



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**HERRAMIENTA DE ASIGNACIÓN DE CLASES PARA LA CARRERA DE MEDICINA Y
CIRUGÍA, UNITEC**

PRESENTADO POR:

11611217 JUAN SEBASTIAN CANAHUATI SAADE

11641419 JUAN DIEGO RAMÍREZ SALAZAR

ASESOR: ING. DANIEL MONTENEGRO

CAMPUS UNITEC TEGUCIGALPA; ABRIL, 2020

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Ingeniero Daniel Montenegro por haber dedicado su tiempo y conocimiento para asesorarnos durante el desarrollo de esta investigación. Damos gracias de igual forma al Ingeniero Mendel Nelson por guiarnos en el desarrollo del modelo matemático. Agradecemos también a las autoridades de la FCS, en especial al Dr. Osman Aguilar por brindarnos toda la información requerida.

“To the optimist, the glass is half full.

To the pessimist, the glass is half-empty.

To the engineer, the glass is twice as big as it needs to be.”

- Unknown

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

El objetivo principal de la investigación fue mejorar la utilización de las aulas en la Facultad de Ciencias de la Salud en UNITEC a través de un modelo matemático de asignación mediante la programación lineal entera. Actualmente el proceso de asignación de clases es un proceso complejo que se hace manualmente invirtiendo largas horas de trabajo y está sujeto a la posibilidad de un error humano. Las clases de la carrera de medicina y cirugía tienen horarios muy cambiantes y restricciones específicas a cada clase lo cual incrementa la complejidad del proceso.

El primer paso para realizar esta investigación fue recopilar la información necesaria para programar la asignación de horarios con los encargados de realizar actualmente esta asignación. Se crearon 7 modelos matemáticos de programación lineal entera, se dividieron de acuerdo a si es una clase modular, teórica trimestral o laboratorio trimestral, luego se dividió aún más según la duración de la misma y por el día en el que se empieza a impartir la clase. Para la resolución del modelo se utilizó OpenSolver, un complemento de Excel que permitió obtener soluciones factibles para todos los modelos. Se validó el modelo comparando la solución con la asignación actual del trimestre 1 modulo 1 de clases y se obtuvo una mejora del 16% en la utilización de las aulas.

Se desarrolló en Excel una herramienta de programación de horarios automática a través de VisualBasic, acompañada de un manual de uso para facilitar el entendimiento de esta. A través de macros y código de visual basic se logró que la interfaz fuese amigable al usuario. Hacer la asignación de horarios con la herramienta representa una mejora de tiempo del 99.99% en comparación a hacer la asignación de manera manual como se hace actualmente.

RESUMEN EJECUTIVO (INGLÉS)

This research aimed to improve the room utilization at UNITEC's Faculty of Health Sciences through integer linear programming. University timetabling is a complex process that is at present done by hand, investing long work hours and leaving margin for error. The schedules for classes in the Medicine and Surgery major are not constant and have very specific constraints for each class, thereby increasing the process complexity.

This research's first step was gathering relevant information for the timetabling problem with everyone in charge of assigning these classes. Seven integer linear programming models were created, dividing them by the type of class (trimestral laboratories, trimestral theoretical classes, and modular classes); furthermore, by the classes' duration and by the day each begins. OpenSolver, an Excel add-in, allowed obtaining feasible solutions for every model. The final model was validated by comparing its solution with the trimester 1 module 1 timetabling, improving the room utilization by 16%.

To achieve automatic timetabling a tool was developed in Excel, through VisualBasic in order to generate the timetabling automatically. This tool includes a user manual that makes its understanding easier. Making the tool a user-friendly interface was accomplished by using macros and VisualBasic coding. By making use of the tool, the timetabling improves the time taken to solve the timetabling problem by 99.99% compared to the actual hand timetabling.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción.....	2
II. Planteamiento del Problema.....	3
2.1 Precedentes del Problema.....	3
2.2 Definición del Problema.....	4
2.3 Justificación.....	4
2.4 Preguntas de Investigación.....	5
2.5 Objetivos.....	5
2.5.1 Objetivo General.....	5
2.5.2 Objetivos Específicos.....	5
III. Marco Teórico.....	6
3.1 Investigación de Operaciones.....	6
3.1.1 Definición.....	6
3.2 Modelo Matemático.....	7
3.2.1 Definición.....	7
3.2.2 Variables de Decisión.....	7
3.2.3 Función Objetivo.....	8
3.2.4 Restricciones.....	9
3.3 Programación Lineal.....	10
3.3.1 Definición.....	10
3.3.2 Programación Lineal Entera.....	11
3.3.3 Problema de Asignación.....	11
3.4 Solución.....	12

