se presenta un ejemplo de parte de un horario en un centro clínico.

Tabla 3-8: Ejemplo del campo “Horario” para un campo clínico. Cada intervalo de tiempo del campo clínico se representa por un “1” si se encuentra disponible y por un “0” en caso contrario

ID Hora	Intervalos de tiempo	Campo Horario	ID Hora	Intervalos de tiempo	Campo Horario
1	00:00-01:00	0	7	06:00-07:00	1
2	01:00-02:00	0	8	07:00-08:00	1
3	02:00-03:00	0	9	08:00-09:00	1
4	03:00-04:00	0	10	09:00-10:00	1
5	04:00-05:00	0	11	10:00-11:00	0
6	05:00-06:00	0	12	11:00-12:00	0

2. Cupos, costos por supervisión y número de alumnos por supervisor

Los cupos de un campo clínico se dividen según las actividades que se les pueden asignar en:

- Zona en la que tiene que desarrollarse
- Carrera a la que pertenece la actividad
- Tipo de establecimiento que requiere la actividad
- Pasantía o Internado (Pol)

El número de alumnos por supervisor se divide de igual forma que los cupos, ya que existen campos clínicos que aplican condiciones diferentes según la división que se trate. Se define una categoría como una de las divisiones de los cupos dada por los valores fijos de las 4 variables nominales nombradas anteriormente. Si no se detalla la zona, queda implícito que se refiere a la zona del campo clínico.

En la Tabla 3-9 se muestra un ejemplo del vector de cupos y el de número de alumnos por supervisor para la sección de enfermería de un campo clínico

Tabla 3-9: Ejemplo de número de cupos y alumnos por supervisor de enfermería para un campo clínico

Carrera	Enfermería							
	Pasantía				Internado			
Pasantía / Internado	Pasantía				Internado			
Tipo	APS	Hospital	OIS	UDLA	APS	Hospital	OIS	UDLA
Número de Cupos	7	0	0	0	0	0	0	0
Alumnos por Supervisor	7	6	6	25	1	1	1	1

Los vectores presentan un total de 48 variables, que cubren todas las combinaciones posibles entre 6 carreras, 4 tipos de campo clínico y las clases pasantía o internado. La zona es fija y corresponde al lugar donde se encuentre el campo clínico.

3. Asignación

El objetivo de este campo es llevar un registro de los alumnos asignados al centro clínico. En la Tabla 3-10 se muestra un ejemplo de asignación de un campo clínico luego de haber finalizado el programa de asignación.

Tabla 3-10: Ejemplo del campo de asignación de un campo clínico. Se muestran 3 actividades definidas por la ID del curso al que pertenecen y la ID de la actividad dentro del curso junto a su categoría dada por la carrera y tipo al que pertenecen y si corresponde a una pasantía o internado (Pol). Junto a las actividades se incluyen la cantidad de alumnos asignados en la etapa 7 del proceso (Ver sección 3.7) junto a los cupos que representan. También se muestran los cupos por categoría disponibles por el campo clínico para comprobar que los cupos asignados por categoría no superen este valor. En el ejemplo las primeras dos actividades pertenecientes a los cursos de ID 4 y 2 respectivamente tienen la misma categoría por lo que los cupos de tal categoría utilizados por estas actividades es $3.5+3.5=7$, número igual a los cupos disponibles. También se muestra la cantidad de alumnos y cupos que asignados en la etapa 9 (Ver sección 3.9). Estos valores pueden diferir con los de la etapa 7 debido a conflictos de horario. Finalmente se muestran los alumnos sobrantes de la etapa 7, valor que el sistema utiliza para considerar que los grupos de alumnos asignados están incompletos (Ver sección 3.7.1.3)

ID Curso	ID Actividad del curso	Actividad			Categoría			Alumnos Asignados Etapa 7	Cupos Asignados Etapa 7	Cupos categoría	Alumnos Asignados Etapa 9	Cupos Asignados Etapa 9	Alumnos Sobrantes Etapa 7
		Carrera	Tipo	Pol	Carrera	Tipo	Pol						
4	2	1	1	0	1	1	0	14	3,5	7	13	3,25	0
2	1	1	1	0	1	1	0	7	3,5	7	7	3,5	0
6	1	1	2	1	1	2	1	2	6	6	2	6	0

En el ejemplo de asignación se ven la cantidad de alumnos asignados a cada actividad luego de las etapas 7 y 9 que se especifican en 3.7 y 3.9 respectivamente. Las cantidades asignadas en la etapa 9 de asignación de alumnos específicos pueden disminuir con respecto a las cantidades de alumnos asignados en la etapa 7 debido a:

- Casos en que no se han podido satisfacer todas las restricciones del campo “Problema” de algunos alumnos.
- Conflictos de horario que no permitan asignar a todos los alumnos

En la etapa 7 se aplica una discretización por grupos de alumnos. Esto puede ocasionar que queden alumnos sobrantes como se describe en 3.7, que es necesario registrar en los campos clínicos para corregir la situación en las etapas posteriores. Además, se debe considerar de que puede existir más de una actividad en la misma categoría asignadas al mismo centro clínico. Esto puede ocurrir siempre y cuando la suma de sus cupos sea menor o igual a la cantidad de cupos disponibles en tal categoría.

4. Puntaje:

Cuando se ingresa un nuevo convenio a la base de datos, su puntaje comienza siendo 5. Este puntaje se actualiza según la opinión de los alumnos y docentes que hayan asistido al campo clínico en periodos anteriores. Esta información se recopila utilizando las encuestas mostradas en el Anexo 3.

3.2 Etapa 2: Fuentes de datos y uso del sistema

Una prueba de asignación debe tener siempre un semestre asociado, ya sea otoño o primavera, ya que el semestre define los cursos que los alumnos pueden tomar. La base de datos de alumnos y la de convenios deben estar actualizadas para el periodo de estudio. La procedencia de los datos de estas bases define el uso del programa de asignación como se muestra en la Tabla 3-11.

Tabla 3-11: Objetivos del sistema según fuente de datos

Fuente de datos	Objetivo del sistema
Datos reales	Asignación de alumnos y costos asociados. Conocer la distribución final de cupos y si se requieren nuevos convenios para alguna de las categorías de cupos.
Datos simulados	Estimación de costos, ajustes del sistema, evaluación de nuevos convenios y preparación para escenarios futuros

Una vez que las bases de datos de alumnos y convenios están preparadas de acuerdo al semestre asociado, se puede pasar a la etapa siguiente. También es posible realizar pruebas limitadas para ciertas categorías de Zona/Carrera/Tipo/Pol a elección.

3.2.1 Fuentes de tabla de alumnos

Las actividades que toma un alumno cambian cada año y semestre, además hay que considerar que hay alumnos que reprueban cursos y otros que desertan de la universidad.

Si se desea aplicar el sistema de asignación para algún semestre, se requiere tener la tabla final de alumnos con cursos de campos clínicos inscritos. Sin embargo, hay ocasiones en que la tabla no está completa, pero que de igual forma se desea conocer una predicción de los costos estimados asociados a la asignación de campos clínicos. En este caso, se debe realizar una simulación de la tabla de alumnos utilizando la predicción de alumnos que la universidad estima que haya en cada curso. Para crear una tabla de alumnos simulada a partir de la predicción, se implementa un programa de simulación de alumnos en Matlab.

En el caso de que la tabla final de alumnos se encuentre disponible, se puede utilizar el sistema realizado para asignarlos de manera automática, lo que tiene un costo determinado. Para ello se debe tomar la tabla de ingreso de UDLA y llevarla al entorno de trabajo del sistema, en este caso, se realiza una función de transición.

3.2.1.1 Base de datos de alumnos simulados

El programa de simulación de alumnos es básicamente una ventana donde se puede indicar la cantidad de alumnos que toma cierto curso del semestre en estudio. Esta operación se debe repetir hasta que sean considerados todos los alumnos que se deseen asignar. En la Figura 3-3 se muestra una captura del programa implementado.

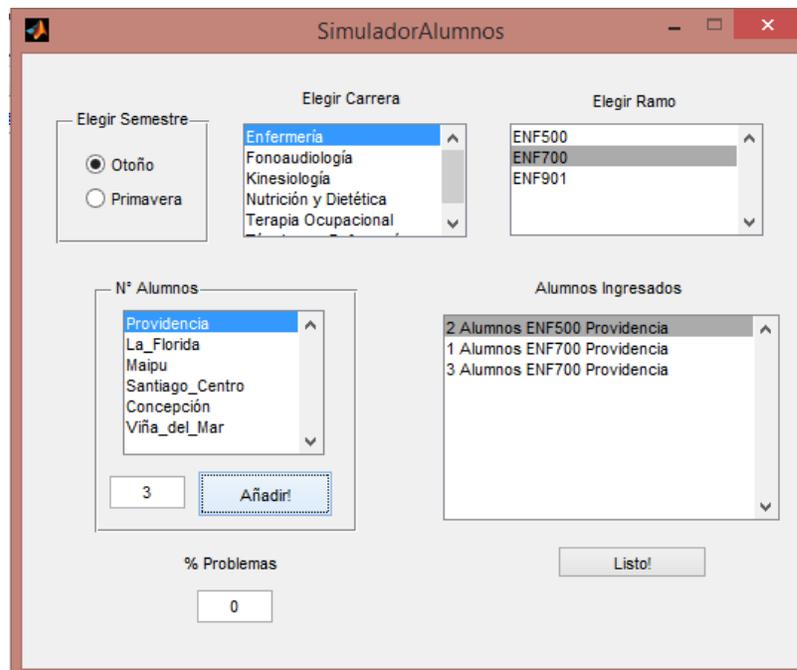


Figura 3-3: Captura del programa de simulación de bases de datos de alumnos. Para asignar alumnos se debe elegir su sede, el curso que requieren realizar asociado a alguna carrera específica y luego su cantidad. Finalmente se presiona “Añadir” y se repite el proceso para otros cursos. Cuando estén considerados todos los cursos se presiona el botón “Listo”

Para utilizar el programa, la primera opción que se debe elegir es el semestre en el que se trabaja, que puede ser otoño o primavera. Para esto, simplemente se presiona el botón correspondiente dentro del panel “Elegir Semestre”. Una vez realizada la elección, los cursos que se pueden elegir se limitan sólo a los que se imparten en tal semestre.

Luego se elige la carrera, los ramos y la sede de los alumnos que se deseen asignar resaltándolos con el mouse en sus respectivas listas. Posteriormente se escribe el número de alumnos que se asignan con estas características y así agregarlas a la base de datos presionando el botón “Añadir”.

Este proceso se repite hasta que se tenga la cantidad correcta de alumnos en cada división dada por la carrera, el ramo y la sede que se desee asignar. Los alumnos que ya se hayan ingresado aparecen en un recuadro de la parte inferior derecha del programa como forma de registro.

Para finalizar, sólo resta modificar el porcentaje del total de alumnos que presentan problemas para realizar sus actividades prácticas en algún periodo de tiempo del semestre y finalmente presionar el botón “Listo”.

Con estos datos y utilizando la base de datos de la UDLA, el programa simulador asigna una ID virtual a cada alumno y desglosa cada uno de sus ramos en las distintas actividades que lo componen. También se añaden otras características que se desprenden de la actividad como el número de horas y si se trata de una pasantía o un internado.

Además se asigna a los alumnos, de forma aleatoria, su orden de ingreso y su promedio de notas. También a cierto número de alumnos dados por el porcentaje de problemas, se les asignan 2 semanas contiguas escogidas al azar en las cuales no pueden asistir a campos clínicos.

En la Tabla 3-12, se muestra a modo de ejemplo, la tabla de alumnos resultante creada a partir de los datos en la Figura 3-3 dentro del recuadro de registro. En la tabla se omiten las variables aleatorias, ya que se agregan posteriormente dentro del programa.

Tabla 3-12: Base de datos de alumnos generada con los datos indicados en el cuadro de registro del programa simulador de la Figura 3-3. En la tabla se muestra el desglose de cada curso de cada alumno en actividades y sus características como en la Tabla 3-5

ID Alumno	Zona	Sede	Carrera	Curso	Tipo	N° de actividad	Horas	Pol	Semestre
1	RM	Providencia	Enfermería	ENF500	APS	1	80	P	1
1	RM	Providencia	Enfermería	ENF500	Hospital	2	80	P	1
2	RM	Providencia	Enfermería	ENF500	APS	1	80	P	1
2	RM	Providencia	Enfermería	ENF500	Hospital	2	80	P	1
3	RM	Providencia	Enfermería	ENF700	APS	1	40	P	1
3	RM	Providencia	Enfermería	ENF700	APS	2	40	P	1
3	RM	Providencia	Enfermería	ENF700	APS	3	40	P	1
3	RM	Providencia	Enfermería	ENF700	OIS	4	40	P	1
4	RM	Providencia	Enfermería	ENF901	Hospital	1	480	I	1
5	RM	Providencia	Enfermería	ENF901	Hospital	1	480	I	1
6	RM	Providencia	Enfermería	ENF901	Hospital	1	480	I	1

Finalmente la tabla es transformada en una estructura como la que se muestra en la sección 3.1.2 lo que facilita su manipulación dentro del entorno de trabajo.

Otro de los usos del simulador de alumnos es la realización de pruebas utilizando bases de datos distintas para verificar el correcto funcionamiento del sistema en diferentes escenarios que se puedan presentar a futuro.

3.2.1.2 Base de datos de alumnos reales

En el caso que se cuenten con datos de alumnos reales de la UDLA, es necesario realizar una transición de estos datos al entorno de trabajo de Matlab para poder trabajar. En la Tabla 3-13 se muestra un ejemplo de datos de alumnos de la UDLA:

Tabla 3-13: Ejemplo de parte de los alumnos ingresados a la UDLA. La tabla contiene alumnos de todas las carreras de la universidad

RUT	ASIGNATURA	CARRERA	SEDE
RUT 1	AUD444	INGENIERÍA COMERCIAL	VL
RUT 2	SIC016	PSICOLOGÍA	LF
RUT 3	ENF500	ENFERMERIA	LF
RUT 4	AEA504	INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL	CO
RUT 5	AEA404	INGENIERÍA COMERCIAL	CO
RUT 6	LCE002	PEDAGOGÍA EN EDUCACIÓN BÁSICA	CO
RUT 7	ENF500	ENFERMERIA	VL

Para la transición, simplemente se filtran los ramos que pertenezcan a las carreras del área de salud que requieren de la asistencia a campos clínicos. Luego a cada RUT, se le asigna una ID y se desglosan los ramos que deban realizar en las actividades que lo componen usando la base de datos de la UDLA. La Tabla 3-14 muestra el resultado luego de aplicar la transición a la tabla del ejemplo de la Tabla 3-13.

Tabla 3-14: Ejemplo de tabla de alumnos resultante luego filtrar los alumnos del área de salud de la Tabla 3-13 y desglosar sus cursos en sus respectivas actividades como en la Tabla 3-5

ID	Zona	Sede	Carrera	Curso	Tipo	Subtipo	Horas	Pol	Semestre
RUT 3	RM	La Florida	Enfermería	ENF500	APS	1	80	P	1
RUT 3	RM	La Florida	Enfermería	ENF500	Hospital	2	80	P	1
RUT 7	VL	Valparaíso	Enfermería	ENF500	APS	1	80	P	1
RUT 7	VL	Valparaíso	Enfermería	ENF500	Hospital	2	80	P	1

La asignación ID-RUT, se guarda en una tabla distinta que se utiliza para reconocer a cada alumno al final del proceso. En caso de que no se tenga el RUT de los alumnos, como cuando se trabaja con alumnos simulados, en la etapa de resultados se muestra sólo la ID como forma de distinción de cada alumno al igual que en el resto del sistema.

3.2.2 Fuentes de tablas de convenios

Para poder ingresar los convenios utilizando la estructura de datos establecida en 3.1.3 se realizó un programa similar al de simulación de alumnos expuesto en 3.2.1. El objetivo del programa es facilitar y reducir los errores en los procesos de agregar y modificar convenios en la estructura de convenios. Además ayuda a consolidar la estructura de convenios descrita en 3.1.3 como forma estándar de representar los convenios en la UDLA.

Por otro lado, si se desea realizar una simulación del programa de asignación para cierto grupo de alumnos y aún no se cuenta con la estructura de convenios real, es necesario tener una forma rápida de obtener un grupo de convenios estándar para obtener estimaciones de costos. En este caso se generan los convenios necesarios para cumplir con los cupos dados por la demanda de los alumnos a ingresar. Además estas simulaciones se pueden utilizar para probar el comportamiento del sistema de asignación en diferentes escenarios que pudiese enfrentar a futuro.

El programa simulador de convenios también se puede utilizar para estudiar los cambios que surgen en la asignación y los costos si se agregan convenios de determinadas características.

3.2.2.1 Base de datos de convenios reales

El programa desarrollado para agregar y modificar convenios de la base de datos es similar al de simulador de alumnos, consiste en una ventana donde se pueden establecer todas las variables de un convenio y sus campos clínicos. Sin embargo, es más complejo que este último debido a la cantidad de campos y las interacciones entre ellos.

Para acceder a este programa se requiere de un nombre de usuario y contraseña. Además el programa guarda las versiones anteriores de la base de datos y registra cada cambio realizado por el usuario ingresado. En la Figura 3-4 se muestra una captura del programa para agregar y modificar convenios.

Administrador de Convenios y Centros Clínicos UDLA, Usuario:Pablo Castelletto, Rut:17331417-5

Datos del Convenio

Convenio: 1.- [▼] Puntaje UDLA: 1 [▼] N° Centros Clínicos: 1 [▼]

Nombre: []

Rut: 11111111-1

Act Code: 0

Costos [UF] [CLP]

Fijos: 0

Por Cupo: 3.5 Pagado

Horario Campo Clínico

Días Habilitados

Lunes []

Martes []

Miércoles []

Jueves []

Viernes []

Sábado []

Domingo []

Copiar Horas

Copiar []

Pegar []

Semanas Habilitadas

Inicio: 1 - Final: 24

Progreso de llenado: **0 / 1**

Botones: [Listo!] [Nuevo Convenio]

Datos de los Centros de Salud

Datos Generales

Centro Clínico: 1.- [▼] Sede Preferente: Providencia [▼]

Nombre: [] Comuna: Cerrillos [▼]

Cupos del Centro de Salud

Tipo: APS [▼] Cantidad Cupos: 0 Horas totales Carrera/Tipo/Pol: 0

Carrera: ENF [▼] Horas por Cupo: 160 Cupos Totales Centro: 0

P / I: Pasantía [▼] N° Alumnos por supervisor: 6

*Cambiar índices antes que los valores de los cupos

Supervisores

	Costo [UF]	N° Grupos Simultaneos
Pasantía	4	1
Internado	4	4

*Costos Promedio CC

Instrucciones/Historial

Instrucciones

Historial

Programa de edición de convenios UDLA:

- Crear un Convenio Nuevo
- 1° Presionar el botón Nuevo Convenio en la parte inferior derecha del programa.
- 2° El convenio creado tiene variables por defecto.

Figura 3-4: Captura del programa implementado para agregar y estandarizar convenios. Para utilizarlo se debe elegir el convenio a editar en el campo “Convenio” y modificar el resto de las características del convenio que se encuentran en el mismo panel. Este procedimiento es análogo para los campos clínicos, se selecciona el campo clínico en la casilla “Centro Clínico” y luego se modifican sus demás campos . Para terminar se presiona “Listo” y para crear otro convenio “Nuevo Convenio”. En la parte inferior del programa se pueden ver las instrucciones en forma más detalladas y el historial de cambios realizados.

Si se abre el programa y no hay convenios dentro de la base de datos, se agrega automáticamente un convenio con los datos por defecto que se muestran en el Anexo 2. En caso contrario se cargan los convenios existentes.