3.4.1	Modelo Matemático	12
3.4.2	Programación de Horarios Automáticamente.....	12
3.5	OpenSolver.....	13
3.5.1	Definición.....	13
3.6	Optimización	13
3.6.1	Definición.....	13
3.7	Validación del Modelo.....	14
3.7.1	Definición.....	14
3.8	Utilización	15
3.8.1	Definición.....	15
3.9	VisualBasics	15
3.9.1	Definición.....	15
IV.	Metodología	17
4.1	Enfoque	17
4.2	Variables de Investigación.....	17
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	17
4.3.1	Técnicas.....	17
4.3.2	Instrumentos	18
4.4	Población	18
4.5	Metodología de Estudio.....	19
4.6	Metodología de Validación.....	20
4.7	Cronograma de Actividades	21
V.	Resultados y Análisis.....	22

5.1	Caso de Estudio.....	22
5.1.1	Bloque de Conocimiento.....	22
5.1.2	Tipo de Clase.....	23
5.1.3	Carga Académica.....	25
5.1.4	Disponibilidad de horarios de clase	25
5.1.5	Comportamiento de clases durante la semana	25
5.1.6	Duración de Clases Teóricas y Laboratorios (Trimestrales)	26
5.1.7	Duración de clases modulares.....	26
5.1.8	Utilización actual de recursos disponibles	26
5.2	Formulación del modelo matemático.....	27
5.2.1	Características generales del modelo matemático.....	27
5.2.2	Modelo Clases Trimestrales CT1	31
5.2.3	Modelo Clases Trimestrales CT2	32
5.2.4	Modelo Clases Trimestrales CT3	34
5.2.5	Modelo Clases Trimestrales CT4	35
5.2.6	Modelo Clases Trimestrales LM1	37
5.2.7	Modelo Clases Trimestrales LM2.....	38
5.2.8	Modelo Clases Trimestrales MOD.....	39
5.3	Resultados del Modelo.....	41
5.3.1	Clases Modulares.....	43
5.3.2	Clases Trimestrales Teóricas	44
5.3.3	Estructura y Función	45
5.3.4	Laboratorios Multidisciplinarios.....	46

5.3.5	Resultados Código Visual Basic	47
5.4	Validación	47
5.4.1	Comparación de asignación manual y asignación mediante modelos matemáticos 47	
5.4.2	Comparación de utilización de programación mediante modelo matemático y programación manual.....	50
5.4.3	Escenario de Mejora	51
5.5	Herramienta para programar Horarios.....	52
5.5.1	Características de la herramienta	52
5.5.2	Interfaz.....	53
VI.	Conclusiones.....	55
VII.	Recomendaciones	56
7.1	Recomendaciones Proyecto de Investigación	56
7.2	Recomendaciones FCS.....	56
VIII.	Aplicabilidad/Implementación	57
IX.	Evolución de Trabajo Actual/Trabajo Futuro.....	57
	Bibliografía.....	58
	Anexos.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-	Horario Aula 201	43
Ilustración 2-	Horario Aula 102.....	44
Ilustración 3-	Horario EYF1	45

Ilustración 4- Horario LM1.....	46
Ilustración 5- Código Modelo Lunes y Martes 2 horas	47
Ilustración 6- Comparación Utilización.....	50
Ilustración 7-Comparación Utilización (Actual, Modelo, Escenario de Mejora)	51
Ilustración 8- Interfaz Herramienta de Asignación.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma de Actividades.....	21
Tabla 2- Tipo de Clase (Modular).....	23
Tabla 3- Tipo de Clases (Trimestrales)	24
Tabla 4- División de clases	27
Tabla 5- División clases trimestrales	28
Tabla 6- División clases con laboratorios.....	28
Tabla 7-Conjuntos para cada modelo.....	29
Tabla 8- Cantidad de secciones.....	41
Tabla 9- Cantidad de módulos	42
Tabla 10- Comparación Secciones	48
Tabla 11-Comparación Módulos.....	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1- Función Objetivo CT1.....	31
Ecuación 2- Restricción 1 (Modelo 3hr).....	31
Ecuación 3- Restricción 2 (Modelo 3hr).....	31
Ecuación 4-Restricción 3 (Modelo 3hr).....	32
Ecuación 5-Restricción 4 (Modelo 3hr).....	32

Ecuación 6-Función Objetivo CT2 (Modelo 2hr).....	32
Ecuación 7-R restricción 1 (Modelo 2hr).....	32
Ecuación 8- Restricción 2 (Modelo 2hr).....	33
Ecuación 9- Restricción 3 (Modelo 2hr).....	33
Ecuación 10- Restricción 4 (Modelo 2hr).....	33
Ecuación 11- Restricción 5 (Modelo 2hr).....	33
Ecuación 12- Restricción 6 (Modelo 2hr).....	33
Ecuación 13- Restricción 7 (Modelo 2hr).....	34
Ecuación 14- Función Objetivo CT3 (Modelo 1hr).....	34
Ecuación 15- Restricción 1 (Modelo 1hr).....	34
Ecuación 16- Restricción 2 (Modelo 1hr).....	34
Ecuación 17- Restricción 3 (Modelo 1hr).....	35
Ecuación 18- Restricción 4 (Modelo 1hr).....	35
Ecuación 19- Restricción 5 (Modelo 1hr).....	35
Ecuación 20- Función Objetivo (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 21- Restricción 1 (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 22- Restricción 2 (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 23- Restricción 3 (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 24- Restricción 4 (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 25- Restricción 5 (Modelo Jueves).....	36
Ecuación 26- Función Objetivo (Modelo LM1).....	37
Ecuación 27- Restricción 1 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr).....	37
Ecuación 28- Restricción 2 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr).....	37

Ecuación 29- Restricción 3 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)	37
Ecuación 30- Restricción 4 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)	38
Ecuación 31- Restricción 5 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)	38
Ecuación 32- Restricción 5 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)	38
Ecuación 33- Función Objetivo (Modelo LM2)	38
Ecuación 34- Restricción 1 (Modelo Laboratorio 1 hr)	39
Ecuación 35- Restricción 2 (Modelo Laboratorio 1 hr)	39
Ecuación 36- Restricción 3 (Modelo Laboratorio 1 hr)	39
Ecuación 37- Restricción 4 (Modelo Laboratorio 1 hr)	39
Ecuación 38- Restricción 5 (Modelo Laboratorio 1 hr)	39
Ecuación 39- Función Objetivo (Modelo MOD)	40
Ecuación 40- Restricción 1 (Modelo Modulares)	40
Ecuación 41- Restricción 2 (Modelo Modulares)	40
Ecuación 42- Restricción 3 (Modelo Modulares)	40
Ecuación 43- Restricción 4 (Modelo Modulares)	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Formato de recolección de información para clases trimestrales.....	61
Anexo 2- Formato de recolección de información para clases modulares.....	61
Anexo 3- Mapa FCS.....	62
Anexo 4- Flujograma Medicina y Cirugía.....	63
Anexo 5- Tabla de datos recopilados.....	64
Anexo 6- Horario Aula 103.....	65
Anexo 7- Horario Aula 104.....	65

Anexo 8- Horario Aula EYF2.....	66
Anexo 9- Horario LM2.....	66
Anexo 10- Horario Aula 202	67
Anexo 11- Horario Aula 203	67
Anexo 12- Horario Aula 204	68
Anexo 13- Horario Aula 301	68
Anexo 14- Horario Aula 302	69
Anexo 15- Horario Aula 303	69
Anexo 16- Horario Aula 304	70
Anexo 17- Horario Aula 305	70
Anexo 18- Horario Aula 306	71
Anexo 19- Horario Aula 307	71
Anexo 20-Código Modelo Lunes y Martes 1 hora	72
Anexo 21- Código Modelo Lunes y Martes 3 horas	72
Anexo 22- Código Modelo Jueves	72
Anexo 23- Código Modelo Laboratorios Multidisciplinarios 1 hora	73
Anexo 24- Código Modelo Laboratorios Multidisciplinarios 2 y 3 horas.....	73
Anexo 25- Código Modelo Modulares	73
Anexo 26-Código Macro "Correr Modelos"	74
Anexo 27- Código Macro "Limpiar Datos"	74
Anexo 28- Manual de uso: Herramienta de asignación para la Carrera de Medicina y Cirugía, UNITEC.....	75

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

IO Investigación de Operaciones

FCS Facultad de Ciencias de la Salud

PLE Programación Lineal Entera

VBA Visual Basic para Aplicaciones

Aula: Espacio físico donde se imparten una clase.

Clase: clase magistral que se imparte a los alumnos.

Clase espejo: cuando dos secciones de una misma clase utilizan una misma aula y un mismo laboratorio. Una sección primero en el aula, la otra primero en el laboratorio e inmediatamente luego intercambian funciones.