Para trabajar con el programa, el primer paso a seguir es seleccionar el convenio sobre el cual se quiere trabajar en el campo “Convenio” dentro del panel de “Datos del Convenio” y luego modificar sus variables dentro del mismo panel como por ejemplo, su nombre, su número de establecimientos o campos clínico, etc. En el caso de querer agregar otro convenio se debe presionar el botón “Nuevo convenio” ubicado en la parte inferior derecha del programa, lo que agrega un convenio con datos por defecto.

El siguiente paso es fijar las características de los campos clínicos del convenio en los paneles “Datos del centro de salud” y “Horario campo clínico”, que en un comienzo están dadas por los valores por defecto. Primero se elige el campo clínico que se desee modificar utilizando el campo “Centro Clínico”, lo que genera que el programa muestre los datos del campo clínico elegido, para luego cambiarlos en caso de que se desee. Es importante considerar que cada modificación realizada dentro del programa, se guarda automáticamente.

Para llenar los datos del subpanel “Cupos del Centro de salud” primero se debe elegir la categoría a la que se hace referencia. La categoría está dada por los valores de Tipo/Carrera/Pol que se pueden seleccionar utilizando las tres listas en el panel. Una vez elegidas, se deben cambiar los demás campos.

Existen indicadores como el “Progreso de llenado” y los “Cupos totales del centro” que ayudan al usuario a reconocer los centros que aún no tienen sus cupos asignados

Además posee botones para copiar y pegar que facilitan el ingreso de las horas. Copiar guarda las horas habilitadas actuales y pegar sobrescribe las horas habilitadas actuales con las almacenadas por el botón copiar. En un comienzo copiar tiene almacenadas las horas por defecto.

La parte inferior el programa cuenta con una ventana donde se pueden ver las instrucciones acerca de cómo funciona. Presionar el botón “Historial”, cambia la información de la ventana por el historial de cambios realizados en la sesión actual, además del nombre de la última persona que modificó el archivo. Para volver a mostrar las instrucciones simplemente se presiona “Instrucciones”

Cuando se desee terminar la sesión, se presiona el botón “Listo” que guarda la nueva estructura de convenios conservando junto al usuario responsable de los cambios. También se guarda la versión antigua de la estructura de convenios como respaldo.

3.2.2.2 Base de datos de convenios simulados

Esta base de datos se genera considerando los cupos requeridos para asignar un conjunto de alumnos determinado. A la cantidad de cupos por categoría se puede añadir o quitar cierto porcentaje de su valor para simular escenarios donde sobren o falten cupos respectivamente. El número de convenios y campos clínicos asociados que se utiliza se escoge de forma aleatoria, respetando a su vez la cantidad de cupos por categoría.

La base de un convenio simulado son los datos del convenio por defecto mostrado en el Anexo 2. Las variables de localización como la zona y la sede del convenio simulado, se ajustan de acuerdo a la demanda de alumnos, mientras que las variables de costos, supervisores y de horario se pueden modificar para aumentar la varianza de la base simulada.

3.3 Etapa 3: Separación de los convenios por zonas

El objetivo de esta etapa es preparar la base de datos de convenios para la etapa siguiente. Para ello, simplemente se separan todos los convenios de la UDLA de acuerdo a su zona (Z). Actualmente los convenios de la universidad están distribuidos en tres zonas diferentes como se muestra en la Figura 3-5.



Figura 3-5: Separación de convenios por zonas (Z). Actualmente la UDLA tiene 3 zonas mencionadas en la Tabla 2-2

3.4 Etapa 4: Selector de Convenios

Existen casos en que la capacidad de los convenios de la universidad es superior a la necesaria para que todos los alumnos sean asignados sin problemas a sus cursos prácticos. Por tanto, es necesario saber si existe la posibilidad de dejar un convenio de lado y aun así cumplir con la asignación de la totalidad de los alumnos, ya que de esta forma se puede reducir costos sin perjudicar a los alumnos.

Dado que los cupos de una zona son independientes a los de otra, la selección de convenios se aplica de forma separada a cada una de las zonas. Esta sección del problema se resuelve con algoritmos genéticos NSGA II teniendo como objetivo principal elegir los convenios que se adapten mejor a la demanda actual de cupos dada por los alumnos. En la Figura 3-6 se muestra el diagrama del proceso de selección para la zona 1 (Z1).

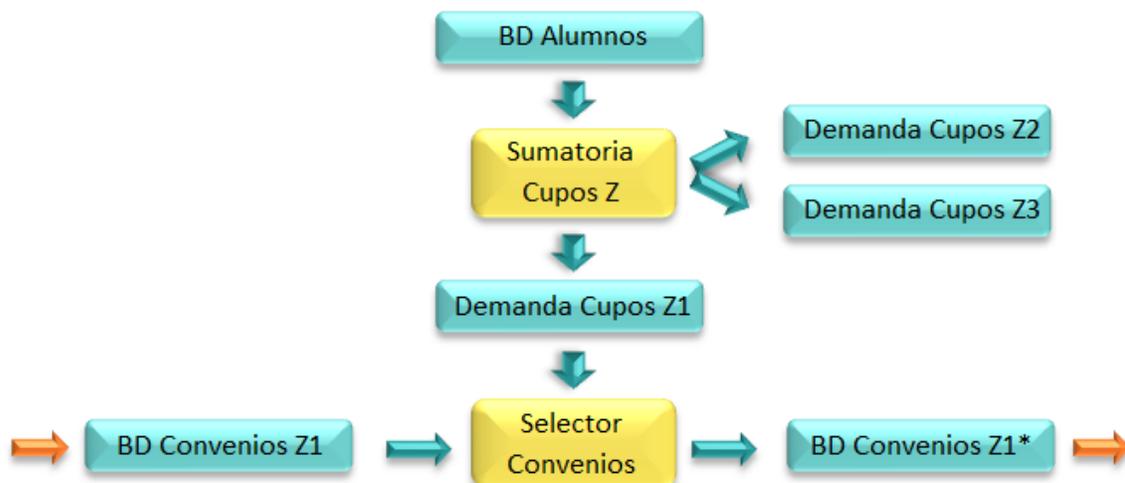


Figura 3-6: Diagrama resumen de la etapa 4 para la zona 1 (Z1). Primero se calcula la demanda de los alumnos de cada zona de la UDLA y luego se aplica la selección de convenios a los convenios de cada zona por separado teniendo como entrada sus respectivos convenios y demanda de cupos.

Las entradas del sistema son los convenios y la demanda de cupos de una zona en específico. La demanda de cupos se obtiene sumando los cupos requeridos de cada una de las actividades de los alumnos en estudio clasificados por categoría Carrera/Tipo/Pol. Como no se puede comprar sólo parte del cupo, se redondean hacia arriba. En la Tabla 3-15 se muestra un ejemplo simulado de la de demanda de cupos de la zona RM.

Tabla 3-15: Ejemplo de demanda de cupos de la zona RM. La demanda es la sumatoria de los cupos requeridos por cada alumno para cada categoría Zona/Curso/Tipo/Pol (Ver sección 3.1.2.1)

Zona	Carrera	Tipo	Pasantía (0) o Internado (1)	Cupos Necesarios
RM	ENF	APS	0	117
RM	ENF	Hospital	0	67
RM	ENF	OIS	0	17
RM	ENF	APS	1	3
RM	ENF	Hospital	1	117
RM	FON	OIS	0	12
RM	FON	UDLA	0	3
RM	FON	OIS	1	13

3.4.1 Descripción de los algoritmos genéticos

3.4.1.1 Entrada y salida

Como entrada del problema, se utiliza sólo la base de convenios de la UDLA y la demanda de cupos de una zona en específico. Por otro lado, la salida es la misma base de convenios con el campo “Activo” actualizado que indica si el convenio se utiliza o no en las etapas siguientes.

3.4.1.2 Parámetros

- Tasas de Crossover y mutación: Se utilizaron tasas de crossover y mutación según [5], es decir una probabilidad de entrecruzamiento de 0.9 y una de mutación de $\frac{1}{m}$ siendo m el número de variables del problema.
- Número de Individuos: De acuerdo a [26], se utiliza un tamaño de población igual a $1.5n$ donde n es el número de bits en cada cromosoma.
- Número de épocas: El número de épocas se encuentra luego de hacer pruebas con el algoritmo y se llega a la conclusión que hasta el problema con más actividades y campos clínicos no mejora su resultado luego de aproximadamente 30 épocas por lo que se elige un número de épocas igual a 40 para tener un margen.

3.4.1.3 Formación de individuos o soluciones

Se establece que las variables asociadas a cada convenio dentro del individuo dependen de si el convenio permite o no modificaciones en la cantidad de cupos:

1. El convenio no permite modificaciones en sus cupos:

En este caso, cada uno de los convenios tiene asociada sólo una variable dicotómica que representa si el convenio está en uso (valor 1) o no (valor 0). En este contexto, si un convenio está en uso, significa que se consideran la totalidad de sus cupos para el proceso de algoritmos genéticos para todas las categorías Carrera/Tipo/Pol. En caso contrario, el convenio no se considera.

2. El convenio permite modificaciones en sus cupos:

En este caso, cada uno de los convenios tiene asociada a lo más 6 variables enteras además de una variable dicotómica con función similar a la anterior. Cada variable entera representa la cantidad de cupos con los que cuenta el convenio para cada una de las carreras de la UDLA tomando en consideración cada uno de sus centros clínicos.

En el caso de que el convenio no posea cupos de una o más carreras, se omiten las variables asociadas a estas carreras. Los límites de cada variable están dados por 0 y el máximo de cupos que el convenio dispone para la carrera correspondiente. Un individuo o solución para este problema corresponde a las variables generadas por todos los convenios que se tengan a disposición para el periodo de estudio. En la Tabla 3-16 se muestra un ejemplo de solución para 4 convenios.

Tabla 3-16: Ejemplo de una solución de la etapa 4 de selección de convenios. Se muestran 4 convenios de C1 a C4 y se indica si sus cupos son o no modificables. Si no lo son, sólo tienen una variable que tiene valor 1 si el convenio está activo y 0 en caso contrario. Los demás convenios comparten la variable anterior pero además tienen una más por cada carrera en la que tengan cupos. Estas últimas indican la cantidad de cupos que se van a utilizar de la carrera a la que corresponda. Las variables asociadas a carreras se ignoran si el convenio no está activo como es el caso de C4, por ello, sus variables se encuentran en amarillo mientras que las demás en están en verde.

Convenio	C1	C2	C3			C4						
Modificaciones	No	No	Si			Si						
Variable	On/Off	On/Off	On/Off	ENF	FON	On/Off	ENF	FON	KIN	NYD	TOC	TEN
Límite Superior	1	1	1	10	10	1	15	5	8	8	8	10
Valor variable	1	0	1	10	9	0	5	5	8	8	7	10
Límite Inferior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En el ejemplo, se muestra que los convenios C1 y C2 no permiten modificaciones en sus cupos, por lo que tienen asociado sólo una variable. Por otro lado el convenio C3 que si permite modificaciones en sus cupos, tiene además 2 variables asociadas a las carreras de enfermería y fonoaudiología. C4 tiene cupos para todas las carreras, por lo que sus variables asociadas a estas se incluyen en el individuo, sin embargo, para el

individuo del ejemplo no son tomadas en consideración debido a que su variable dicotómica tiene valor 0. El máximo de cupos que puede disponer el convenio C3 tanto para enfermería como fonoaudiología es 10, mientras que para C4 es variante en todas sus carreras.

Generación de población inicial

Cada variable dentro de cada individuo de la población inicial se genera de forma aleatoria teniendo en consideración los límites de cada una.

3.4.1.4 Restricciones

El algoritmo genético de esta sección no tiene ninguna restricción asociada, además de los límites de cada variable.

3.4.1.5 Funciones objetivo

El algoritmo genético de esta sección busca encontrar las mejores soluciones posibles en virtud de 2 funciones objetivos:

1. Función promedio del criterio precio calidad o ranking

El criterio precio calidad tiene relación directa con los distintos costos del convenio y el puntaje de calidad otorgado por la universidad, sin tomar en consideración la cantidad de cupos de cada convenio.

Sean:

- i : índice que recorre los convenios activos
- \overline{CFijo} : Promedio de costos fijos de los convenios
- \overline{CVar} : Promedio de los costos variables de los convenios
- $\overline{Cupos}(i)$: Vector de cupos resultante de la suma de los de cada uno de sus centros clínicos
- $PCalidad(i)$: Ponderador de calidad del convenio i
- $CriterioC(i)$: Criterio de costos del convenio i
- $PFijo$: Promedio de los costos fijos de todos los convenios
- $PVar$: Promedio de los costos variables de todos los convenios
- N : Número de convenios activos
- $M(i)$: Número de centros clínicos del convenio i
- $Act(i)$: función que vale 1 si el convenio i está activo y 0 si está inactivo. Esta información se obtiene de las variables dicotómicas de cada individuo.

Esta función objetivo se define como el mínimo del promedio del criterio precio calidad de cada uno de los convenios activos:

$$\min \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CriterioPC(i) \cdot Act(i) \quad (9)$$

Con:

$$CriterioPC(i) = CriterioC(i) \cdot PCalidad(i) \quad (10)$$

$$CriterioC(i) = \left[\underbrace{CFijo(i)/\overline{CFijo}}_1 + \underbrace{CVar(i)/\overline{CVar}}_2 + g\left(\underbrace{\overline{Aux(i)}/\overline{PSup}}_3, \overline{Cupos(i)}\right) \right] \quad (11)$$

$$PCalidad(i) = -0.04 * PuntajeUDLA(i) + 1.2 \quad (12)$$

Las operaciones de división vectorial mostradas en las ecuaciones, se refieren a divisiones punto por punto. El primer término de $CriterioC(i)$ corresponde al costo fijo normalizado, mientras que el segundo a los costos variables normalizados. El tercer término es una función cuyos argumentos son una división vectorial que hace referencia a los costos de supervisión del convenio i normalizados y el vector de cupos del convenio que indica cuales costos de supervisión que se deben considerar.

El vector auxiliar asociado al convenio i , corresponde a la suma de vectores, donde cada uno de ellos proviene de un campo clínico del convenio i . Los vectores a sumar son los resultantes entre la división punto a punto entre los costos de supervisión con el número de alumnos por supervisor de cada campo clínico del convenio i .

$$\overline{Aux(i)} = \frac{1}{M(i)} \sum_{j=1}^{M(i)} \overline{CSup(j)} / \overline{NAlSup(j)} \quad (13)$$

Por otro lado, el término divisor, no es más que la sumatoria del vector auxiliar de cada uno de los convenios activos dividido por el número de convenios activos. Este término cumple el rol de normalizar cada uno de los valores del vector auxiliar para cada convenio.

$$\overline{PSup} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{Aux(i)} \quad (14)$$

La función $g(\vec{x}, \vec{y})$ que se le aplica al cociente entre $\overline{Aux(i)}$ y \overline{PSup} , es el promedio de todos los valores dentro del vector x omitiendo los valores $x(i)$ para los cuales $y(i) \leq 0$. Es decir:

$$g(\vec{x}, \vec{y}) = \bar{W} \text{ con } W = \{x(i) \mid y(i) > 0\} \quad (15)$$

Es decir que para este criterio no se consideran los costos de supervisión asociados a las categorías en las cuales el convenio no tiene cupos.

Finalmente, el término que multiplica al $CriterioC(i)$, está relacionado con la calidad del convenio y pondera los costos normalizados anteriores por una variable que toma en consideración el campo de puntaje de calidad UDLA del convenio i . Mientras más alto sea el puntaje del convenio, el ponderador será menor, lo que reducirá el valor de la función objetivo.

2. Función Ajuste al problema

Esta función se encarga de que los convenios activos se ajusten de la mejor manera posible a la demanda de cupos dada por los alumnos del periodo de estudio. Su objetivo es minimizar la diferencia entre los cupos necesarios por los alumnos y los dados por los convenios activos de la universidad para cada categoría (Carrera/Tipo/Pol).

En la Tabla 3-17 se muestra un ejemplo de la demanda de cupos de campos clínicos la zona metropolitana, junto a los cupos disponibles del grupo de convenios activos dada por una solución.

Tabla 3-17: Ejemplo de demanda de cupos de la zona RM junto a los cupos proporcionados por un grupo de convenios cualquiera. La demanda es la sumatoria de los cupos requeridos por cada alumno para cada categoría Zona/Curso/Tipo/Pol (Ver sección 3.1.2.1)

Zona	Carrera	Tipo	Pol	Cupos Necesarios	Cupos Convenios
RM	ENF	APS	0	117	120
RM	ENF	Hospital	0	67	65
RM	ENF	OIS	0	17	18
RM	ENF	APS	1	3	6
RM	ENF	Hospital	1	117	130
RM	FON	OIS	0	12	9
RM	FON	UDLA	0	3	3
RM	FON	OIS	1	13	27

Los cupos disponibles de los convenios se calculan sumando los cupos de cada uno de sus campos clínicos y separándolos por categoría Carrera/Tipo/Pol. Las categorías en las cuales no exista demanda de cupos, son también tomadas en consideración de modo que se perjudique a las soluciones que posean cupos de tal categoría.

Sean:

- C : Número de categorías Carrera/Tipo/Pol
- $CNecesarios_k$: Cupos necesarios de la categoría k
- $CConvenios_k$: Suma de cupos de la categoría k tomando en consideración un individuo del algoritmo genético

La función de ajuste está dada por:

$$\min \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C f(CNecesarios_k, CConvenios_k) \quad (16)$$

Se define la función f como:

$$f: \mathbb{Z}^{+2} \rightarrow \mathbb{Z}^{+}, [0,1]$$

$$f(x,y) = \begin{cases} x - y, & \text{si } x \geq y \\ 1 - \frac{x}{y}, & \text{si } x < y \end{cases} \quad (17)$$

Para cada una de las categorías, la función f prioriza siempre que sobren cupos a que falten sin importar la cantidad sobrante. Además, en el caso de que sobren cupos, beneficia combinaciones de convenios en las cuales esta cantidad es menor. En la Figura 3-7 se muestra el gráfico de la función f .

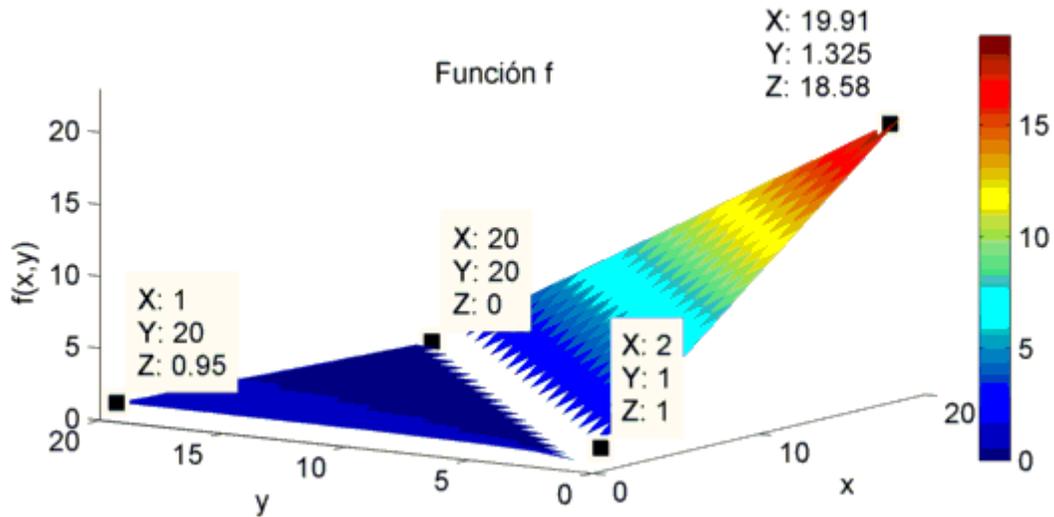


Figura 3-7: Gráfico de la función f que prioriza siempre que sobren cupos a que falten en el grupo de convenios seleccionados. Además beneficia las combinaciones de convenios en las que sobre la cantidad mínima de cupos

3.4.1.6 Solución final

Dado que en la gran mayoría de las ocasiones, las dos funciones objetivo se contraponen, se tiene como resultado más de una solución. La solución elegida es la que minimiza la función de ajuste y luego minimiza la función promedio del criterio precio calidad.