Horas-Silla: Relación entre sillas disponibles y el tiempo que se usan.

Hora normal: duración de 60 minutos

Hora-UNITEC: duración de 1 hora y 20 minutos.

Laboratorio: aula donde se imparten clases que requieren equipo especial.

Programación de horarios: Es el horario de clases que se le asignará a cada aula particular.

I. INTRODUCCIÓN

La asignación de clases a un horario y aula específica es un proceso fundamental en las universidades debido a que de esto depende que se esté utilizando el espacio, tiempo y recursos provechosamente. El asignar clases en una institución tan grande resulta ser una labor compleja debido a la gran cantidad de variables y restricciones que existen. Al trabajar un problema manualmente se pueden obviar detalles importantes y causar que el mismo se resuelva de manera ineficiente.

Cada inicio de trimestre la FCS en la Universidad Tecnológica de Honduras (UNITEC) conlleva un proceso de asignación de clases. Es un proceso que hacen al menos 4 veces al año de manera manual, dedicándole más tiempo del que sería necesario.

La investigación se realizará en la FCS beneficiando únicamente a la carrera de Medicina y Cirugía. Se creará una herramienta de PLE para que se ingresen las variables cambiantes de cada trimestre y el modelo proporcione la asignación de clases de manera automática. Para la creación de la herramienta se tomarán en cuenta las necesidades y restricciones únicas en este entorno para lograr que sea eficiente.

La optimización de la utilización de aulas dentro de la FCS para la carrera de Medicina y Cirugía es el objetivo principal de esta investigación. Esto se alcanzará mediante la comprensión del sistema actual de asignación de horarios de la FCS; la formulación de un modelo matemático, seguido de su solución y validación; finalizando con la creación de una herramienta de asignación de clases.

El primer paso para lograr realizar esta investigación será la recopilación de datos mediante trabajo de campo. Se deberá entrevistar a todos los involucrados del proceso de asignación de clases de la FCS para comprender el problema a fondo. En el siguiente paso se procederá a plantear el problema, donde se describen los precedentes, definición y justificación del problema; también se plantean los objetivos y las preguntas de investigación. El tercer paso involucra la ejecución del marco teórico y la descripción de la metodología a utilizar en la investigación. El siguiente paso se creará el modelo matemático y la herramienta que efectuarán la asignación de clases. El quinto paso será analizar los resultados obtenidos y por último se proporcionarán conclusiones, recomendaciones sobre la investigación realizada.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Al inaugurarse la FCS de UNITEC en el año 2013, no se tomó en cuenta una apropiada gestión en cuanto a la asignación de clases en las aulas del edificio. Esta asignación se ha hecho a mano por una encargada y es un proceso tedioso y tardado ya que debe de tomar en cuenta diferentes variables para lograr una asignación funcional pero no óptima. (Aguilar & Carias, 2019)

En su mayoría, las instituciones resuelven la asignación de horarios manualmente, aunque esto signifique asumir los costos de resultados ineficientes debido a la complejidad que representa crear un modelo de programación entera (Marín Ángel & Maya Duque, 2016).

De acuerdo con Abdelhalim y El Khayat (2016) asignar clases en una universidad es un proceso demasiado complejo debido a la gran cantidad de variables implícitas y por esto al hacer el proceso a mano, no se toman en cuenta todas las posibles opciones resultando en una subutilización del espacio y otras ineficiencias.

Si una asignación es hecha a mano, habrá lugar para mejora. Es necesario optimizar la utilización del espacio en una universidad ya que el no aprovechar correctamente las aulas representa pérdidas monetarias (Lemos, Melo, Monteiro, & Lynce, 2018).

Inicialmente, debido a la poca demanda estudiantil, no se presentaban problemas al asignar las clases en un respectivo horario y aula. A medida la primera generación de estudiantes avanzó en su plan de estudios hacia las últimas clases y nuevos estudiantes seguían matriculándose de manera incremental, fue necesario abrir más clases y más secciones para satisfacer esta demanda.

La disponibilidad de aulas es cada vez más limitada y esto ha causado que se deban impartir clases en aulas que no les corresponden como ser los laboratorios de computación, laboratorios de simulación y el auditorio. En primera instancia, este problema fue atacado al dividir 3 aulas grandes del tercer piso en 6 aulas más pequeñas, lo cual facilitó asignar algunas clases con menor cantidad de alumnos. (Aguilar & Carias, 2019)

La carrera más grande de la FCS es la de Medicina y Cirugía, por lo que se le debe dar prioridad al momento de asignar clases. La modalidad de las clases de la carrera de Medicina cambia a

medida los alumnos avanzan en la misma, al principio de la carrera las clases duran 1 o 2 horas UNITEC; a mitad de la carrera los alumnos comienzan a llevar clases modulares, estas clases se caracterizan por tener una duración de 4 o más horas normales, por ser semestrales, por no comenzar al mismo tiempo que las clases trimestrales y por dividirse en clases teóricas y prácticas de campo.

Los diferentes tipos de aulas y las diferentes capacidades que poseen limitan que clase puede ser asignada a un tipo específico de aula. Todas estas restricciones y planeación inadecuada conllevan a que el proceso de asignación de clases en la FCS sea un proceso ineficiente, resultando en la subutilización del espacio y situaciones en las que los docentes deben buscar aulas vacantes a última hora para impartir su clase. (Aguilar & Carias, 2019)

López-Cruz (2015) menciona que solucionar un problema de asignación de horarios en una universidad no solo es importante por la disminución del tiempo que representa la planeación de esta asignación de horarios, sino que también representa resultados tan importantes como la satisfacción en los estudiantes y profesores.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de asignación de clases de la Carrera de Medicina y Cirugía dentro de la FCS se hace manualmente por una persona quien dedica en tiempo el equivalente a un día de trabajo a esta tarea para programar la mayoría de las aulas y en días siguientes termina la programación. El proceso toma en cuenta la asignación de clases de todas las carreras de la facultad por lo que se debe satisfacer la necesidad que cada carrera presente. Todo lo mencionado anteriormente resulta en una subutilización de las aulas, utilizando únicamente el 65.66% de todas las clases disponibles para uso de la carrera, así como también la utilización de espacios no equipados para impartir clases.

2.3 JUSTIFICACIÓN

El problema que se genera a partir de la realización manual de asignación de horarios se puede resolver mediante la creación de un modelo matemático basado en el problema de horario, donde se asigne una materia, en un horario determinado y a un aula determinada; siempre y cuando se

satisfagan todas las restricciones. El modelo matemático junto con la herramienta de optimización Excel Open permitirá eliminar los errores que se producen manualmente y además minimizar la subutilización de las aulas dentro de la FCS y el tiempo requerido para asignar las clases, permitiendo que los recursos universitarios se utilicen de manera óptima.

La investigación realizada por Lemos, Melo, Monteiro, & Lynce (2018) dio como hallazgo la prevención de la sobre utilización del espacio de aprendizaje, así como la prevención de no utilizar un espacio de aprendizaje bajo la suposición de que el mismo está siendo utilizado completamente. Permitiendo de esta manera asignar los recursos limitados de la universidad de mejor manera.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué problemas presenta el sistema actual de asignación de clases de la carrera de medicina y cirugía?
- ¿Se alcanzó una mejora con el modelo matemático propuesto respecto al sistema actual?
- ¿Puede una persona utilizar esta herramienta sin conocer el sistema de asignación de clases de la carrera de medicina y cirugía?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Optimizar la utilización de las aulas dentro de la FCS para la carrera de medicina y cirugía mediante la PLE.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender el funcionamiento actual de asignación de las clases de la carrera de Medicina y Cirugía mediante trabajo de campo.
- Validar el modelo matemático utilizando como comparación la asignación de clases del módulo 1 durante el semestre 1 de clases de UNITEC.
- Desarrollar una herramienta funcional para la asignación de clases de la carrera de medicina y cirugía.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La IO se utiliza en problemas de gestión generalmente con un enfoque cuantitativo. La aplicación de esta puede ser aplicada en áreas como producción, servicio y logística. La IO es ampliamente aplicada por ingenieros para ayudar a la toma de decisiones gerenciales. Centrándose en la aplicación eficiente de los recursos del área en la que se esté trabajando, estos pueden ser capital, materiales, tecnología, conocimiento, habilidades humanas e información. Las soluciones proporcionadas por la IO ayudan a diseñar nuevos sistemas efectivos e identificar oportunidades de mejora para los mismos.

3.1.1 DEFINICIÓN

Taha (2012) define la IO como un arte y una ciencia que determina el camino óptimo de decisión tomando en cuenta las restricciones o, en otras palabras, los recursos limitados existentes. Se deben de aplicar técnicas matemáticas representadas en un modelo para poder analizar y tomar una decisión.