Utilizando la solución final del algoritmo genético se modifica el campo "Activo" de cada convenio. Los convenios activos son los que tienen valor 1 para su variable dicotómica dentro de la solución final. Este cambio se registra en los diagramas con un asterisco sobre la base de datos como se muestra en la Figura 3-6.

3.5 Etapa 5: Unión de convenios actualizados por zona

En esta etapa simplemente se vuelven a unir las bases de convenios de cada zona, pero ahora con el campo “Activo” actualizado como se muestra en la Figura 3-8.



Figura 3-8: Diagrama resumen de la etapa 5. Simplemente se vuelven a unir los datos de los convenios, pero esta vez con los convenios seleccionados, situación que se denota con un asterisco

3.6 Etapa 6: Separación de convenios y alumnos por zona, carrera, tipo y pasantía o internado

El objetivo de este proceso es dividir el problema de asignación en problemas del mismo tipo pero más pequeños y sencillos de resolver. Para ello es necesario que el resultado de cada división sea independiente de las demás. Las separaciones escogidas son cada una de las categorías generadas por la división de los cupos totales para el periodo de estudio según Zona(Z)/Carrera(Z)/Tipo(T)/Pasantía o Internado(Pol) como se ilustra en la Figura 3-9.

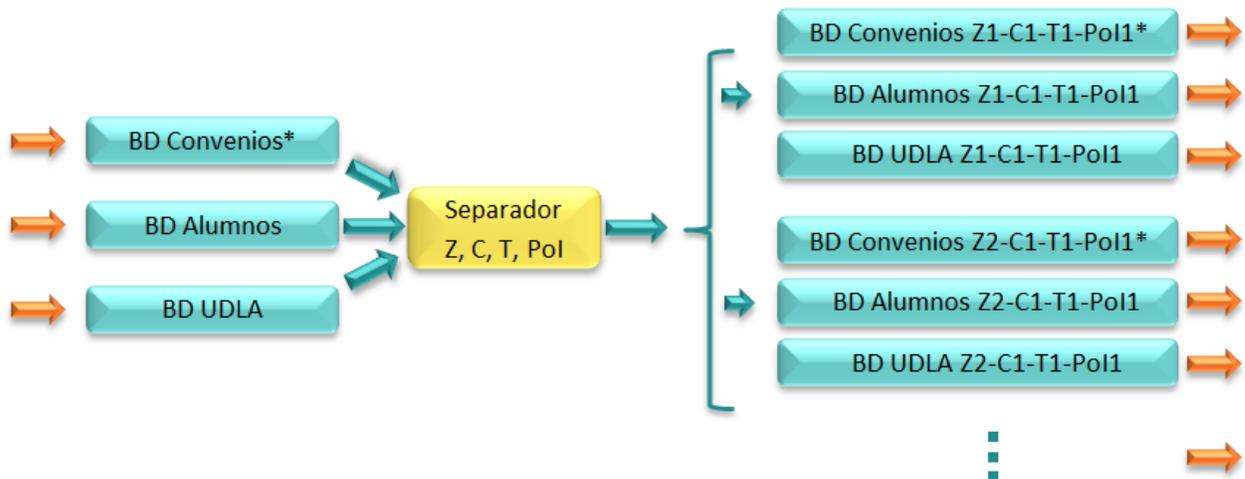


Figura 3-9: Diagrama resumen de la etapa 6. Se separan las bases de datos para cada categoría Zona (Z)/Carrera (C)/Tipo (T)/Pasantía o Internado (Pol)

A continuación se muestran las variables que dividen los cupos y las razones de su elección:

3.6.1 División por zona (Z)

Las zonas de las universidades de las Américas son muy distantes entre sí, por lo que asignar a un alumno perteneciente a una zona a realizar sus actividades prácticas en otra, resulta poco conveniente. A pesar de que esta situación se da en la universidad, los casos son muy pocos. Por lo que se opta por tomarlos en consideración luego de terminado el proceso de asignación.

3.6.2 División por carrera (C)

Los cupos de campo clínico para una carrera en específico, no pueden ser usados para realizar actividades de otras carreras.

3.6.3 División por tipo (T)

Es análogo a la división por carrera, cada curso práctico requiere de ciertas características especiales en relación al ambiente y forma de trabajo independiente de la carrera de la que se trate, teniendo como objetivo que los alumnos conozcan la mayor cantidad de realidades a las que se enfrentarán en su futuro como profesionales.

3.6.4 División por pasantía o internado (PoI)

Para un centro clínico los recursos invertidos en recibir alumnos de pasantía y de internado son muy diferentes, por lo que los cupos se asignan por separado para cada clase de actividad.

3.6.5 Salida de la etapa 6

Para cada una de las divisiones Zona/Carrera/Tipo/PoI, se obtienen las bases de datos filtradas. En la base de datos UDLA queda la información de cada una de las actividades que cumplen con los filtros establecidos. Cada una de estas tripletas de bases de datos ingresa por separado a la etapa 7 explicada en 3.7.

3.7 Etapa 7: Asignación de actividades a convenios

En esta etapa se asignan las actividades de los alumnos a los diferentes centros clínicos de la base de datos de convenios. Esta operación sólo considera la cantidad de actividades a asignar, sin tomar en consideración qué alumnos en particular son los que van a asistir, ni tampoco la fecha y el horario de las actividades.

El método de resolución utilizado en esta etapa es algoritmos genéticos NSGA II al igual que en la sección 3.5. Este proceso se utiliza para cada tripleta de bases de datos filtradas de acuerdo a una categoría Zona/Carrera/Tipo/PoI obtenida en 3.6. Si bien cada uno de estos problemas utiliza funciones objetivo y restricciones del mismo tipo, el número de variables cambia según el número de campos clínicos y actividades distintas involucradas. Esto genera a su vez, cambios importantes en la región de soluciones factibles.

3.7.1 Descripción de los algoritmos genéticos

3.7.1.1 Entrada y salida

Como entrada al sistema de esta etapa, se utilizan las bases de datos filtradas de acuerdo a una categoría Zona/Carrera/Tipo/Pol y como salida, la asignación de las actividades de la categoría establecida (Asig Acts). En la Figura 3-10 se muestra el diagrama resumen de esta etapa con sus entradas y salida.



Figura 3-10: Diagrama de la etapa 7. Las bases de datos de cada una de las categorías Zona (Z)/Carrera (C)/Tipo (T)/Pasantía o Internado (Pol) entran por separado al proceso al proceso de asignación. El resultado son las cantidades de actividades de cada categoría asignadas a distintos campos clínicos

3.7.1.2 Parámetros

- Tasas de Crossover y mutación: Se utilizaron tasas de crossover y mutación según [5], es decir una probabilidad de entrecruzamiento de 0.9 y una de mutación de $\frac{1}{m}$, siendo m el número de variables del problema.
- Número de Individuos: De acuerdo a [26], se utiliza un tamaño de población igual a $1.5n$ donde n es el número de bits en cada cromosoma.
- Número de épocas: El número de épocas se encuentra luego de hacer pruebas con el algoritmo y se llega a la conclusión que hasta el problema con más actividades y campos clínicos no mejora su resultado luego de aproximadamente 30 épocas por lo que se elige un número de épocas igual a 40 para tener un margen.

3.7.1.3 Formación de individuos o soluciones

Una diferencia importante del algoritmo genético actual con el utilizado en la sección 3.4, es que las variables que forman las soluciones están asociadas a los campos clínicos y no a convenios.

En una solución, cada variable se representa por el número de grupos de alumnos asignados a alguna actividad de la categoría en estudio en algún centro clínico. Un grupo de alumnos de un campo clínico corresponde a un grupo de tamaño igual al número de alumnos por supervisor del campo clínico. En el caso de tener 5 actividades y 3 campos clínicos que las impartan, el número de variables contenidas dentro de cada solución es de 15.

Esta forma de representar las variables se prefiere por encima de la cantidad de alumnos asignados o cupos asignados, debido a que disminuye el rango de movimiento de cada variable haciendo que el algoritmo trabaje de forma más rápida. Además, de este modo, todas las variables del problema son discretas, lo que facilita la aplicación de operadores genéticos y las restricciones. También disminuye el tamaño final de cada solución luego de transformarla en un número binario.

Como punto negativo de este diseño, si un campo clínico tiene cupos demás que no logran formar un grupo completo de alumnos, estos cupos no son considerados. Por ejemplo si un campo clínico tiene 3 cupos y un grupo de alumnos representa una carga de 2 cupos para el establecimiento para cierta actividad, la variable que represente a tal actividad en tal campo clínico sólo podrá tomar los valores 0 y 1, despreciándose un cupo del campo clínico.

Los límites entre los cuales las variables se pueden mover, están dados por 0 grupos, es decir, que no se asigne ningún grupo de alumnos a la actividad en algún campo clínico y el número máximo de grupos para la actividad que permita el campo clínico.

Se debe notar que de cualquier forma en que se escojan las variables, si los límites superiores son escogidos utilizando el máximo de cupos filtrados dados por el proceso anterior, no se garantiza que la solución sea siempre factible.

- Ejemplo de elaboración de una solución

La Tabla 3-18 contiene las actividades y la cantidad de alumnos que deben rendirlas para la categoría RM/Enfermería/OIS/Pasantía.

Tabla 3-18: Ejemplo de alumnos pertenecientes a la categoría RM/ENF/OIS/Pasantía luego de pasar por la etapa 6. En el ejemplo hay 50 alumnos en la actividad de ID 1 que forma parte del curso ENF402 y 100 alumnos en la actividad de ID 2 que forma parte del curso ENF600 además se muestran algunas características de las actividades y los cupos en total que representan los alumnos

ID Actividad	Alumnos en Actividad	Zona	Carrera	Curso	Tipo	Horas	N° Cupos	Semestre	Pasantía o Internado	Total Cupos
1	50	RM	ENF	ENF402	OIS	12	0.08	Primavera	Pasantía	4
2	100	RM	ENF	ENF600	OIS	20	0.13	Primavera	Pasantía	13

Si los centros clínicos de tal categoría son los que se muestran en la Tabla 3-19

Tabla 3-19: Ejemplo de campos clínicos filtrados para la categoría RM/ENF/OIS/Pasantía

Campo Clínico	Cupos Categoría	N° Alumnos por supervisor Categoría
CC1	10	6
CC2	8	4

Sean:

- i, j : Índices que recorren las actividades y campos clínicos respectivamente para la categoría en estudio.
- $NAlSupervisor(j)$: Número de alumnos por supervisor del campo clínico j . Es lo mismo que el número de alumnos por grupo.
- $NCuAct(i)$: Número de cupos requeridos por la actividad i .
- $NCuGAct(i, j)$: Número de cupos requeridos por grupo en el campo clínico j asignados a la actividad i .
- $NCuCCF(j)$: Número de cupos disponibles del campo clínico j de acuerdo a la categoría en estudio

Se desea encontrar las variables de un individuo para el algoritmo genético de esta sección y sus límites. Como en este ejemplo hay 2 actividades y 2 campos clínicos que están capacitados para impartirlas, el número de variables de cada individuo es 4. Primero se procede a calcular para cada par “actividad – campo clínico” los cupos por grupo de alumnos que requiere la actividad.

El número máximo de grupos o límite superior de cada variable se encuentra definido por:

$$LimSup(i, j) = RoundUp\left(\frac{NCuCCF(j)}{NCuGAct(i, j)}\right) \quad (18)$$

Con:

$$NCuGAct(i, j) = NAlSupervisor(j) \cdot NCuAct(i) \quad (19)$$

Para calcular el límite superior se utiliza una función de redondeo hacía arriba, lo que puede causar que el sistema agregue un grupo completo de alumnos para un par actividad – campo clínico, cuando la capacidad del convenio permita sólo parte del grupo. Cuando esto ocurre, la cantidad de alumnos excedentes se registran en la variable “Alumnos sobrantes” dentro del campo “Asignación” del campo clínico como se muestra en la sección 3.1.3 para tomarlos en consideración en el resto del proceso.

Siguiendo el ejemplo, utilizando los valores dados por Tabla 3-18 y Tabla 3-19, como el número de alumnos por supervisor del campo clínico CC1 es 6 y la actividad 1 representa una carga de 0.08 cupos, entonces el número de cupos por grupo es 0.48. Luego como CC1 tiene 10 cupos luego del proceso de filtrado, su límite superior para la actividad 1 resulta ser 20. Este proceso se repite para cada campo clínico y cada actividad. El resultado se expone en la Tabla 3-20:

Tabla 3-20: Ejemplo de cálculo del número máximo de grupos para los campos clínicos presentados en la Tabla 3-19 y las actividades de Tabla 3-18

Campo Clínico	Cupos por grupo Actividad ID 1	Cupos por grupo Actividad ID 2	N° máximo de grupos Actividad ID 1	N° máximo de grupos Actividad ID 2
CC1	0.48	0.78	20	12
CC2	0.32	0.52	25	15

3.7.1.4 Restricciones:

Tanto en el inicio de un algoritmo genético como a medida que itera, se crean constantemente nuevas soluciones para el problema. Cada vez que esto ocurre, es necesario asegurar que cada solución sea factible. En particular, al comienzo del algoritmo se genera una cantidad de soluciones igual al parámetro de tamaño de la población dado por el algoritmo. Las variables iniciales asociadas a cada solución se escogen de forma aleatoria entre los límites establecidos para cada una. Siguiendo el desarrollo del ejemplo mostrado en Tabla 3-20, se genera solución mostrada en la Tabla 3-21.

Tabla 3-21: Solución no factible generada al azar para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. En azul se muestra el número de alumnos asignados para cada combinación entre campo clínico y actividad de la categoría filtrada. Además se muestran los límites para cada combinación encontrados en Tabla 3-20. Esta solución es no factible porque la cantidad de cupos del convenio CC1 para esta categoría es superada

Campo Clínico	CC1	CC1	CC2	CC2
ID Actividad	1	2	1	2
Límite Superior	20	12	25	15
Número de Grupos Asignados (Solución)	9	10	5	3
Límite Inferior	0	0	0	0

A pesar que la solución de la Tabla 3-21 tiene todas sus variables dentro de los límites establecidos, no es una solución factible, ya que la cantidad total de cupos del campo clínico CC1 para la categoría en estudio, es superada. Sean:

- i : Índice que recorre las actividades filtradas.
- j : Índice que recorre los campos clínicos filtrados
- $GAsign(i, j)$: Número de grupos asignados a la actividad i en el campo clínico j .
- A : Número de actividades filtradas
- C : Número de campos clínicos filtrados

Los cupos utilizados por el campo clínico CC1 de la categoría en estudio para la solución expuesta en la Tabla 3-21 se calculan como:

$$\sum_{i=1}^A GAsign(i, 1) \cdot NAlGrupo(1) \cdot NCuAct(i) = 12.12 > 10 \quad (20)$$

Por otro lado, el número de alumnos a asignar en la actividad 1 según la solución de la Tabla 3-21, resulta ser mayor que la cantidad necesaria:

$$\sum_{j=1}^C GAsign(1, j) \cdot NAlGrupo(j) = 74 > 50 \quad (21)$$

Para solucionar este enfrentar este problema se decide aplicar dos restricciones a las soluciones:

1. Restricción en el número de cupos total de cada campo clínico:

$$\forall j, \sum_{i=1}^A GAsign(i, j) \cdot NAlGrupo(j) \cdot NCuAct(i) = < CFiltrados(j) \quad (22)$$

2. Restricción en el número de alumnos que toman cada actividad:

$$\forall i, \sum_{j=1}^C GAsign(i, j) \cdot NAlGrupo(i) = < NAlAct(j) + \delta, \text{ con } \delta > 0 \quad (23)$$

En el caso ideal, se desea que ambas restricciones fueran de igualdad, sin embargo, en la práctica no siempre se tienen cupos de campos clínicos suficientes para que todas las actividades de los alumnos sean asignadas

La segunda restricción presenta un valor δ pequeño y positivo sin valor determinado, indicando que la suma de las actividades asignadas por una solución, puede ser mayor que el número de actividades a asignar en ciertas ocasiones. Este valor se agrega, ya que si se tiene una solución en la cual la cantidad de grupos de alumnos es la mínima posible para alcanzar la cantidad de alumnos que demandan la actividad, pero que al mismo tiempo ocasiona que se supere la cantidad de alumnos a asignar, se debe permitir a pesar de que se sobre asignen alumnos.

Por ejemplo si se requieren 2 alumnos en una actividad y el único campo clínico disponible posee grupos de 3 alumnos, la mejor solución sería tener 1 grupo en el campo clínico a pesar de que sobren cupos.

Cada solución generada dentro del algoritmo que no cumpla con las restricciones será modificada antes de ingresar al proceso iterativo del algoritmo. Este proceso se realiza en 2 pasos secuenciales:

- Paso 1

El primer paso es aplicar la primera restricción para cada campo clínico aplicando el siguiente procedimiento:

Para cada campo clínico que no cumpla la restricción se debe:

1. Quitar 1 grupo de alumnos de una actividad elegida al azar del campo clínico
2. Si el campo clínico aún no cumple con la restricción, volver al punto 1, en caso contrario seguir con los demás campos clínicos.

- Paso 2

En este caso, para cada actividad (elegida al azar) en la que el número de alumnos de una solución supere a los establecidos por el problema:

1. Elegir los campos clínicos en los cuales quitar un grupo de alumnos signifique que la solución cumpla la restricción como igualdad o no la cumpla.
2. En caso de que no hayan campos clínicos luego del paso anterior, aplicar el procedimiento a la siguiente actividad. En caso contrario, extraer de alguno de esos campos clínicos un grupo de la actividad que se está estudiando. Luego volver a paso anterior.

Luego del proceso de modificación, cada solución no factible se ajusta para transformarse en factible. Finalmente, se binarizan y concatenan las variables de cada solución, para poder ser manipuladas por los operadores genéticos en las iteraciones del algoritmo genético. En la Tabla 3-22 se muestra un resultado posible luego haber aplicado las restricciones a la solución de la Tabla 3-21.

Tabla 3-22: Solución factible para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. En azul se muestra el número de alumnos asignados para cada combinación entre campo clínico y actividad de la categoría filtrada. Además se muestran los límites para cada combinación encontrados en Tabla 3-20. Además se agrega la codificación a número binario de cada variable y la cadena formada por la concatenación de las variables binarias que representa a la solución dentro del algoritmo genético. El número de dígitos del número binario de cada variable está dado por el límite superior.

Campo Clínico	CC1	CC1	CC2	CC2
ID Actividad	1	2	1	2
Límite Superior	20	12	25	15
Número de Grupos Asignados (Solución)	9	10	5	3
Límite Inferior	0	0	0	0
Binario	00110	1001	00100	1100
Solución Binaria	001101001001001100			

La cantidad de dígitos de una variable binarizada está dada por la cantidad mínima de dígitos que pueda representar al límite superior de la variable. Es por eso que para el ejemplo de Tabla 3-22, la cantidad de grupos asignados en CC1 de la actividad 1 en binario es 00110 en lugar de 110. Simplemente se agregan ceros para alcanzar los 5 dígitos necesarios para representar 20 en binario.