Así mismo Moskowitz y Wright (1982) recalcan la importancia del método científico dentro de la IO como una metodología aplicada a la resolución de problemas y toma de decisiones gerenciales. Utilizando como base un modelo matemático y un análisis que conlleve a resultados óptimos.

Un estudio de IO empieza con la definición de un problema, seguido de la recolección de información. Luego, con los datos necesarios se procede a crear un modelo matemático para solucionar el problema y termina con la validación e implementación de este. El método científico y el hecho de ser una herramienta cuantitativa, da paso a que el uso que se le pueda dar a la IO sea bastante amplio. Por ello, se le atribuye mucha importancia a esta disciplina ya que es utilizada para resolver varios tipos de problemas.

3.2 MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático constituye una fase importante dentro de la solución de un problema de IO. La correcta formulación de este permite que se obtenga un resultado óptimo ya que un modelo bien hecho tomará en consideración todos los posibles escenarios.

Varón, Orejuela y Manyoma (2015) afirman: "Cómo los modelos matemáticos son usados en diferentes situaciones, relacionadas con el problema principal, y cómo influye el lugar y las características específicas del contexto" (p.63).

3.2.1 DEFINICIÓN

"El modelo matemático de un problema industrial está conformado por el sistema de ecuaciones y expresiones matemáticas relacionadas que describen la esencia del problema" (Hillier & Lieberman, 2015, p.13).

En este sentido, podemos definir un modelo matemático como una representación del comportamiento de un sistema utilizando técnicas matemáticas como ecuaciones y expresiones. La manera en la se formule un modelo estará dictado por la cantidad de variables, la función objetivo y la cantidad de restricciones a las que el sistema este sujeto.

Moreno & Pino (2018) mencionan que la modelación matemática se puede observar como un proceso de representación de situaciones reales a situaciones ideales, es decir aproximaciones de la realidad. El término ideal se emplea en virtud de que el modelo es una representación simplificada de la realidad.

El modelado matemático representa una fase necesaria en la resolución de problemas de IO y este dependerá del tipo de problema que se esté abordando. Un modelo matemático que simule correctamente la realidad proveerá una solución óptima al investigador.

3.2.2 VARIABLES DE DECISIÓN

Ruz (s.f) menciona que las variables de decisión son aquellas que representan los elementos del sistema a modelar y sobre las cuales el investigador tiene control.

Las variables de decisión pueden tomar diversos valores. Martínez, Vértiz, López, Jiménez & Moncayo afirman:

Existen varios tipos de variables, dependiendo del tipo de valor que puedan tomar. Las variables continuas pueden tomar valores fraccionarios...Las variables enteras pueden tomar únicamente valores enteros...Las variables binarias pueden tomar valores de 0 o 1 y, por lo general, se utilizan para representar decisiones de hacer o no. (p. 5)

En una investigación realizada por Lemos, Melo, Monteiro & Lynce (2018) el modelo propuesto para una investigación de optimización en la utilización de aulas de clase utiliza variables binarias como sus variables de decisión. El valor 1 se asigna a una casilla en caso de que su estado cambie de ocupada a libre o viceversa, en el caso de que la casilla no cambie se le asigna un valor de 0.

La investigación realizada por Prabodanie (2016), basada en la programación compleja de horarios universitarios, utiliza variables binarias donde la variable de decisión es igual a 1 si un tipo de sesión, teórica o práctica, de un curso determinado es asignado a un bloque horario en un día y horario determinado, de lo contrario se le asigna 0.

Es importante definir correctamente las variables de decisión de un problema de IO, en ocasiones es necesario combinar distintos tipos de variables para poder llegar a la respuesta óptima, de igual manera es importante reconocer desde un principio las restricciones asociadas con las variables que se escojan.

3.2.3 FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo se puede entender como la medida de desempeño expresada mediante una función matemática de las variables de decisión. (Hillier & Lieberman, 2015).

La función objetivo está sujeta a una minimización o una maximización, depende del problema, de recursos una empresa, costos fijos y variables y utilidades. Barahona & Murillo (2017) en su investigación, realizada en la carrera de Gastronomía, UNITEC; formularon un modelo que maximizara las utilidades de la carrera de acuerdo con las solicitudes atendidas en la carrera.

Prabodanie (2016) en su investigación, basada en la programación compleja de horarios universitarios, formuló una función objetivo cuyo objetivo principal es reducir la cantidad de horas

de trabajo durante la semana a 40, y en caso de no ser posible, reducir las horas lo más posible. Sin embargo, la función esta propuesta como una maximización del beneficio derivado de las asignaturas, ambos para los maestros y los estudiantes, ambas necesidades a pesar de esto.