3.7.1.5 Funciones objetivo

Una vez que toda la población de soluciones sea factible, se procede a evaluar las funciones objetivo. Para esta etapa se definen dos funciones objetivo. La primera está asociada a los costos de los cupos de campo clínico a utilizar y la segunda a minimizar el número de alumnos dejados sin asignar:

1. Función de costos:

Esta función busca minimizar el costo total de asignación de campos clínicos. Esto incluye costos fijos, variables y por supervisor.

Sean:

1. i, j, k : Índices que recorren las actividades, los campos clínicos y los convenios respectivamente de la categoría en estudio
2. A, C, N : Número total de actividades, campos clínicos y convenios respectivamente de la categoría en estudio
3. $NCuAct(i)$: Número de cupos requeridos por la actividad i .
4. $CFijo(j)$: Costos fijos del campo clínico j
5. $CVar(j)$: Costos variables del campo clínico j
6. $CSup(j)$: Costos por cupo de supervisión del campo clínico j de la categoría en estudio
7. $NALSupervisor(j)$: Número de alumnos por supervisor o por grupo del campo clínico j .
8. $GAsign(i, j)$: Número de grupos asignados a la actividad i en el campo clínico j .
9. $Pagado(k)$: Indica si los costos fijos del convenio k están pagados o no

La función objetivo de costos se define como:

$$\min \left(\sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^A (GAsign(i, j) \cdot NCuAct(i) \cdot \underbrace{[NALSupervisor(j) \cdot CVar(j)]}_{1} + \underbrace{CSup(j)}_{2}) + \underbrace{\sum_{k=1}^N K(k) \cdot CFijo(k)}_{3} \right) \quad (24)$$

Con:

$$K(k) = \begin{cases} 1 & , Pagado(k) = 1 \cup \sum_{i=1}^{NActF} GAsign(i, j) > 0 \\ 0 & , En otro caso \end{cases} \quad (25)$$

Esta función objetivo está compuesta por 3 términos. El primero representa el costo total por cupos utilizados de campo clínico. Para ello, para cada par “campo clínico – actividad”, se multiplica el número de grupos asignados, la cantidad de alumnos por grupo, el número de cupos de la actividad y el costo del cupo. Luego, los valores resultantes se suman.

El segundo representa el costo total por términos de supervisión. De forma similar al primer término, para cada par “campo clínico – actividad”, se multiplica el número de grupos asignados, el número de cupos de la actividad y el costo por cupo de supervisión. Luego se suman los valores resultantes.

El tercer término representa los costos fijos de la solución. En este caso se suman los costos fijos de cada uno de los convenios involucrados que se encuentre pagado o se le haya asignado por lo menos algún alumno. De esta forma si los costos fijos de un campo clínico ya se encuentran pagados, son considerados como costos hundidos, por tanto el sistema prioriza asignar alumnos a tales campos.

2. Función de alumnos:

El objetivo de esta función es que dados los campos clínicos y las actividades filtradas por categoría, se minimice el número de alumnos que queden sin asignación.

Sean:

10. i, j : Índices que recorren las actividades y los campos clínicos de la categoría en estudio
11. A, C : Número total de actividades y campos clínicos de la categoría en estudio
12. $GAsign(i, j)$: Número de grupos asignados a la actividad i en el campo clínico j .
13. $NCuAct(i)$: Número de cupos requeridos por la actividad i .
14. $NALAsignar(i)$: Número de alumnos a asignar en la actividad i
15. $NALSupervisor(j)$: Número de alumnos por supervisor o por grupo del campo clínico j .
16. $ALS(i, j)$: Número de alumnos sobrantes de la actividad i en el campo clínico j
17. $Pagado(k)$: Indica los costos fijos que ya están pagados en el campo clínico j

La función de alumnos se define como:

$$\min \sum_{i=1}^A h \left(NALAsignar(i) - \left[\sum_{j=1}^C GAsign(i, j) \cdot NALSupervisor(j) - ALS(i, j) \right] \right) \quad (26)$$

$$\text{con } h(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases} \quad (27)$$

Esta función suma por cada actividad, los alumnos que faltan por asignar. En el caso de que el número de alumnos asignados a una actividad, exceda a la demanda, el excedente no es considerado en la suma debido a la función $h(x)$.

Esto significa que dos individuos distintos pueden tener el mismo valor de la función de alumnos, a pesar que uno de ellos exceda en cualquier cantidad el número de alumnos asignados. Si los costos de los cupos de ambos individuos son similares, este hecho repercute en la función de costos del individuo con exceso de asignación, por lo que finalmente se prioriza el que posee una cantidad más ajustada de alumnos.

3.7.1.6 Solución final

Dado que se están utilizando 2 funciones objetivo que se contraponen, en la gran mayoría de las ejecuciones del procedimiento de esta etapa se obtiene más de una solución al final de las iteraciones. La solución elegida es la que minimiza la función de alumnos, es decir, la que reduce el número de alumnos sin asignar.

Si la solución elegida por el algoritmo genético es la representada en la Tabla 3-22, el resultado final de esta etapa muestra la asignación de grupos de alumnos a cada una de las actividades en estudio, distribuidos entre los campos clínicos disponibles como se muestra en la Tabla 3-23:

Tabla 3-23: Salida posible de la etapa 6 para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-18. La salida incluye la cantidad de alumnos y grupos de alumnos (en azul) asignados por combinación campo clínico e actividad y los cupos que requieren para su asignación

Campo Clínico	CC1	CC1	CC2	CC2
ID Actividad	1	2	1	2
Número de Grupos Asignados (Solución)	6	9	4	12
Número total de alumnos	36	54	16	48
Número de cupos requeridos	2.88	7.02	1.28	6.24

El paso final consiste en registrar los alumnos sobrantes. Para ello se analiza si existe alguna actividad en la cual el número total de alumnos a asignar dados por la solución final supera a la cantidad requerida de alumnos. Si esto ocurre, se debe registrar la cantidad de alumnos excedentes en alguno de los campos clínicos con grupos de alumnos asociados a la actividad. El campo clínico elegido es aquel que posea los costos más elevados para los alumnos excedentes. Este proceso se aplica para cada actividad.

Si se aplica este concepto a la solución de la Tabla 3-23, tomando en consideración que para el ejemplo la cantidad de alumnos a asignar es 50 y 100 para las actividades 1 y 2 respectivamente (Tabla 3-18), se encuentra una solución final como la expuesta en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24: Ejemplo de solución final mostrada en Tabla 3-23 considerando alumnos sobrantes o excedentes de acuerdo a la cantidad de alumnos por actividad dados en Tabla 3-18.

Campo Clínico	CC1	CC1	CC2	CC2
ID Actividad	1	2	1	2
Número de Grupos Asignados (Solución)	6	9	4	12
Número total de alumnos	36	54	16	48
Número de cupos requeridos	2.88	7.02	1.28	6.24
Alumnos Excedentes	0	2	2	0

3.8 Etapa 8: Agrupación de actividades en cursos

Luego de realizada la etapa 7 para cada división de Zona/Carrera/Tipo/Pol, se tienen las asignaciones de todas las actividades. En esta sección se agrupan las asignaciones que pertenezcan al mismo curso y zona como muestra el diagrama en la Figura 2-10.

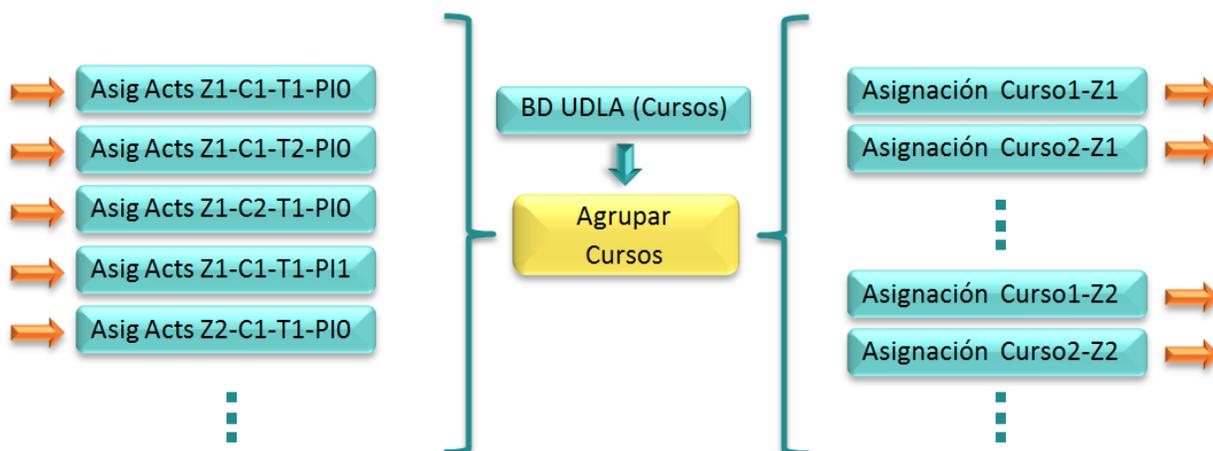


Figura 3-11: Diagrama de la etapa 8. Las asignaciones de actividades por categoría encontradas en la etapa 7 se reorganizan por cursos en cada zona utilizando la base de datos de cursos de la UDLA

3.9 Etapa 9: Asignación de rotaciones

En esta sección se forman rotaciones de alumnos a partir de las asignaciones de cada curso y zona. Cada uno de los alumnos de una rotación comparte los mismos campos clínicos, horarios y fechas para cada actividad del curso en consideración.

El procedimiento de esta etapa es iterativo y se basa en la optimización por asignación de prioridades para ordenar soluciones de acuerdo a conjuntos de soluciones objetivo. En la Figura 3-12 se muestra un ejemplo del procedimiento que se ejecuta en esta etapa para el curso simulado “Curso 1” con 2 actividades.

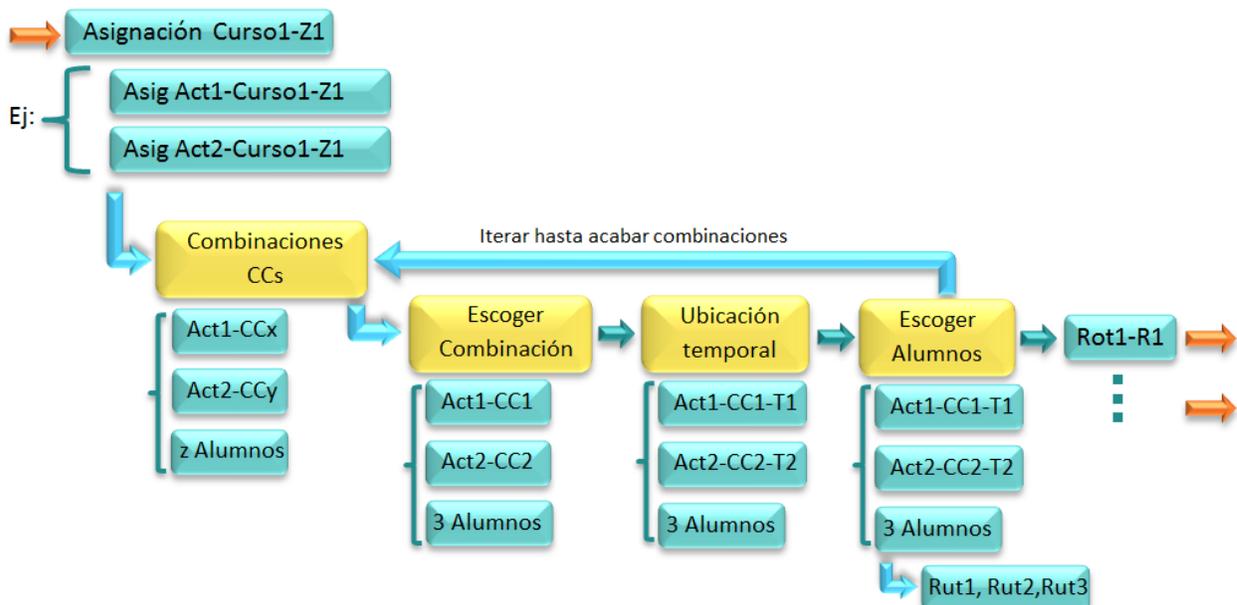


Figura 3-12: Diagrama de la etapa 9 para el curso genérico 1 en la zona genérica 1 de 2 actividades. Primero se generan combinaciones de distintos campos clínicos (CCs) en los que se puedan asignar en total z alumnos, es decir, z actividades (Act) 1 y z actividades 2 en total. Luego se escoge la mejor combinación de acuerdo a ciertos criterios. En el caso del ejemplo resultó ser asignar 3 actividades 1 a CC1 y 3 actividades 2 a CC2. Después se escoge la fecha en que se asignan las actividades en el recuadro de ubicación temporal. En el ejemplo 3 alumnos asisten a la actividad 1 en la fecha T1 y a la actividad 2 en la fecha T2. Finalmente se escoge cual es la identidad de los 3 alumnos. Este proceso se repite hasta asignar a todos los alumnos del curso

3.9.1 Preparación de la entrada

De acuerdo a la salida final de la sección 3.7, es posible que algunos pares “campo clínico – actividad” tengan alumnos excedentes asociados. Para tomarlos en consideración se realiza una simple transformación de la entrada del problema, en donde se substraen la cantidad excedente a uno de los grupos de alumnos del par asociado.

El grupo de alumnos resultante se separa del resto como un nuevo par “campo clínico – actividad” con sólo un grupo asignado y una cantidad de alumnos por supervisor dada por la cantidad excedente de alumnos en el grupo. Además se añaden los campos “Puntaje”, “Sede Preferente” y “Tiempo Fijo” a cada par campo clínico – actividad. Los primeros dos corresponden a los campos de los campos clínicos nombrados en 3.1.3, mientras que el último representa un intervalo de tiempo en el que obligatoriamente debe asignarse el campo clínico y en un comienzo se encuentra vacío para toda la entrada.

En la Tabla 3-25 se muestra un ejemplo de entrada a esta etapa y en la Tabla 3-26 se muestra el mismo ejemplo luego de aplicar la transformación y agregar los campos nombrados anteriormente.

Tabla 3-25: Ejemplo de entrada de a la etapa 9. Se muestran 7 campos clínicos nombrados de CC1 a CC7 junto a su campo “Número de alumnos por supervisor” (Ver Tabla 3-7) y el número de grupos que tienen asignados a 2 actividades genéricas 1 y 2. Un campo clínico puede estar asociado a más de una actividad como es el caso de CC2. Además se incluyen los alumnos excedentes mencionados en Tabla 3-24

Campo Clínico	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC2	CC6	CC7
Número de alumnos por supervisor	4	4	6	8	5	6	4	8
Actividad del curso	1	1	1	1	1	2	2	2
Número de Grupos Asignados	6	1	4	1	3	4	4	4
Alumnos excedentes	0	0	3	0	0	0	0	0

Tabla 3-26: Tabla 3-25 reordenada para considerar los alumnos excedentes. Se extrae un grupo de alumnos del campo clínico CC3 y se agrega como otra columna. La nueva columna tiene sólo 1 grupo asignado y la cantidad de alumnos por supervisor es la cantidad original menos la cantidad de alumnos excedentes. Además se agregan otros campos de la estructura de datos como “Puntaje” y “Sede Preferente” que se utilizan en esta etapa (Ver Tabla 3-7). También se incluye la variable “Tiempo fijo” que indica si los grupos están obligados a ser asignados en un intervalo de tiempo específico. Esta variable se inicializa como vacía para todos los campos clínicos

Campo Clínico	CC1	CC2	CC3	CC3	CC4	CC5	CC2	CC6	CC7
Número de alumnos por supervisor	4	4	6	3	8	5	6	4	8
Actividad del curso	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Número de Grupos Asignados	6	1	4	1	1	3	4	4	4
Puntaje	6	8	7	7	10	5	8	3	8
Sede Preferente	1	2	1	1	2	3	2	1	1
Tiempo fijo	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Otra operación que se debe realizar antes de comenzar el proceso de asignación, es decidir los horarios en los cuales se pueden asignar las rotaciones para cada campo clínico. Para ello, el horario disponible de los campos clínicos se divide según las actividades que se vayan a asignar considerando que:

1. Los alumnos sólo pueden asistir a una actividad práctica en el día.
2. La cantidad mínima de tiempo que un alumno puede permanecer en un campo clínico en un día es de 2 horas para pasantías y 8 horas para internados.
3. La cantidad máxima de tiempo que un alumno puede permanecer en un campo clínico en un día es de 4 horas para pasantías y 12 horas para internados.
4. En el semestre sólo se asigna un curso de campo clínico por alumno, si es que hubiese más de un curso, las actividades de cada uno de ellos se unen en un nuevo curso.
5. Si las actividades del curso requieren cantidades de horas diferentes, se considera que todas tienen un número de horas igual a la de la actividad con mayor cantidad de horas.

Para la división de horario se siguen los siguientes pasos:

1. Separar el horario en intervalos de tiempo donde el campo clínico tenga disponibilidad continua. A cada uno de estos intervalos se le denomina bloque de horario.
2. Dada la cantidad de horas de la actividad Ha y un bloque de horario de tamaño Hb horas, se debe elegir cuantos grupos diferentes de alumnos pueden asistir en el bloque y la duración del intervalo de tiempo que les corresponde a cada uno. Esta operación se realiza para cada bloque. Cada número de horas posible $Hp(i)$ se ordena de acuerdo a 2 funciones objetivo ordenadas por prioridad.

Función 1: $Min F_1(Ha \% Hp(i))$ con:

$$F_1(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad \text{y} \quad \% : \text{Función residuo} \quad (28)$$

Función 2: $Max(Hp(i))$

Una vez que se han evaluado todos los valores $Hp(i)$, se construye el vector \overline{Hp}^* que contiene todos los valores $Hp(i)$ ordenados según su desempeño en las funciones anteriores.

Luego se divide el bloque de tamaño Hb de acuerdo al siguiente algoritmo:

1. Se inicializa el índice $i = 1$, el número de rotaciones en el bloque $NHp = 0$ y la duración de cada rotación $\overline{Dr} = []$

2. Se calcula $F_1(Hb \% Hp(i)^*)$, si el resultado es 0 o cualquier otro valor del vector \overline{Hp}^* y además se cumple que $Hp(i)^* > Hb$, se actualiza el valor de Hb como $Hb = Hb - Hp(i)^*$, se añade $Hp(i)^*$ a \overline{Dr} y se actualiza $NHp = NHp + 1$, en caso contrario se avanza al siguiente paso.
3. Se actualiza el índice como $i = i + 1$
4. Si el valor de Hb es 0 finaliza el algoritmo, en caso contrario se vuelve al punto 2

Así, se divide Hb en NHp bloques de tamaños establecidos por los valores de \overline{Dr} distribuidos de manera aleatoria.

Finalmente se calcula la duración en días de las rotaciones que son asignados a cada uno de los bloques encontrados como Ha dividido con el valor de \overline{Dr} correspondiente redondeado hacia arriba. En la Tabla 3-27 se muestran 2 ejemplos de este procedimiento.

Tabla 3-27: Ejemplos del proceso de división de horarios de acuerdo al procedimiento mencionado en sección 3.9.1

	Ejemplo 1		Ejemplo 2	
Horario campo clínico	8:00 a 12:00 y de 14:00 a 20:00		9:00 a 12:00 y de 14:00 a 21:00	
Actividad a asignar	Pasantía de 80 horas		Pasantía de 30 horas	
Bloques de Horario	Bloque de 8:00 a 12:00	Bloque de 14:00 a 21:00	Bloque de 9:00 a 12:00	Bloque de 14:00 a 21:00
Ha	80		30	
Hb	4	7	3	7
\overline{Hp} (Sin ordenar)	[2,3,4]		[2,3,4]	
\overline{Hp}^* (Ordenado)	[4,2,3]		[3,2,4]	
\overline{Dr}	[4]	[4,3]	[3]	[3,2,2]
Horario 1	De 8:00 a 12:00 durante 20 días hábiles		De 9:00 a 12:00 durante 10 días hábiles	
Horario 2	De 14:00 a 18:00 durante 20 días hábiles		De 14:00 a 17:00 durante 10 días hábiles	
Horario 3	De 18:00 a 21:00 durante 27 días hábiles		De 17:00 a 19:00 durante 15 días hábiles	
Horario 4	N/A		De 19:00 a 21:00 durante 15 días hábiles	

3.9.2 Elegir el número de alumnos que participa en la rotación

Para llevar a cabo esta tarea se proponen distintas cantidades de alumnos para la rotación y se evalúan de acuerdo a dos funciones objetivo ordenadas por prioridad. Las propuestas para esta elección son todos los valores distintos del número de alumnos por supervisor de cada uno de los centros clínicos en estudio.

Sean:

- i : Índice que recorre las actividades del curso en estudio
- j : Índice utilizado para recorrer los centros clínicos con grupos de alumnos asignados a la actividad i
- A : Número de actividades del curso en estudio
- $C(i)$: Número de campos clínicos con grupos de alumnos asignados a la actividad i

Cada propuesta se ordena según 2 funciones objetivo ordenadas por prioridad:

Función 1: $\max PuntajePropuesta(p)$ con:

$$PuntajePropuesta(p) = \sum_{i=1}^A F_1 \left(\sum_{j=1}^{C(i)} F_2(NALSup_i(j), p) \right) \quad (29)$$

$$F_1(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (30)$$

$$F_2(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq 0 \end{cases} \quad (31)$$

Función 2: $\max p$

La función $PuntajePropuesta$ suma 1, si la propuesta es igual a por lo menos un valor de número de alumnos por supervisor de algún campo clínico de una actividad definida. En la Tabla 3-28 se muestran las propuestas, su evaluación en las funciones objetivos y su orden final para el ejemplo de la Tabla 3-26.

Tabla 3-28: Evaluación de propuestas del ejemplo de la Tabla 3-28 utilizando el procedimiento de la sección 3.9.2. En verde se marca la mejor propuesta

N° de alumnos por actividad o propuesta p	Función 1	Función 2	Orden final
3	1	3	5
4	2	4	3
5	1	5	4
6	2	6	2
8	2	8	1

Esta definición prioriza el análisis de casos ideales en los cuales se escoge un campo clínico por actividad y todos tienen el mismo número de alumnos por supervisor. En el caso del ejemplo, el primer valor propuesto a considerar es 8.

3.9.3 Agrupar grupos de alumnos de una misma actividad

Se desea seleccionar grupos de alumnos de una misma actividad, de tal forma que la suma total de los alumnos de los grupos seleccionados sea lo más cercano posible al de la cantidad propuesta.

Esta selección se realiza mediante una suma acumulada de alumnos que inicia en algún valor del campo “número de alumnos por supervisor” y finaliza en el más pequeño, desplazándose por todos los valores intermedios.

Está sumatoria tiene dos características especiales:

1. La suma acumulada no puede superar el valor de la propuesta, si el sumar una cantidad de alumnos ocasiona que la suma acumulada supere la propuesta, esta cantidad se omite, a menos que se trate del primer valor a sumar.
2. Cada vez que se agrega un valor, este se repite hasta que se deba omitir debido al criterio anterior

Para cada sumatoria se debe registrar:

1. Cada valor no omitido: Representan los grupos de alumnos a combinar
2. El número de valores no omitidos: Indica cuantos grupos se deben combinar
3. El valor Z : Indica la cercanía de la sumatoria a la cantidad propuesta, prefiriendo que la diferencia entre ambos sea positiva. El valor Z está dado por:

$$Z = \begin{cases} S - P, & S \geq P \\ 3 \cdot (P - S), & S < P \end{cases} \quad (32)$$

con:

- S : Suma total
- P : Valor de la propuesta seleccionada

El cálculo de la sumatoria y el registro de los valores relevantes se repiten por cada punto de partida posible. En la Tabla 3-29 se muestran los términos considerados en la sumatoria para cada punto de partida, su valor total, el valor de Z , el número de grupos de alumnos y sus combinaciones de grupo para el ejemplo que se comenzó a desarrollar en la Tabla 3-25.

Tabla 3-29: Ejemplo de combinaciones de grupos de alumnos para la actividad 1 del ejemplo iniciado en Tabla 3-26. Estos resultados se obtienen siguiendo el procedimiento de la sección 3.9.3 con el valor de la propuesta $P=8$

Sumatorias	Términos a sumar	Suma total	Valor de Z (P=8)	Número de grupos	Combinación de grupos de alumnos
Punto Partida=8	8	8	0	1	1 grupo de 8
Punto Partida=6	6	6	2	1	1 grupo de 6
Punto Partida=5	5+3	8	0	1	1 grupo de 5 1 grupo de 3
Punto Partida=4	4+4	8	0	2	2 grupos de 4
Punto Partida=3	3+3	6	2	2	2 grupos de 3

3.9.4 Asociaciones Campo clínico – Grupo de alumnos

En la sección 3.9.3, se encuentran distintas combinaciones de grupos de alumnos, el objetivo de esta etapa es establecer para cada una de ellas, cuáles son los posibles campos clínicos que pueden estar asociados a estos grupos.

Se define una asociación entre el campo clínico $CC1$ y un grupo de x alumnos como $CC1/x$. Para que la asociación $CC1/x$ sea válida, se deben cumplir 3 restricciones:

1. El número de alumnos por supervisor de $CC1$ debe ser igual al número de alumnos del grupo x .
2. El grupo no tiene que estar asociado a ningún otro campo clínico
3. La cantidad de grupos asignados de $CC1$ debe ser mayor o igual que el número de asociaciones $CC1/x$ dentro de la combinación.

Estas restricciones pueden cambiar algunos de los valores registrados en el paso anterior. Por ejemplo, cuando las restricciones se aplican a la Tabla 3-29. El resultado de esta operación se muestra en la Tabla 3-30.

Tabla 3-30: Ejemplo de combinación de asociaciones para una misma actividad, en este caso la actividad 1 del ejemplo iniciado en la Tabla 3-26. Estos resultados se obtienen asociando distintos campos clínicos a las combinaciones encontradas en la Tabla 3-29

Sumatorias	Número de Grupos	Combinaciones de grupos de alumnos asociados a campos clínicos	Suma de alumnos	Valor de Z (P=8)
Punto Partida=8	1	CC4/8	8	0
Punto Partida=6	1	CC3/6	6	2
Punto Partida=5	1	[CC5/5,CC3/3]	8	0
Punto Partida=4	2	[CC1/4, CC1/4] [CC1/4, CC2/4]	8	0
Punto Partida=3	1	CC3/3	3	2

Para la sumatoria con punto de partida igual a 8, hay un solo grupo de alumnos. Como el único establecimiento con número de alumnos por supervisor es el CC4, la única combinación posible es CC4/8. Esta misma situación ocurre para el punto de partida 3 y 6.

Para el punto de partida 5, hay 2 grupos de alumnos, pero para cada uno de ellos, hay sólo un campo clínico, por lo tanto hay sólo una combinación posible:[CC5/5,CC3/3]. Por otro lado, para el punto de partida 4, existen 2 grupos y 2 campos clínicos para asociar a cada grupo, por lo que debiesen existir 4 combinaciones, Sin embargo, el orden de los campos no importa, por lo que la combinación [CC1/4,CC2/4], es igual a la [CC2/4,CC1/4]. Además, la combinación [CC2/4,CC2/4] no cumple con la restricción número 3 mencionada anteriormente en 3.9.4, porque el campo clínico CC2 sólo tiene asignado 1 grupo de 4 alumnos de acuerdo a la Tabla 3-26. Algo similar ocurre con el punto de partida 3, lo que ocasiona que tanto la suma de alumnos como el valor de Z cambien con respecto a los calculados en la Tabla 3-29.

3.9.5 Combinación de asociaciones de distintas actividades

En esta sección se realizan combinaciones entre asociaciones como los expuestos en 3.9.4 correspondiente a diferentes actividades. Cada combinación debe contener al menos un grupo de asociaciones de cada actividad del curso en estudio. Para las actividades en las cuales no exista ninguna asociación, se crea una asociación imaginaria. Este tipo de asociaciones aparecen cuando el número total de alumnos asignados no es igual para todas las actividades del curso y tiene las siguientes características:

1. Grupo de P alumnos
2. Campo clínico con:
 - Disponibilidad en cualquier fecha
 - Sin sede
 - Puntaje de calidad UDLA igual a 0.
3. $Z=100$

Para cada combinación se debe registrar la suma de los valores de Z de cada uno de sus componentes, ya que este valor se utiliza en la evaluación de la combinación. A continuación en la Tabla 3-31, se muestran las combinaciones de asociaciones de alumnos de cada actividad del ejemplo de la Tabla 3-26 con $P = 8$:

Tabla 3-31: Ejemplo de combinación de asociaciones para cada actividad del ejemplo iniciado en la Tabla 3-26

Grupo de Asociaciones de la Actividad 1	Valor de Z ($P=8$) para asociaciones de la actividad 1	Grupo de Asociaciones de la Actividad 2	Valor de Z ($P=8$) para asociaciones de la actividad 2
CC4/8	0	CC7/8	0
CC3/6	6	[CC6/4, CC6/4]	2
[CC5/5, CC3/3]	0	CC2/6	6
[CC1/4, CC1/4]	0	~	~
[CC1/4, CC2/4]	0	~	~
CC3/3	15	~	~

En la Tabla 3-32 se muestran las combinaciones de asociaciones de distintas actividades formadas a partir de la Tabla 3-31.

Tabla 3-32: Ejemplo de combinaciones entre actividades distintas para el ejemplo iniciado en la Tabla 3-26. Son las combinaciones de una asociación de actividad 1 y otra de actividad 2 mostrados en la Tabla 3-31

ID Combinaciones	Actividades		Sumatoria de Z ($P=8$) para la combinación
	Actividad 1	Actividad 2	
1	CC4/8	CC7/8	0
2	CC4/8	[CC6/4, CC6/4]	0
3	CC4/8	CC2/6	6
4	CC3/6	CC7/8	6
5	CC3/6	[CC6/4, CC6/4]	6
6	CC3/6	CC2/6	12
7	[CC5/5, CC3/3]	CC7/8	0
8	[CC5/5, CC3/3]	[CC6/4, CC6/4]	0
9	[CC5/5, CC3/3]	CC2/6	6
10	[CC1/4, CC1/4]	CC7/8	0
11	[CC1/4, CC1/4]	[CC6/4, CC6/4]	0
12	[CC1/4, CC1/4]	CC2/6	6
13	CC3/3	CC7/8	15
14	CC3/3	[CC6/4, CC6/4]	15
15	CC3/3	CC2/6	21

3.9.6 Evaluación de Combinaciones

La evaluación de las combinaciones se realiza mediante 6 funciones objetivo ordenadas por prioridad. A continuación se mencionan las funciones objetivo ordenadas por prioridad:

1. Minimizar el número de conflictos de horario dado por los tiempos fijos: Si sólo parte de un grupo de alumnos fue asignado en un cierto intervalo de tiempo, significa que el resto de los alumnos del grupo debe asignarse de manera obligatoria en el mismo intervalo que los alumnos ya asignados. Para considerar esta situación el resto de los alumnos se trata de la misma forma que los alumnos sobrantes en la sección 3.9.1, sólo que se actualiza el campo “Tiempo fijo” con el intervalo de tiempo de los alumnos ya asignados del grupo.

Si en una combinación se asignan 2 campos clínicos con actividades diferentes asociados a grupos cuyas variables de “Tiempo fijo” se intersectan, indica que los alumnos a asignar deben asistir a 2 campos clínicos diferentes al mismo tiempo. Para evitar esta situación, esta función castiga esta clase de combinaciones.

2. Minimizar el número de sede preferentes diferentes: Se prefiere que los campos clínicos involucrados tengan el mismo valor de sede preferente dado por la universidad.
3. Maximizar el promedio de puntajes: Se prefiere que el promedio de los puntajes de calidad UDLA de los campos clínicos involucrados sea lo más alto posible.
4. Minimizar sumatoria de Z de la combinación: La sumatoria de Z indica si para crear la rotación es necesario o no separar un grupo de alumnos. Cuando Z alcanza el valor mínimo, es decir 0, no es necesario separar los grupos de alumnos.
5. Maximizar el número de tiempos fijos distintos de vacío: Se prefiere asignar lo más pronto posible a las asociaciones campo clínico – grupo de alumnos que tengan un campo “Tiempo Fijo” no vacío para evitar futuros conflictos de horario.
6. Maximizar el número de campos clínicos distintos utilizados: Finalmente se prefiere que los alumnos asignados en una rotación pasen por la mayor cantidad posible de campos clínicos para que se enfrenten a realidades diferentes.

Si la mejor combinación para el valor de la propuesta elegido en 3.9.2 no tiene conflictos de horario, se utiliza para formar rotaciones. En caso contrario, se almacena y se compara con combinaciones generadas a partir de otro valor de propuesta. Si ninguna propuesta alcanza este requerimiento, se elige la mejor combinación entre las almacenadas.

3.9.7 Formación de rotaciones:

Una vez elegida la mejor solución, se forman las rotaciones. Para realizar esta operación se siguen los siguientes pasos:

1. Se obtiene el tamaño del grupo de alumnos más pequeño dentro de la combinación.
2. Esta cantidad de alumnos se extrae del grupo más pequeño de cada actividad, estos grupos del mismo tamaño, asociados a sus respectivos campos clínicos generan una rotación. En el caso de que un grupo quede con 0 alumnos luego de la extracción, se saca de la combinación, en caso contrario, la cantidad remanente de alumnos se utiliza para generar otras rotaciones. Esta cantidad remanente debe tener el mismo horario que la rotación ya extraída.
3. Si aún quedan asociaciones en cada una de las actividades, se repite el proceso completo. En caso contrario, se actualiza la tabla de entrada, restando los grupos ya asignados a rotaciones y agregando las asociaciones restantes de la misma forma como se tratan los alumnos sobrantes en la sección 3.9.1.

3.9.8 Asignación temporal:

Cuando la cantidad de alumnos y los campos clínicos de la rotación están designados, se procede a asignarles un horario y fecha. Para ello se utiliza el siguiente pseudocódigo:

Sea una combinación de N actividades $CCx(j)/y(j) \quad j \in 1,2 \dots N$ con M horarios $H(i) \quad i \in 1,2 \dots M$.

Ciclo for - $j = 1:N$

$D=1$

Ciclo for - $k=1: \text{Infinito}$

Ciclo for - $i = 1:M$

Se actualiza $D = D + (k - 1) \cdot Da$

Se calcula la duración total de la actividad Da considerando el número de días hábiles necesarios y los días disponibles del campo clínico (se consideran fines de semana).

Si en el intervalo $[D, D + Da]$ no hay ninguna actividad asignada para el campo clínico, ni tampoco hay ninguna actividad asignada de la misma rotación, se agrega la actividad asignada en el horario Hi a la rotación y se vuelve al primer ciclo for.

Fin ciclo for

Fin ciclo for

Fin ciclo for

3.9.9 Selección de alumnos

El último paso para definir completamente la rotación, es designarle sus alumnos. Para ello se reordenan los alumnos de acuerdo a 3 funciones ordenadas por prioridad:

1. Si tienen la misma sede preferente que la rotación. La sede preferente de una rotación se calcula como la moda de las sedes preferentes de cada campo clínico que lo conforma.
2. Si tienen algún intervalo de tiempo asignado en el campo "problema"
3. Su Nota

Se hace el supuesto de que los alumnos se pueden asignar en cualquier horario. Luego se escoge al alumno con mayor prioridad y se agrega a la rotación si los horarios de esta no intersectan con ninguno de los intervalos de su campo "problema" si es que los tiene. Si no se agrega, se prosigue la búsqueda hasta alcanzar una cantidad de alumnos asignados igual al número de alumnos de la rotación. Una vez asignados se repite el proceso a partir de la sección 3.9.2 hasta que no queden alumnos por asignar.

3.10 Etapa 10: Resultados

Los resultados de las asignaciones se muestran en tablas que muestran las asignaciones de cada una de las actividades de los alumnos y los cupos asignados por los campos clínicos en las etapas más importantes del sistema. Ejemplos de estas tablas y su utilidad se pueden encontrar en el Capítulo 4:

Luego de la asignación, puede que existan casos en que un alumno desea cambiarse de rotación luego de haber sido asignado por el sistema. Para ello, se utiliza un programa implementado en Matlab que permite realizar intercambios entre las rotaciones de los alumnos siempre y cuando se haya llegado a un acuerdo entre ellos. En la Figura 3-13 se muestra una captura del programa.

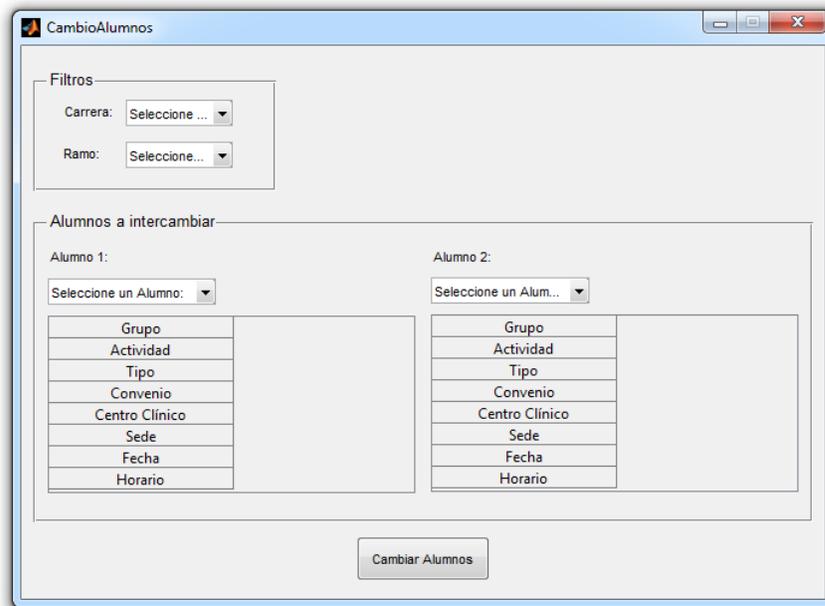


Figura 3-13: Captura del programa de intercambio de alumnos.

Para utilizar el programa se debe seleccionar una carrera y un ramo en la parte superior del programa. Luego se debe seleccionar a los alumnos que deseen intercambiarse sus rotaciones en el panel “Alumnos a intercambiar”. Una vez seleccionados se muestran las características de la rotación de cada uno. Finalmente si realmente se desea realizar el cambio se debe presionar el botón de la parte inferior para actualizar su información.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

Para ajustar, corregir los errores y comprobar el correcto comportamiento del sistema se llevaron a cabo diversas pruebas utilizando bases de datos de alumnos y convenios simulados bajo diferentes escenarios, como escenarios con falta de cupos, cupos de sobra, diferentes zonas, diferentes varianzas en las variables de los convenios, etc.

Una vez ajustado el sistema, se realizan dos pruebas con datos más cercanos a la realidad de la UDLA. La primera, corresponde a una prueba con datos reales de alumnos y convenios del primer semestre del año 2014 considerando sólo la zona de Valparaíso y Viña (VL), mientras que la segunda es una prueba con datos de alumnos reales y datos de convenios simulados en el mismo periodo de estudio pero considerando todas las zonas.

4.1 Prueba zona VL

En esta prueba se utilizan datos del primer semestre del año 2014 para poder efectuar una comparación de costos entre el costo real y el obtenido mediante el sistema implementado. Se utiliza sólo la zona VL debido a que se aproximaron únicamente los parámetros correspondientes a tales convenios. Como la UDLA no tiene una base de convenios estandarizada, la procedencia de cada uno de los costos de campo clínico no es clara, es decir, no se sabe cuál es el costo pagado a cada campo clínico, ni tampoco si corresponden a costos fijos, costos por cupos de alumnos o costos por supervisión, por tanto, como punto de comparación se utiliza sólo el costo final de asignación. Como los agentes involucrados ya han sido identificados se procede a la etapa 2 en donde se definen las bases de datos de alumnos y convenios.