3.2.4 RESTRICCIONES

Hillier & Lieberman (2015) afirman:

Se expresan en términos matemáticos todas las limitaciones que se puedan imponer sobre los valores de las variables de decisión, casi siempre en forma de ecuaciones o desigualdades. Con frecuencia, tales expresiones matemáticas de las limitaciones reciben el nombre de restricciones. (p. 13)

En un problema de horario universitario la cantidad de restricciones puede variar de acuerdo con la infraestructura de la universidad y los recursos humanos. Thongsanit (2013) en su investigación sobre asignación de cursos en una universidad presenta tres restricciones generales; la primera haciendo referencia a la capacidad de las aulas, la segunda asigna al menos un curso a un aula y la tercera alude a que todos los cursos deben ser asignados.

Las restricciones de un problema de IO representan un conjunto de relaciones que las variables de decisión deben satisfacer. La cantidad de restricciones en un problema puede variar, dependiendo del alcance del proyecto, no es raro observar problemas cuya cantidad de restricciones estén los miles e incluso millones. Estas restricciones pueden dividirse en suaves y fuertes.

La investigación de programación de horarios realizada por Prabodanie (2016) utiliza un total de veintitrés restricciones para poder solucionar su modelo. Una restricción dentro de la investigación es la de unicidad, donde se determina que cada estudiante, cada maestro y cada aula puede tener a lo más una clase a la vez; otra puede incluir la restricción de continuidad, en caso de que un curso necesite extender la cantidad de bloques horarios que requiera tendrá que coincidir con la matriz de longitud de clases.

3.2.4.1. *Restricciones Fuertes y Suaves*

Las restricciones fuertes y suaves utilizadas en el problema son a menudo una reflexión del comportamiento competitivo que existe por horarios y aulas preferidas. Las restricciones

fuerzas limitan el espacio de la solución para reflejar las necesidades o el deseo de aquellos que han colocado este tipo de restricción. Las restricciones suaves únicamente involucran costos cuando no se cumplen. (Murray & Müller, 2006).

La investigación realizada por Murray & Müller (2006) hace referencia a la influencia que estos tipos de restricciones tienen en la solución de un problema, entre más restricciones fuertes se coloquen el impacto a la solución será mayor. Normalmente estos problemas se solucionan favoreciendo a aquellos que restringen el problema fuertemente. Sin embargo, esto puede llevar a que los problemas se vuelvan más difíciles y que las soluciones sean percibidas como injustas por otros individuos.

Murray & Müller (2006) mencionan que este conflicto entre restricciones puede ser abordado utilizando técnicas de nivelación de mercado, como ser, otorgar ponderaciones o utilizar restricciones de balanceo. Últimamente se realiza esto para modelar las restricciones conforme a la realidad del problema, no la situación ideal, ganando de esta manera la aceptación de la solución por parte del usuario.

3.3 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es un procedimiento matemático considerado como uno de los avances científicos más importantes por el impacto y gran campo de aplicación. Se ha utilizado para resolver problemas en campos como la ingeniería, economía, sociología, biología y otros (Noguera, Posada, & Ortiz, 2011).

Se deben de seguir ciertos lineamientos para lograr que la resolución sea óptima. Es necesario definir la función objetivo, o sea la ecuación que será optimizada. Es muy importante sujetar la función objetivo a las restricciones y criterios de decisión que puedan existir. Naturalmente, es necesario que todas las ecuaciones utilizadas sean ecuaciones o desigualdades lineales.

3.3.1 DEFINICIÓN

De Liñán (1961) define la programación lineal como:

Es una de las técnicas de la investigación operativa que resuelve el problema de la asignación de medios escasos a ciertas necesidades, teniendo en cuenta una serie de limitaciones impuestas en

cada caso siempre que las relaciones puedan expresarse matemáticamente por medio de funciones lineales. (p.25)

La programación lineal es un algoritmo matemático que busca optimizar la función objetivo ya sea para minimizar o maximizarla. Este algoritmo es formado por las ecuaciones lineales que representan la función objetivo, restricciones y criterios.

3.3.2 PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

Un modelo de PLE es aquel en el cual algunas de las variables o todas, son número enteros no negativos. En las situaciones reales, con frecuencia, el analista se enfrenta a “decisiones sí o no”, las que pueden representarse con variable denominadas binarias, por ejemplo 0 y 1. (Cornejo & Mejía, 2005, p.57)

La resolución de un modelo de PLE tendrá mayor probabilidad de obtener una solución de mejor calidad a la que se puede obtener mediante otros tipos de métodos. (Sarmiento-Lepesqueur, Torres-Ovalle, Quintero-Araújo, & Montoya-Torres, 2012).