4.1.1 Base de datos de alumnos

Se construye la base de alumnos real para el problema mediante el procedimiento descrito en 3.2.1. En la Tabla 4-1 se puede ver un resumen de alumnos del periodo de estudio correspondiente a la prueba actual.

Tabla 4-1: Resumen de alumnos y sus actividades para el primer semestre de 2014 en VL

Índice categoría	Sede	Categoría				N° de Actividades	N° de Alumnos	Cupos Necesarios
		Zona	Carrera	Tipo	Pol			
1	VL	VL	ENF	APS	Pasantía	284	132	85
2	VL	VL	ENF	Hospital	Pasantía	56	56	28
3	VL	VL	ENF	OIS	Pasantía	76	76	19
4	VL	VL	ENF	APS	Internado	61	61	183
5	VL	VL	FON	OIS	Pasantía	35	35	3.9375
6	VL	VL	TEN	APS	Pasantía	34	34	6.8
7	VL	VL	TEN	Hospital	Pasantía	58	58	10.875
8	VL	VL	TEN	Hospital	Internado	55	55	82.5
					Total	659	507	419.1125

4.1.2 Convenios

La base de convenios se forma utilizando el programa de convenios descrito en 3.2.2 para datos reales. Los convenios son ingresados con variables por dadas por el Anexo 2 obtenidas como aproximaciones y promedios de valores reales que maneja la universidad, a excepción de los nombres y los costos por cupo de alumno que se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Resumen de convenios utilizados para semestre de 2014 en VL destacando si se encuentran activos en las tres pruebas realizadas máximo, promedio y mínimo

Índice Convenios	Convenio	N° de campos clínicos	Costo por cupo de alumno [UF]	Activos Prueba Máximo	Activos Prueba Promedio	Activos Prueba Mínimo
1	AVIADOR ACEVEDO	2	3.5	1	0	1
2	BELLOTO SUR	2	3.5	1	1	1
3	CAPREDENA	2	3.5	0	1	1
4	CON CON	3	3.5	0	1	1
5	EL RETIRO	3	3.5	1	0	1
6	EL TRIGAL	2	3.5	1	1	1
7	HOGAR DE CRISTO	1	3.5	1	0	1
8	HOSPITAL DIURNO QUILLOTA	1	5	1	1	1
9	HOSPITAL LIMACHE	2	3.5	1	1	1
10	HOSPITAL QUINTERO	1	3.5	1	0	0
11	JARDIN INFANTIL PEUMAYEN	1	3.5	0	1	1
12	LOS CARRERA	2	3.5	1	1	1
13	LOS LEONES	2	3.5	0	0	1
14	LOS PINOS	3	3.5	0	1	1
15	POMPEYA	2	3.5	0	1	1
16	QUILPUE	1	3.5	1	1	1
17	SANATORIO MARITIMO	4	3.5	1	0	1
18	HIJUELAS	2	3.5	0	0	1
19	CONVENIO_19	1	3.5	0	1	1

Como no existe información de los cupos totales por convenios para el periodo de estudio, se realizan aproximaciones de estos valores a partir de las asignaciones reales de los alumnos. Utilizando las asignaciones, para cada establecimiento se calcula el número de cupos asignados por mes del primer semestre. Luego el total de cupos del semestre se calcula de tres formas diferentes para generar los siguientes escenarios:

1. El máximo de cupos mensual multiplicado por la cantidad de meses en los que se ocupa el convenio.
2. El promedio de cupos mensual multiplicado por la cantidad de meses en los que se ocupa el convenio.

3. El mínimo de cupos mensual multiplicado por la cantidad de meses en los que se ocupa el convenio.

En la Tabla 4-3 se muestra la cantidad de cupos necesarios por categoría, junto a los cupos proporcionados por los convenios al iniciar el sistema de acuerdo a cada uno de los escenarios propuestos. Los valores en rojo indican que la cantidad de cupos que proporcionan los convenios es menor que la necesaria para la categoría correspondiente. Para el caso de las aproximaciones con máximo y promedio, se tienen más cupos de los necesarios en cada categoría, por otro lado, en la aproximación con mínimo faltan cupos en la categoría (ver sección 3.1.3) 4 y 8 que corresponden a VL/ENF/APS/Internado y VL/TEN/Hospital/Internado respectivamente.

Tabla 4-3: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación. El color rojo indica que los cupos dados por los convenios para alguna categoría no alcanzan a los necesarios

Índice categoría	Cupos Necesarios	Aproximación Cupos Convenios		
		Máximo	Promedio	Mínimo
1	85	154	120	86
2	28	50	44	35
3	19	46	40	36
4	183	362	234	88
5	3.9375	19	19	19
6	6.8	14	11	9
7	10.875	21	16	11
8	82.5	149	102	52

Con la base de datos preparada, se procede a la etapa 3 de separación de convenios por zona, que en este caso no realiza ninguna acción. Luego se pasa a la etapa 4 de selección de convenios.

4.1.3 Resultados de la etapa 4 de selección de convenios

En la etapa de selección de convenios, se utilizan algoritmos genéticos para encontrar el mejor conjunto de convenios de acuerdo a las funciones objetivo. En la Figura 4-1, se muestran los frentes de Pareto para diferentes generaciones encontrados para las tres formas de aproximar la necesidad de cupos. En la figura, se aprecia que en los tres casos, el algoritmo genético disminuye los valores de ambas funciones objetivo a medida que itera. Además, la convergencia a las soluciones de la última generación G40, marcada en rojo, se obtiene entre las generaciones 8 y 16, lo que se refleja en que casi no aparecen puntos de las generaciones 16 a 32, ya que se encuentran sobrescritos por los de la última generación. Esto último revela que para este ejemplo el número de iteraciones utilizado por el sistema, se encuentra sobre dimensionado, lo que se debe principalmente a que hay muy pocos convenios. Los valores de ranking del grupo de convenios del eje y, se encuentran entre 0 y 1 porque el *CriterioC* mencionado en 3.4.1 fue normalizado para cada convenio.

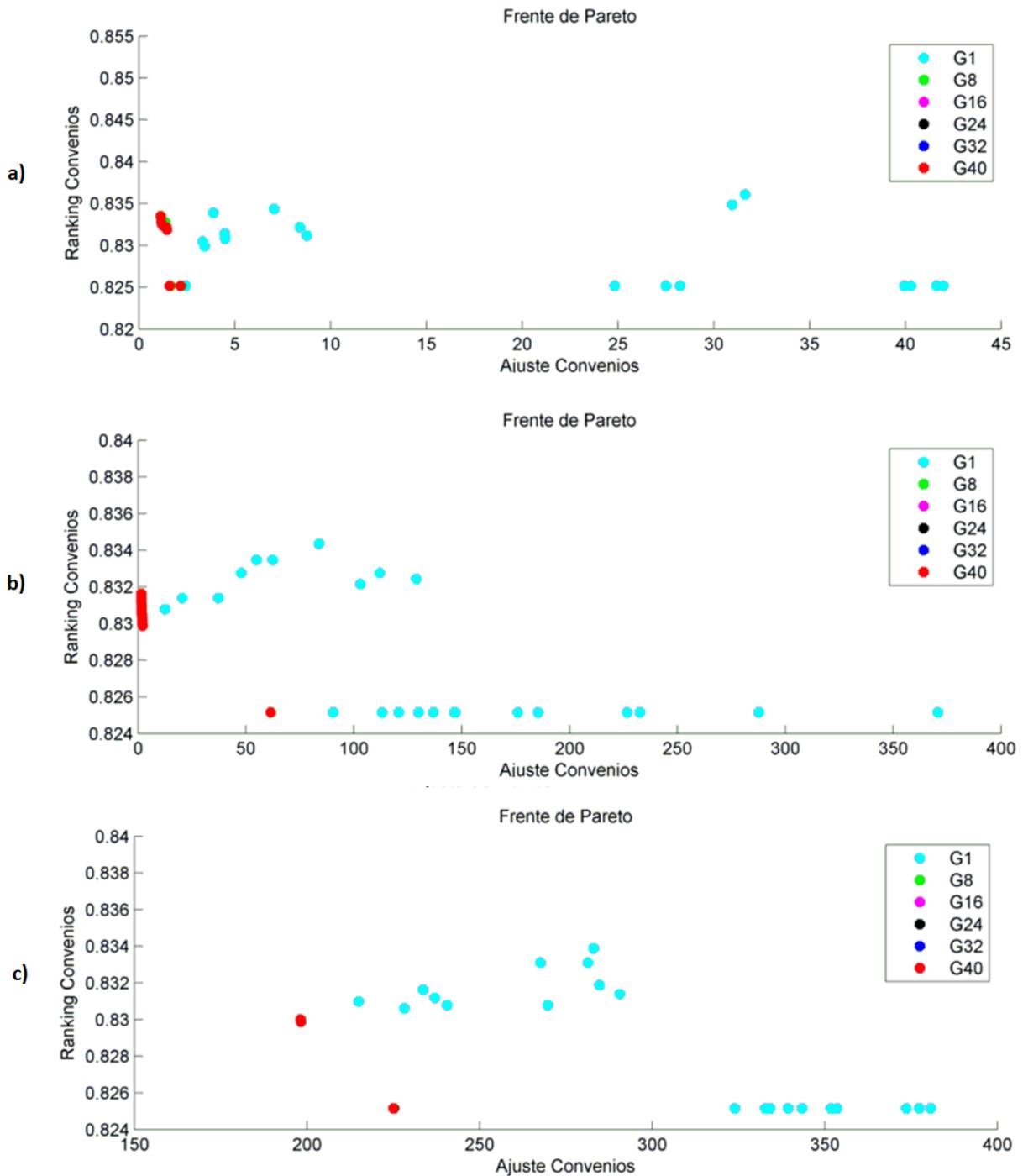


Figura 4-1: Frente de Pareto encontrado en la etapa 4 para las tres formas de estimación de cupos: a) máximo, b) promedio y c) mínimo para la prueba de la zona VL. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. Para todos los casos se alcanza una convergencia muy temprana ya que sólo se aprecian puntos de la generación 1 y 40. Los puntos de las demás generaciones se encuentran sobrescritos por los de la generación 40. Indicando que 40 generaciones es demasiado para el problema. En a) y b) se alcanzan ajustes cercanos a 0 y en c) el ajuste es cercano a 200 indicando que faltan cupos para asignar a todos los alumnos.

En la aproximación de cupos utilizando el máximo, el mejor ajuste alcanza un valor cercano a 1, lo que puede significar que falta 1 cupo para alguna categoría o que se debe a la suma de cupos excedentes. Comparando la cantidad de cupos dados por la aproximación usando el máximo con los cupos necesarios para cada categoría en la Tabla 4-3, se comprueba que esta última supera con creces a los cupos necesarios, por lo que se deduce que el valor de la función de ajuste se debe a cupos excedentes, ya que el sistema no puede desactivar un convenio si eso significa dejar alumnos sin asignar.

En el caso de la aproximación utilizando el promedio, los mejores valores para la función de ajuste se encuentran entre 0 y 1, lo que revela inmediatamente que hay cupos de sobra para realizar la asignación.

La falta de definición del frente de Pareto se debe a que se está trabajando con variables discretas, que hay pocos convenios y que además tienen poca variabilidad entre sí. Esto último se confirma debido a la poca varianza que existe entre el ranking de los individuos. Para la aproximación de cupos utilizando el mínimo, el ajuste es mucho mayor que en los casos anteriores, debido a que en esta configuración faltan convenios para poder asignar a todos los alumnos.

En la Tabla 4-2 se muestran los convenios activos indicados por los algoritmos genéticos de la etapa 4 para la zona VL para cada una de las aproximaciones de cupos realizadas y en la Tabla 4-4 se muestran los cupos que proporcionan los convenios activos en la columna E4 en contraste con los proporcionados inicialmente en la columna E1. Se debe notar que el sistema sólo desactiva convenios cuando sobran cupos. En el caso de las aproximaciones con mínimo, sólo se desactiva un convenio a diferencia de los demás que desactivan más. Esto se debe probablemente a que desactivar otro convenio, signifique reducir obligatoriamente los cupos de las categorías en que no hay suficientes cupos.

Tabla 4-4: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1) y luego de etapa de selección de convenios (E4). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.

Índice categoría	Cupos Necesarios	Cupos Convenios					
		Máximo		Promedio		Mínimo	
		E1	E4	E1	E4	E1	E4
1	85	154	103	120	102	86	86
2	28	50	38	44	34	35	35
3	19	46	27	40	37	36	36
4	183	362	312	234	221	88	88
5	3.9375	19	6	19	14	19	19
6	6.8	14	8	11	10	9	8
7	10.875	21	19	16	16	11	11
8	82.5	149	109	102	102	52	52

Al igual que la etapa 3, la etapa 5 de unión de convenios no realiza ninguna acción, luego en la etapa 6, se separan todas las actividades por categoría. Cada conjunto de actividades se asigna en la etapa siguiente.

4.1.4 Resultados en la etapa 7 de asignación de actividades a convenios

En esta etapa se aplican nuevamente algoritmos genéticos pero esta vez para encontrar cuántos alumnos asisten a cada actividad en cada campo clínico. En la columna E7 de la Tabla 4-3 se muestran la cantidad de cupos asignados de cada categoría a los campos clínicos que pertenecen a convenios activos. El caso ideal, marcado en verde, ocurre cuando los valores de la columna E7 igualan a los cupos necesarios para la categoría correspondiente. En el caso de que a una categoría le falten cupos desde un principio, la mejor opción es asignar todos los cupos disponibles, sin embargo esto no se logra en las categorías 4 y 8 para las aproximaciones de cupos usando el mínimo. Esto se debe a que ambas categorías son internados que tienen cursos de 480 horas, es decir, 3 cupos. Por tanto, si un campo clínico tiene 5 cupos para esta categoría, 2 de ellos se pierden. Esta situación repetida en varios campos clínicos explica la disminución de cupos a utilizar entre las etapas 4 y 7 para las aproximaciones con mínimo.

Tabla 4-5: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1), luego de etapa de selección de convenios (E4) y después de la asignación de grupos de alumnos (E7). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.

Índice categoría	Cupos Necesarios	Cupos Convenios								
		Máximo			Promedio			Mínimo		
		E1	E4	E7	E1	E4	E7	E1	E4	E7
1	85	154	103	85	120	102	85	86	86	85
2	28	50	38	28	44	34	28	35	35	28
3	19	46	27	19	40	37	19	36	36	19
4	183	362	312	183	234	221	183	88	88	81
5	3.9375	19	6	3.9375	19	14	3.9375	19	19	3.9375
6	6.8	14	8	6.8	11	10	6.8	9	8	6.6
7	10.875	21	19	10.875	16	16	10.875	11	11	10.875
8	82.5	149	109	82.5	102	102	82.5	52	52	51

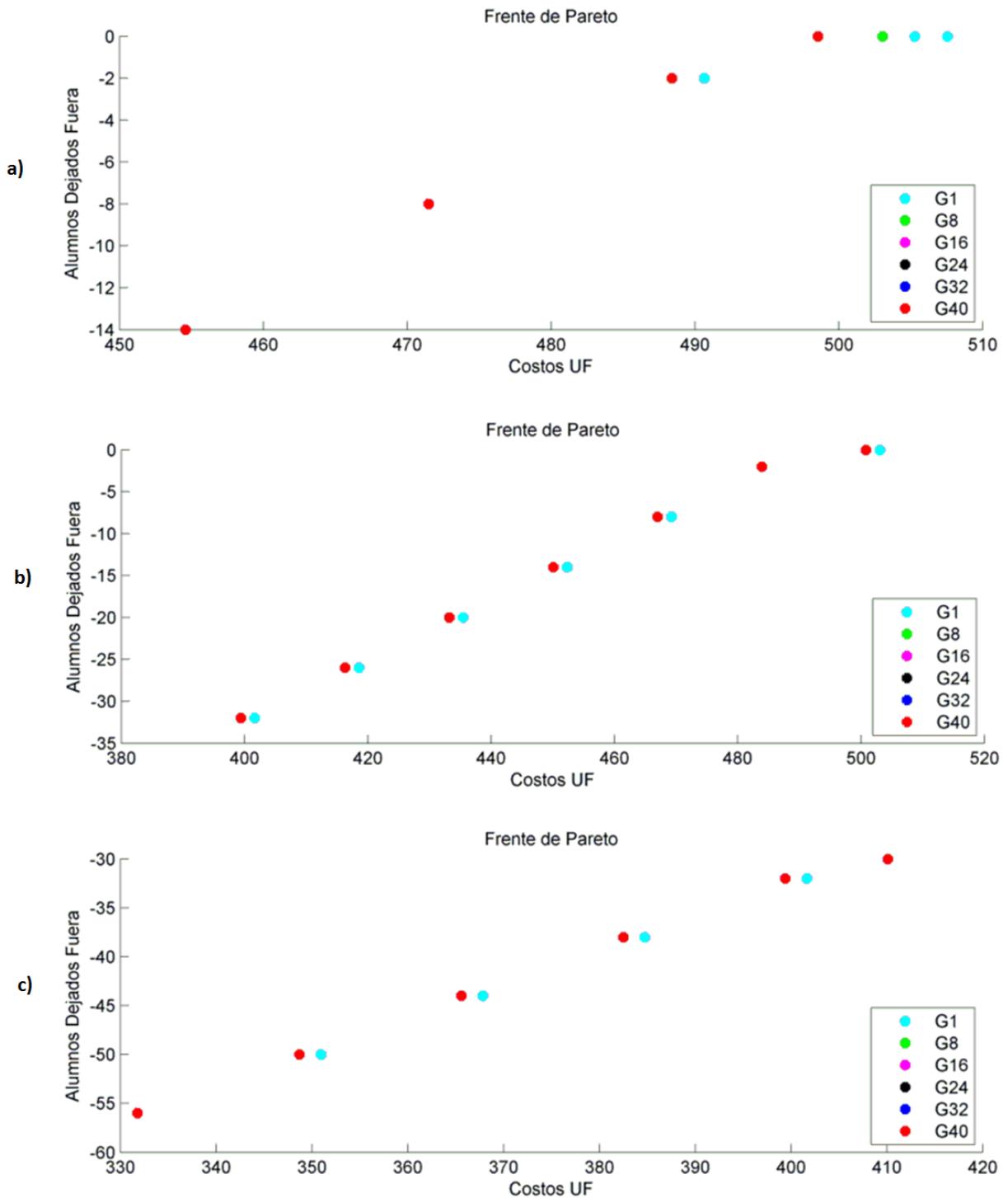


Figura 4-2: Ejemplos de Frentes de Pareto encontrados en la etapa 7 de la categoría Enfermería/APS/Pasantía para las tres formas de estimación de cupos: a) máximo, b) promedio y c) mínimo en la prueba de la zona VL. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. El algoritmo no es capaz de reducir los costos de manera significativa en b) y c) debido a que los cupos dados no dan mucha libertad para cambiar las asignaciones de grupos a diferencia de a) en donde se tienen cupos de sobra. Nuevamente en c) se dejan fuera a alumnos debido a la falta de cupos de la aproximación a diferencia de los otros casos.

En la Figura 4-2 se muestran los frentes de Pareto para la categoría Enfermería/APS/Pasantía. Nuevamente por la poca cantidad de convenios y la poca varianza de las variables de sus campos clínicos, la cantidad de puntos del frente es baja. Para esta categoría, sólo las aproximaciones con máximo y promedio logran que no falte ningún alumno por asignar.

4.1.5 Resultados en la etapa 9 de asignación de rotaciones

En la etapa 9 pueden ocurrir conflictos de horario y alumnos con su campo “Problema” (Ver sección 3.1.2) imposibles de asignar, lo que ocasiona una disminución en el número de cupos asignados con respecto a la etapa 7. Sin embargo, como todos los campos clínicos tienen el horario por defecto de los convenios de la zona VL, esta situación no ocurre en la prueba como se muestra en la columna E9 de la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Cupos totales por categoría para la prueba en la zona VL para cada aproximación al inicio del sistema de asignación (E1), luego de etapa de selección de convenios (E4), después de la asignación de grupos de alumnos (E7) y finalmente luego de la asignación de rotaciones (E9). En rojo se indican las categorías en las que faltan cupos como es el caso de la aproximación de cupos con mínimo.

Índice categoría	Cupos Necesarios	Cupos Convenios											
		Máximo				Promedio				Mínimo			
		E1	E4	E7	E9	E1	E4	E7	E9	E1	E4	E7	E9
1	85	154	103	85	85	120	102	85	85	86	86	85	85
2	28	50	38	28	28	44	34	28	28	35	35	28	28
3	19	46	27	19	19	40	37	19	19	36	36	19	19
4	183	362	312	183	183	234	221	183	183	88	88	81	81
5	3.94	19	6	3.94	3.94	19	14	3.94	3.94	19	19	3.94	3.94
6	6.8	14	8	6.8	6.8	11	10	6.8	6.8	9	8	6.6	6.6
7	10.88	21	19	10.88	10.88	16	16	10.88	10.88	11	11	10.88	10.88
8	82.5	149	109	82.5	82.5	102	102	82.5	82.5	52	52	51	51

En la Tabla 4-7 se muestra el formato de la salida principal del programa, la tabla de asignación de alumnos, junto a la información de 3 alumnos a modo de ejemplo. Esta tabla es la que UDLA va a utilizar a futuro en la asignación de alumnos de periodos académicos venideros. Además contiene toda la información necesaria del alumno, sus actividades, el convenio y campo clínico asociado, los cupos utilizados, su horario y fechas de asistencia, número de personas en su grupo, costos asociados y finalmente información de los cupos utilizados tanto por el campo clínico asignado y total en la categoría de la actividad asignada. Esta información permite ver:

- Si el grupo de alumnos está completo o no, de acuerdo al número de alumnos por supervisor del campo clínico
- Los alumnos asignados a campos clínicos cuya sede preferente no corresponde a la del alumno mediante la columna “Tipo de asignación” (valor 1 cuando corresponde y 2 cuando no). Esta situación sólo se puede dar la zona RM que es la única donde la UDLA tiene más de una sede.

- Si es que quedan cupos disponibles por categoría tanto a nivel de campo clínico como a nivel global
- Las actividades de los alumnos que no pudieron ser asignadas, indicadas con el valor menos -1 en el convenio y campo clínico asignado a la actividad y otras variables
- Costo final asociado a cada convenio y campo clínico dividido en costos fijos, variables y de supervisión

Tabla 4-7: Ejemplo de la tabla final para tres alumnos asignados en la prueba de la zona VL. Cada fila de la tabla muestra una actividad correspondiente a un alumno junto a su categoría, el horario y fecha de asistencia, el convenio y el campo clínico en el que el alumno debe realizar la actividad, los costos asociados, datos de llenado de los cupos del campo clínico para la categoría de la actividad y datos de llenado para la categoría en general. Se indican con un -1 en el campo convenio y otros cuando la actividad no se logra asignar.

ID Alumno	Año	Semestre	Zona	Sede	Carrera	Código Curso	Nombre Curso	N° de Actividad	Pasantía o Internado
1	2014	5	VL	VL	ENF	ENF500	SALUD DEL ADULTO I	1	Pasantía
1	2014	5	VL	VL	ENF	ENF500	SALUD DEL ADULTO I	2	Pasantía
2	2014	5	VL	VL	TEN	TEN502	INTERNADO II	1	Internado
3	2014	5	VL	VL	TEN	TEN502	INTERNADO II	1	Internado

ID Alumno	Tipo	Categoría	Cupos	Horas	N° Días	Horas al Día	Horario	Horario2
1	APS	VL/ENF/APS/Pasantía	0.5	80	20	20x4	7:00-11:00	~
1	Hospital	VL/ENF/Hospital/Pasantía	0.5	80	20	20x4	14:00-18:00	~
2	Hospital	VL/TEN/Hospital/Internado	1.5	240	30	30x8	7:00-11:00	14:00-18:00
3	Hospital	VL/TEN/Hospital/Internado	0	0	0	-1x0	~	~

ID Alumno	Fecha Final	Convenio	Campo Clínico	Convenio Activo	Tipo de Asignación	Alumnos por Supervisor	Supervisores Simultáneos
1	28-Mar-14	HOGAR DE CRISTO	Peñablanca	1	1	6	1
1	23-May-14	QUILPUE	Estab_41	1	1	6	1
2	11-Apr-14	BELLOTO SUR	Estab_5	1	1	1	8
3		-1	-1	-1	-1	-1	-1

ID Alumno	N° Alumnos Horario	ID Rotación	Costo Cupo [UF]	Costo Fijo [UF]	Costo Supervisor [UF]	Costo Total [UF]
1	6	17	1.75	0	1.07	2.82
1	6	17	1.75	0	1.07	2.82
2	4	90	5.25	0	2.25	7.5
3	-1	96	0	0	0	0

ID Alumno	Cupos utilizados en la categoría para el campo clínico	Total cupos de la categoría en el campo clínico	Porcentaje de Llenado de la categoría para el campo clínico	Cupos totales utilizados en la categoría	Total cupos de la categoría	Porcentaje de llenado de la categoría
1	7	8	0.88	85	94	0.90
1	18	20	0.90	28	32	0.88
2	6	6	1	51	52	0.98
3	0	0	0			

Los costos por supervisor se dividen para cada uno de los alumnos del grupo. Para los establecimientos que no tienen nombre definido se utilizan nombres genéricos como “Estab_5”. De la tabla de asignación se pueden obtener los costos de asignación fijos, variables (Var), por supervisión (Sup) y totales (Tot) para cada convenio. Esta información se muestra en la Tabla 4-8 para cada aproximación de cupos utilizada, agregando también el número de actividades asignado.

Tabla 4-8: Costos y número de actividades (N° de Act) asignadas de cada convenio para cada aproximación de cupos en la prueba de la zona VL. Los costos indicados son el costo fijo (Fijo), variable (Var), por supervisión (Sup) y total (Tot).

Convenio\Prueba	Máximo					Promedio					Mínimo				
	Costo [UF]				N° de Act	Costo [UF]				N° de Act	Costo [UF]				N° de Act
	Fijo	Var	Sup	Tot		Fijo	Var	Sup	Tot		Fijo	Var	Sup	Tot	
AVIADOR ACEVEDO	0	56	48	104	9	0	0	0	0	0	0	37	37	73	8
BELLOTO SUR	0	538	386	924	95	0	391	289	679	66	0	168	120	287	51
CAPREDENA	0	0	0	0	0	0	23	16	39	26	0	21	19	40	23
CON CON	0	0	0	0	0	0	103	80	183	61	0	72	60	131	57
EL RETIRO	0	58	42	99	58	0	53	32	84	54	0	46	32	77	44
EL TRIGAL	0	294	222	516	54	0	210	154	364	57	0	103	75	179	30
CONVENIO 19	0	0	0	0	0	0	5	3	8	6	0	7	10	17	7
HIJUELAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	10	2
HOGAR DE CRISTO	0	35	22	57	34	0	0	0	0	0	0	19	16	35	14
HOSPITAL DIURNO QUILLOTA	0	53	16	68	7	0	155	84	239	16	0	135	60	195	18
HOSPITAL LIMACHE	0	121	68	189	114	0	84	47	131	57	0	78	54	132	69
HOSPITAL QUINTERO	0	3	3	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JARDIN INFANTIL PEUMAYEN	0	0	0	0	0	0	150	74	225	84	0	57	38	95	41
LOS CARRERA	0	102	87	189	92	0	93	68	161	88	0	81	66	147	82
LOS LEONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	13	12
LOS PINOS	0	0	0	0	0	0	46	42	88	35	0	31	29	60	20
POMPEYA	0	0	0	0	0	0	98	77	175	37	0	70	56	126	34
QUILPUE	0	147	90	237	120	0	105	64	169	72	0	56	42	98	47
SANATORIO MARITIMO	0	79	48	127	72	0	0	0	0	0	0	53	38	91	44
Total	0	1484	1031	2515	659	0	1515	1031	2546	659	0	1041	766	1807	603
Gasto real	~	~	~	3200	~	~	~	~	3200	~	~	~	~	3200	~

Lo primero que se debe notar es que el costo de asignación total corresponde a la asignación utilizando la aproximación mínima de cupos, sin embargo, esta solución no es adecuada ya que, asigna sólo 603 de las 659 actividades del problema. Por otro lado, el costo total de la aproximación de cupos utilizando máximo es menor que la del promedio porque puede evitar asignar a algunos de sus alumnos en el Hospital diurno de Quillota, único convenio que posee un costo por alumnos más elevado que los demás. La gran ventaja con el sistema de asignación actual, es que se tiene claridad de la procedencia de cada uno de los costos de asignación. Además considera aspectos que no son comparables en esta prueba como el campo “Problema” de los alumnos. El gasto real de la UDLA fue de cerca de 3200 [UF], bastante mayor a los costos encontrados cuando se asignaron todos los alumnos en la prueba. Si bien este resultado es muy prometedor, ya que es una reducción de aproximadamente un 20% de los costos con respecto a las soluciones con 100% de asignaciones realizadas, se

requieren pruebas más exhaustivas para determinar la verdadera ganancia de su utilización. Esta diferencia se debe probablemente a que el sistema tiene un mejor manejo de los cupos del sistema y a que muestra los gastos asociados de manera transparente lo que evita costos duplicados.

El resultado fue verificado por personal de la UDLA realizando comparaciones entre la asignación del programa con la real, específicamente en alumnos que en el caso real eran asignados a convenios que el sistema automático descarta.

4.2 Prueba convenios simulados

Al igual que en la sección 4.1, esta prueba se realiza con los alumnos del primer semestre del año 2014, pero en todas las zonas (VL, RM y CO) de la UDLA y utilizando convenios simulados cuyas variables se eligen de manera aleatoria dentro de ciertas posibilidades dadas. El objetivo de esta prueba es comprobar el correcto funcionamiento del sistema utilizando una mayor cantidad de convenios y campos clínicos con más varianza entre sí y una mayor cantidad de alumnos. La razón por la que no se utilizan convenios reales, es porque no se han agregado a la base de datos de la universidad utilizando el sistema propuesto en 3.2.2.

Las variables utilizadas para los campos clínicos en esta prueba son las siguientes:

- Horarios: Los horarios de cada campo clínico se escogen al azar entre la 4 posibilidades que se muestran en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9: Horarios posibles para la prueba de convenios simulados H1, H2, H3 y H4.

Intervalos de tiempo	H1	H2	H3	H4	Intervalos de tiempo	H1	H2	H3	H4
00:00-01:00					12:00-13:00		1	1	1
01:00-02:00					13:00-14:00		1	1	1
02:00-03:00					14:00-15:00	1	1		1
03:00-04:00					15:00-16:00	1	1		1
04:00-05:00					16:00-17:00	1			1
05:00-06:00					17:00-18:00	1			1
06:00-07:00		1	1	1	18:00-19:00		1	1	1
07:00-08:00		1	1	1	19:00-20:00		1	1	1
08:00-09:00	1	1	1	1	20:00-21:00		1	1	1
09:00-10:00	1	1	1	1	21:00-22:00		1	1	1
10:00-11:00	1		1	1	22:00-23:00				
11:00-12:00	1		1	1	23:00-24:00				

- Días habilitados: Para cada campo clínico, los días disponibles se escogen al azar entre dos opciones: todos los días de la semana o de lunes a viernes.
- Número de alumnos por supervisor: Se escoge un valor al azar entero entre 3 y 8 para las pasantías y siempre 1 para los internados.

- Costo de Supervisión: Valor al aleatorio entre 3 y 7 [UF] para cada categoría.
- Puntaje: Valor aleatorio entero entre 1 y 10

Las variables utilizadas para los convenios son:

- Costo Fijo: Valor aleatorio entre 20 y 95 [UF]
- Costo Variable: Valor aleatorio entre 3.5 y 7.5 [UF]

El total de convenios y campos clínicos simulados en esta prueba es de 380 y 897 respectivamente. El número de total de cupos de los campos clínicos para cada categoría es de 130 a 160 % del total de cupos necesarios simulando un ambiente de exceso de cupos en donde el sistema tiene más espacio para elegir convenios.

4.2.1 Resultados prueba simulada

A diferencia de la prueba realizada en la sección 4.1, se muestran los resultados de todas las etapas a la vez y algunos de los frentes de Pareto correspondientes a la etapa de 4 de selección de convenios y a la etapa 7 de asignación de grupos de actividades. En la Tabla 4-10 se muestran un resumen de la prueba y sus resultados en las etapas de los algoritmos.

Tabla 4-10: Resumen de la prueba de convenios simulados y sus resultados para las etapas más importantes del algoritmo (Etapa 1, Etapa 4, Etapa 7 y Etapa 9). En rojo se indica que los cupos asignados en una etapa son menores que los necesarios

Zona	N° de Actividades	N° de Alumnos	Cupos Necesarios	Cupos Etapa 1	Cupos Etapa 4	Cupos Etapa 7	Cupos Etapa 9
CO	1921	1691	807.29	1239.00	1083.00	806.54	806.54
RM	5408	4798	2695.78	4269.00	4104.00	2695.76	2695.76
VL	1445	1293	742.68	1191.00	1110.00	742.68	742.68
Total	8774	7782	4245.76	6699.00	6297.00	4244.99	4244.99

En la tabla, se aprecia una pequeña baja entre los cupos necesarios y la columna E7 para la zona CO y RM. Esto se puede deber a las discretizaciones por grupo de alumno que se realizan en el algoritmo genético de la etapa 7. En la Figura 4-3 se muestra a modo de ejemplo el frente de Pareto de la selección de convenios de Concepción. El frente aparece mucho mejor definido que en la prueba anterior debido a la cantidad y variabilidad de los convenios. La cantidad de alumnos en la zona VL es mayor que la prueba anterior porque considera incluso a los desertores del ramo y los repitentes.

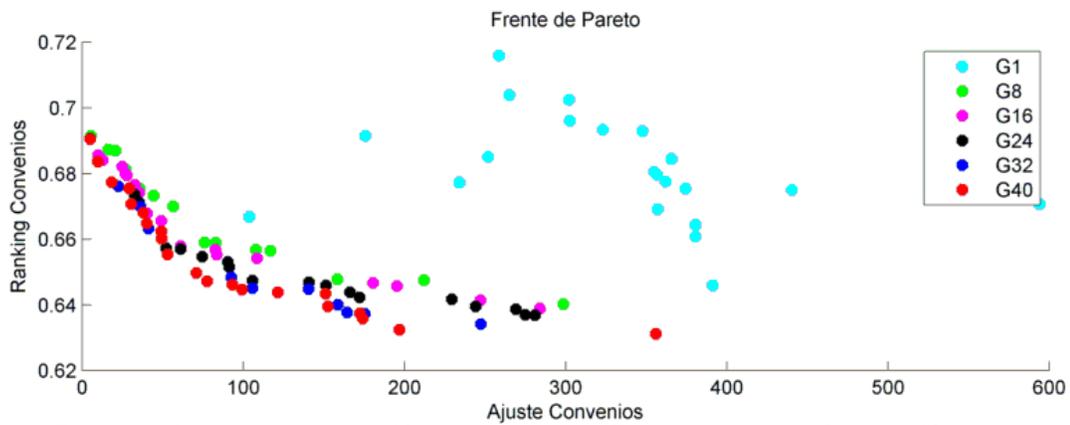


Figura 4-3: Frente de Pareto de la selección de convenios (E4) de la zona de Concepción para la prueba de convenios simulados. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen. El frente compuesto por las soluciones de última generación es más definido que el encontrado en la prueba VL debido a la mayor variabilidad de convenios

En la Figura 4-4 se muestra a modo de ejemplo el frente de Pareto de la Etapa 7 asociado a la categoría RM/ENF/Hospital/Internado. En ella se muestra la constante mejora de las soluciones a través de las generaciones. Las soluciones están fijas en 0 alumnos dejados fuera debido a los campos clínicos involucrados y a las restricciones. Existe la posibilidad que las restricciones tengan cierto impacto en la solución al limitarlas y dirigirlas al valor deseado.

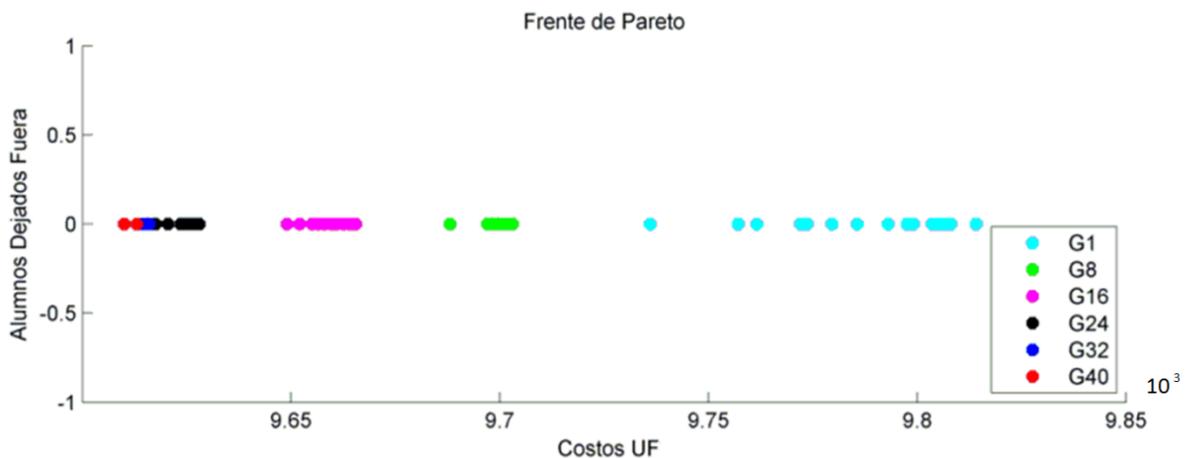


Figura 4-4: Frente de Pareto de la Etapa 7 para la categoría RM/ENF/Hospital/Internado en la prueba de convenios simulados. Los puntos son soluciones posibles del sistema y sus colores indican a que generación (G1=generación 1) dentro del algoritmo genético pertenecen.

Capítulo 5: **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se ha logrado implementar un sistema de asignación de alumnos automático para la UDLA que considera tanto variables de costos como de bienestar de los alumnos. Además utilizando bases de alumnos de procesos venideros, es capaz de estimar los costos a futuro. En sus pruebas el sistema asignó correctamente a los alumnos de Viña del mar en una prueba real pequeña de 507 alumnos con 659 actividades en 19 convenios con 37 campos clínicos en total. Además los costos asociados a la prueba fueron aproximadamente un 20% menor a lo gastado en la realidad.

También logró asignar más de 7500 alumnos con más de 8700 actividades utilizando 380 convenios diferentes divididos entre la región Metropolitana, Viña del mar y Concepción en una prueba simulada con errores mínimos. Lo que demuestra que el sistema puede resolver un problema de esta envergadura sin problemas.

La base de convenios realizada fue aceptada por el equipo de finanzas de la Universidad de las Américas y se han comenzado agregar los convenios mediante el programa de ingreso de convenios. Las otras herramientas complementarias implementadas como el programa simulador de alumnos y el programa de cambio de rotaciones funcionan de manera correcta.

Los algoritmos genéticos utilizados mejoran los individuos a medida que transcurren las generaciones y cumplen con los procesos de selección de convenios, dejando de lado convenios sin perjudicar a los alumnos y la asignación de número de grupos de alumnos a los diferentes campos clínicos. Si bien el método optimización por asignación de prioridades dista de encontrar la mejor solución posible, asigna correctamente a los alumnos a los campos clínicos sin mayores errores.

Las restricciones del algoritmo genético de la etapa 7 se encargan de mantener sus soluciones siempre factibles. A pesar de trabajar de la aleatoria, puede que tengan un impacto en la solución por no permitir combinaciones de todo tipo de soluciones, por lo que se podrían realizar pruebas para comparar resultados con y sin restricciones.

Las tablas de resultados de la asignación proporcionan toda la información relevante con respecto a las rotaciones de los alumnos y la tabla de uso de cupos por categoría en cada una de las etapas alerta inmediatamente la falta de cupos y/o problemas en el algoritmo.

Además el sistema considera variables de calidad, problemas de los alumnos y sedes preferentes para los campos clínicos que no son comparables con resultados anteriores.

Entre las recomendaciones para trabajo futuro están:

- Eliminar la suposición que los alumnos se pueden asignar en cualquier horario
- Unificar cada uno de los programas implementados en uno solo
- Vincular el programa con los datos de la UDLA
- Cambiar el sistema de asignación por prioridades por uno más sofisticado, como por ejemplo métodos difusos
- Realizar pruebas con convenios 100% fieles a la realidad
- Realizar ajustes al algoritmo genético de la etapa 7 para considerar los cupos que se pierden en la división de alumnos por grupo
- Análisis de las restricciones en el algoritmo genético de la etapa 7
- Realizar más pruebas del sistema en diferentes escenarios
- Realizar la elección de la solución final del algoritmo genético con mayor análisis del conjunto de soluciones

Bibliografía

- [1] Carmen Álvarez Álvarez, "Theory-practice relationship in the processes of teaching and learning ," *Educatio Siglo XXI*, vol. 30, no. 2, pp. 383-402, 2012.
- [2] Ministerio de Educación, *Ley 20.129 - Ley de Aseguramiento de la Calidad de la Educación*. Santiago de Chile: Diario Oficial de Chile, 17 de Noviembre del 2006. [Online]. <http://bcn.cl/1m5di>
- [3] Adam M. Ray, "The Value of Internship in Graduate Medical Education: Survey of Emergency Medicine Residents and Program Directors," *JAOA Medical Education*, vol. 107, pp. 26-29, 2007.
- [4] Eric H. Green, Warren Hershman, and Suzanne Sarfaty, "The Value of the Subinternship: A Survey of Fourth Year Medical Students," in *Society for General Internal Medicine's annual meeting May 1 – 3*, Vancouver, Canada, 2003.
- [5] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 2, pp. 182 - 197, Apr 2002.
- [6] Saad Abdullah, Eduund Burke, and Barry McCollum, "A hybrid evolutionary approach to the university course timetabling problem," in *IEEE Congress on Evolutionary Computation 2007*, Singapore, Septiembre 2007, pp. 1764-1768.
- [7] Luís Agustín Blas, Sancho Salcedo-Sanz, Emilio Gedeón Ortíz, Antonio Portilla-Figueras, and Ángel Pérez Bellido, "A hybrid grouping genetic algorithm for assigning students to preferred laboratory groups," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 7234-7241, Abril 2009.
- [8] Paul Harper, Valter de Senna, Israel Vieira, and Arjan Shahani, "A genetic algorithm for the project assignment problem," *Computers & Operations Research*, vol. 32, no. 5, pp. 1255–1265, Mayo 2005.
- [9] Luis Rivera Cornejo, "Cartas a la comunidad universitaria: Asignación de los campos clínicos," Santiago, Chile, 2005. [Online]. <http://uchile.cl/u10549>
- [10] Juan Giaconi Gandolfo, "El sistema de salud Chileno," *Boletín Esc. de Medicina, P.Universidad Católica de Chile*, vol. 23, pp. 6-9, 1994.
- [11] Cesar Gattini, "Estructura organizacional del SNSS," Santiago, Chile 2011. [Online]. <http://www.ochisap.cl/index.php/organizacion-y-estructura-del-sistema-de-salud/estructura-organizacional-del-snss>
- [12] Cristián Aedo, "Capítulo 14: Las Reformas en la Salud en Chile," in *La Transformación Económica de Chile*. Santiago, Chile: Centro de Estudios Públicos, 2001, ch. 14, p. 610.
- [13] Rodrigo Rolando M, Juan Salamanca V, and Marcelo Aliaga Q, "Evolución Matrícula Educación Superior de Chile Periodo 1990-2009," Santiago, Junio 2010. [Online]. <http://www.mineduc.cl/usuarios/1234/File/Publicaciones/Estudios/5Estudio-Evolucion-Matricula-Historica-1990-2009.pdf>
- [14] Juan Pablo Figueroa and Catalina Albert, "Negligencia mortal en Hospital de Melipilla devela feroz disputa de universidades por campos clínicos," *Centro de Investigación Periodística*, Octubre 2014. [Online]. <http://ciperchile.cl/2014/10/28/negligencia-mortal-en-hospital-de-melipilla-devela->

- [15] Juan Pablo Figueroa, "El desembarco de la Universidad Mayor en el Hospital Félix Bulnes," *Centro de Investigación Periodística: Reportajes de investigación*, Febrero 2011. [Online]. <http://ciperchile.cl/2011/02/02/felix-bulnes-2/>
- [16] Ministerio de Salud, "Norma General Técnica Administrativa N° 18 - Asignación y Uso de los Campos de Formación Profesional o Técnica en el Sistema Nacional de Servicios de Salud y Normas de Protección para sus Funcionarios, Académicos, Estudiantes y Usuarios," Ministerio de Salud, Santiago, Febrero 10, 2010. [Online]. <http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/NORMA-N%C2%BA18.pdf>
- [17] Ministerio de Salud, "Resolución N° 254 - Aprueba Norma General Técnica y Administrativa que Regula la Relación Asistencial - Docente y Establece Criterios para la Asignación y Uso de Campos para la Formación Profesional y Técnica en el Sistema Nacional de Servicios de Salud," Ministerio de Salud, Santiago, Julio 9, 2012. [Online]. http://ciperchile.cl/pdfs/2014/10/melipilla/2012-07-09_NORMA-N254.pdf
- [18] Universidad de las Américas, "Nuestra Universidad," Octubre 2015. [Online]. <http://www.udla.cl/universidad/quienes-somos>
- [19] Ministerio de Educación, "El valor de la acreditación," Santiago Chile 2008. [Online]. <http://www.mifuturo.cl/index.php/calidad/acreditacion>
- [20] Comisión Nacional de Acreditación, "Informe de evaluación externa," Comisión Nacional de Acreditación, Santiago, 2013. [Online]. <http://www.udla.cl/portales/tp9e00af339c16/uploadImg/File/Universidad/Informe-UDLA-10-10-13.pdf>
- [21] Comité UDLA, "Acreditación institucional," Santiago Chile 2014. [Online]. <http://www.udla.cl/universidad/que-acreditacion>
- [22] Rodrigo Sotomayor and Andrés Almeida, "Ranking Universidades de Chile 2014," *Revista América Economía*, Santiago, 2014. [Online]. <http://rankings.americaeconomia.com/mejores-universidades-chile-2014/el-ranking/>
- [23] Harumi Shibata Salazar, *Tesis Digital: Optimización Multiobjetivo Aplicado a un Problema de Ruta Corta Estocástico*. San Andrés Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas de Puebla, 2004.
- [24] Gonzalo Hernández Oliva, "Métodos Clásicos de Optimización para Problemas," Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Matemática, Apuntes para optimización, Santiago 2006.
- [25] K.F Man, K.S Tang, and S. Kwong, "Genetic algorithms: concepts and applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 43, no. 5, pp. 519-534, Octubre 1996.
- [26] J.T. Alander, "On optimal population size of genetic algorithms," in *Proceedings: CompEuro '92, 'Computer Systems and Software Engineering'*, Espoo, Finland, May 1992.
- [27] E Zitzler, K Deb, and L Thiele, "Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results," *Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 2, pp. 173-195, 2000.
- [28] Antonio Rustom J., "Tipos de variables," in *Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia*, Universidad de Chile, Ed. Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2012,

ch. 1, pp. 11-12.

- [29] Eva K Lee, "Optimization with Multiple Objectives," Emory University, Washington DC, Presentación para National Cancer Institute and National Science Foundation February 2002. [Online]. <http://www2.isye.gatech.edu/nci-nsf.orart.2002/pdf-files/talk4.lee.pdf>

Anexo 1: Convenios UDLA

NOMBRE CONVENIO		NOMBRE CONVENIO		NOMBRE CONVENIO		NOMBRE CONVENIO	
1	HOGAR DE CRISTO	27	SERV. SALUD VIÑA DEL MAR-QUILL	53	CENTRO ESPERANZA NUESTRA	79	COLEGIO ESPECIAL AMAPOLAS
2	CORP. MUNICIPAL LO PRADO	28	SERVISALUD S.A.	54	CRIN CABALLOS	80	CAMPO CLINICO - GENERICO
3	I. MUNICIPALIDAD DE MAIPU	29	MUNICIPALIDAD DE CONCON	55	CORP. MUN. LA FLORIDA	81	CLINICA MIRAFLORES
4	CLINICA INDISA	30	SOC. EDUC. LOMAS COLORADAS	56	INTEGRAMEDICA TALCAHUANO	82	SAN LUIS DE QUILLOTA
5	CAPREDENA	31	EPIDEMOLOGIA Y GESTION	57	COOP.NUTRIC.INFANTIL (CONIN)	83	HOGAR RENACER
6	MUNICIPALIDAD DE PAINE	32	PREMEDIALISIS	58	ASOCIACIÓN MONTEPIADOS FFAA	84	DIPRECA
7	CORP. ED. LAS CONDES	33	SERVICLINICA S.A.	59	CLINICA BIOBIO S.A.	85	CITSALUD
8	FUNDACIÓN INTEGRA	34	SOCIEDAD EDUCACIONAL BUEN CONSEJO LTDA	60	COANIL	86	APAIT 21
9	FUNDACION LAS ROSAS	35	ESCUELA ESPECIAL SAN ANTONIO	61	CLUB DE LEONES DE CONCEP HUALP	87	EE PALABRITAS
10	ACHS	36	UDLA	62	HOGAR SAN PABLO	88	COLEGIO ABRAPALABRAS
11	CESFAM DR. NORMAN VOULLIEME	37	EMPRESAS BBOSH S.A	63	MUNICIPALIDAD DE HUALPEN	89	CASA DE REPOSO SANTA MARTA
12	H. CLINICO SAN BORJA ARRIARAN	38	HOGAR DE ANCIANOS HERMANITAS DE LOS POBRES	64	MUNICIPALIDAD DE TALCAHUANO	90	UNO KINESIOLOGIA DEPORTIVA
13	HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA	39	CLINICA PLUSMEDICA S.A	65	SERVICIO DE SALUD ARAUCO	91	SODOMEDICA S.A
14	SOC. EDUCACIONAL GUENIPILLAN	40	KINESIQ LTDA.	66	NUTRISERV (QUIERO-HASBUN LTDA)	92	ESCUELA DE GRUMETES "ALEJANDRO NAVARRETE CISTERNA"
15	COLEGIO PSICOPEDA. JUAN WESLEY	41	BALANS	67	ALIMENTOS CEDAR LAKE		
16	CENTRO DE REHABILITACION KINESICA	42	SIOLE LTDA	68	ESCUELA ESPECIAL CHILE ESPAÑA		
17	CORP.CENTRO TRASTORNOS MOV	43	INSTITURO LUIS KREBS	69	ESCUELA GRUMETES A. NAV. CIST.		
18	CORP. EDUCA. Y SALUD SN BERNA	44	ESCUELA ESPECIAL GABRIELA MISTRAL	70	TELETON		
19	KPT BALTHUS y O2	45	MUNICIPALIDAD DE HUECHURABA	71	CENTRO KINESICO VIDANARO		
20	RODRIGO JORDAN	46	MUNICIPALIDAD DE ESTACION CENTRAL	72	CLIN. NEUROSQUIATRICA HAULQUI		
21	H. BARROS LUCO	47	ESCUELA JUAN XXIII	73	SANATORIO MARITIMO SAN JUAN DE		
22	SENAME METROPOLITANO	48	CENTRO DE HIPOTERAPIA RUKALAF	74	I. Municipal de Quilpue		
23	HERMANOS DE LA CARIDAD	49	SOCIEDAD INTEGRAL DE SALUD, REHABILITACION Y TERAPIAS LTDA. PASO A PASO	75	MUNICIPALIDAD VIÑA DEL MAR		
24	JUNTA NACIONAL JARDINES JUNJI	50	CASA DE REPOSO FERNANDITA PAZ	76	EVERTON DE VIÑA DEL MAR S.A.		
25	INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER	51	FUNDACION APANINES	77	CORP. MUNICIPAL DE DESARRLLO DE LA REINA		
26	CORP MUN. DES. CALERA DE TANGO	52	ESCUELA ESPECIAL INTEGRA	78	MISIONERAS DE LA CARIDAD		

Anexo 2: Datos por defecto de los convenios UDLA de la zona VL

Tabla Anexo 1: Convenio por defecto zona VL

Campo	Descripción de la variable	Defecto
ID Convenio	Identificador del convenio	1
ID Campo Clínico	Identificador del campo clínico dentro de un convenio	1
ID Global	Identificador global del campo clínico	1
Rut	Rut del convenio	11.111.111-1
Código de Actividad	Código de actividad UDLA del convenio	~
Activo	Indica si al convenio se le pueden asignar alumnos o no	1
Modificaciones	Indica si el convenio permite o no modificaciones en sus cupos	0
Sede Preferente	Sede de la cual se prefiera que provengan los alumnos	1
Zona	Zona en la que se encuentra el campo clínico	1
Comuna	Comuna donde se encuentra el centro clínico	1
Costo Fijo	Costo independiente de los cupos utilizados del convenio [UF]	0
Costo Variable	Costo por cupo utilizado del convenio [UF]	3.5
Costo por Supervisión	Costo por cupo de supervisión para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol	Dado por Tabla Anexo 3
Alumnos por supervisor	Número de alumnos por supervisor para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol	Dado por Tabla Anexo 2
Grupos Simultáneos Pasantía	Número de grupos de alumnos simultáneos de pasantía que admite el centro clínico	1
Grupos Simultáneos Internado	Número de grupos de alumnos simultáneos de internado que admite el centro clínico	8

Campo	Descripción de la variable	Defecto
Puntaje	Calidad del campo clínico según evaluación UDLA	5
Horario	Horas del día disponibles del centro clínico para recibir alumnos en práctica	De 6 a 10 y 2 a 6
Días	Días de la semana disponibles del centro clínico para recibir alumnos en práctica	Días de Semana
Disponibilidad semestral	Rango de semanas en que el campo clínico puede recibir alumnos de la UDLA	Semestre completo
Horas Cupo	Número de horas a las que equivale un cupo en cada carrera del centro clínico	160 para cada carrera
Cupos	Cupos disponibles del centro clínico para cada combinación de Carrera, Tipo Actividad y Pol	0 para cada categoría
Asignación	Indica el número de alumnos asignados a cada ramo luego de cada paso del algoritmo	Vació
Alumnos Asignados	Indica que alumnos están asignados, su actividad y horario	Vació

Tabla Anexo 2: Alumnos por supervisor por defecto zona VL

Carrera	Alumnos por supervisor por defecto Pasantía	Alumnos por supervisor por defecto Internado
Enfermería	6	1
Fonoaudiología	3	1
Kinesiología	6	1
Nutrición y Dietética	4	1
Terapia Ocupacional	3	1
Técnico en Enfermería	6	1

Tabla Anexo 3: Costos por supervisión por defecto zona VL

Carrera	Costos por supervisión por defecto Pasantía [UF]	Costos por supervisión por defecto Internado [UF]
Enfermería	12.8	3
Fonoaudiología	16.08	5
Kinesiología	7.15	5
Nutrición y Dietética	10.72	4
Terapia Ocupacional	21.44	5
Técnico en Enfermería	12.8	1.5

Anexo 3: Pautas de evaluación de los centros de práctica



Facultad de Ciencias de la Salud

Pauta de Evaluación de Centro de Práctica

Nombre del Centro de Práctica:

Asignatura:

Fecha Rotación:

Objetivo:

- Evaluar el Centro de práctica desde la visión del estudiante.

Instrucciones:

- Complete todos los datos del presente instrumento.
- Marque con una X la opción que corresponda.
- Nota 1 al equivale a malo y nota 7 a excelente.

Aspectos a Evaluar	ESCALA DE NOTAS						
	1	2	3	4	5	6	7
1.- El centro de práctica permite el desarrollo de actividades relacionadas con los objetivos del programa.							
2.- El centro de práctica cuenta con suficiente N° de usuarios y actividades relacionadas con el desarrollo de los objetivos del programa.							
3.- El centro de práctica cuenta con una infraestructura segura, limpia y ordenada para el desarrollo de sus actividades, según programa de práctica.							
4.- El centro de práctica le ofrece el equipamiento e insumos necesarios para el desarrollo de sus actividades según programa de práctica.							
5.- El centro de práctica le brinda la oportunidad de interactuar con su equipo de trabajo.							

Equipo Coordinadores. M. Murillo, J. Romero, C. Moya.

6.- Ud. percibe que se valora su presencia como estudiante en el centro de práctica.							
7.- En aquellos centros donde el docente guía es designado por el mismo establecimiento de práctica, el equipo de trabajo está disponible y brinda oportunidades a los estudiantes para que desarrollen actividades relacionadas con el programa de práctica.							

Equipo Coordinadores. M. Murillo, J. Romero, C. Moya.

Pauta de Evaluación al Docente Guía

Nombre del Docente:

Centro de Práctica:

Asignatura:

Fecha Rotación:

Objetivo:

- Evaluar Competencias del docente guía para desarrollo del alumno en habilidades, destrezas y conocimientos durante las actividades en Campo Clínico.

Instrucciones:

- Complete todos los datos del presente instrumento.
- Marque con una X la opción que corresponda.
- Completar 1 pauta por Docente, en aquellos lugares donde tuvo más de 1 docente guía.
- Nota 1 al equivale a malo y nota 7 a excelente.

Aspectos a Evaluar	ESCALA DE NOTAS						
	1	2	3	4	5	6	7
1.- Docente cumple fechas y horarios establecidos, durante todo el período de duración de las actividades académicas en Campo Clínico.							
2.- Docente mantiene una presentación personal adecuada con identificación UDLA.							
3.- Docente mantiene un trato cordial y respetuoso con el alumno.							
4.- Docente demuestra capacidad para promover y conducir la participación de todos los estudiantes en las diferentes instancias de aprendizaje.							

Equipo Coordinadores: M. Murillo, J. Romero, C. Moya.

5.- Docente busca y brinda oportunidades para que el estudiante pueda desarrollar las habilidades y objetivos de la práctica.							
6.-Docente entrega durante todo el período de práctica retroalimentación académica al estudiante, basándose en sus fortalezas y debilidades, acorde con los objetivos del programa.							
7.- Docente aplica pauta de evaluación formativa en la mitad del periodo de práctica.							
8.- Docente aplica pauta de evaluación final del estudiante al finalizar el período de supervisión, e informa al estudiante para su conocimiento y firma.							

Desea agregar un comentario o sugerencia?

Nombre y firma del evaluador: _____ Fecha: _____

Equipo Coordinadores: M. Murillo, J. Romero, C. Moya.