3.3.3 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

La principal idea de un problema de asignación es saber cuál es la fuente que mejor satisface el destino. Esta es una pregunta que se puede asociar con diferentes tipos de problemas siempre y cuando exista oferta y demanda en donde se asignen las fuentes de oferta con las de destino. En los problemas de asignación se utilizan variables de decisión con valores binarios para encontrar una solución óptima (Salazar , 2016).

Existen muchas variaciones para un problema de asignación, pero en una perspectiva general, estos problemas se deben de concluir con cuales fuentes de oferta son asignadas a los lugares de destino y en caso de aplicar, también se debe de saber la cantidad ofertada.

3.3.3.1. *Problema de Horario*

El problema de asignación de horarios puede entenderse como la asignación, sujeta a restricciones, de recursos a ciertas tareas disponibles dentro de ventanas de tiempo específicas, de tal forma que se satisfacen, en la medida de lo posible, un conjunto de objetivos deseables. (Silva, Cruz, Rincón, Mora & Ponsich, 2014, p.292)

Schittenhelm (2010) menciona que la resolución de un problema de horario es un compromiso entre las variables involucradas y el tiempo específico en los horarios asignados.

3.3.3.2. *Problema de Horario Universitario*

Para un problema de horario universitario se debe verificar la coordinación de acciones académicas, curriculares, extracurriculares, de estudiantes, de docentes, cursos, tiempos, infraestructura. (López-Cruz, 2015)

Un problema de horario de universitario contiene variables y restricciones diferentes. Se debe de trabajar en sentido de cumplir con todos los requisitos y además satisfacer a los estudiantes y docentes para lograr una solución de buena calidad.

3.4 SOLUCIÓN

La solución del modelo matemático es la fase que le sigue al modelado matemático, no hay una sola técnica de solución para un problema dado, esta puede variar de acuerdo con el tipo de problema; un problema lineal, un problema no lineal, y de acuerdo con su complejidad, refiriéndose con esto a la cantidad de variables y restricciones que un problema puede presentar. A su vez, existen softwares que facilitan la resolución de un problema.

3.4.1 MODELO MATEMÁTICO

La solución del modelo matemático es un paso esencial en la resolución de un problema de IO, esta solución se realiza por lo general en computadora, para la solución de un problema de PLE, como lo es esta investigación, se pueden utilizar diferentes técnicas o algoritmos existentes. Diferentes softwares permiten a los investigadores encontrar soluciones óptimas, dentro de estos podemos encontrar Excel OpenSolver, WinQSB, Tora, LINGO, STORM, STATA y Forecast.

En la investigación de asignación de horarios en una universidad en El Cairo, realizada por Goltz, Kuchler & Matzke (1998) el problema fue modelado como un Problema de Satisfacción de Restricciones, que a su vez es resuelto usando programación lógica de restricciones. Este tipo de solución utiliza programación y algoritmos para llegar a una solución.

3.4.2 PROGRAMACIÓN DE HORARIOS AUTOMÁTICAMENTE

La investigación realizada por Murray & Müller (2006) tuvo como resultado la creación de una herramienta para la programación de horarios en la Universidad de Purdue, el software utilizado fue J2EE, Hibernate y Oracle Database. La herramienta utiliza un algoritmo de búsqueda iterativo frontal, sin embargo, el modelo no necesariamente tiene una solución completa, pero si satisface todas las restricciones fuertes.

La programación automática de horarios permite a la gente involucrada utilizar una menor cantidad de tiempo para generar estos horarios y a su vez permite que se satisfagan las necesidades que los individuos presentan.

3.5 OPENSOLVER

3.5.1 DEFINICIÓN

OpenSolver es un complemento de código abierto en MS Excel que permite la resolución de un modelo matemático a través de PLE. Es un recurso utilizable para problemas lineales grandes por su capacidad de poder manejar una cantidad de variables y restricciones casi ilimitada (Correa & Junqueira, 2013).

Beharry (2015) afirma que el uso de OpenSolver dentro de MS Excel provee una opción bastante amplia y de bajo costo para optimizar problemas complejos.

En el artículo de Correa y Junqueira (2013) se presenta un modelo con enfoque cuantitativo en donde se utiliza OpenSolver para optimizar el diseño de la red de distribución de una empresa de bienes envasados en Brasil, en donde se demuestra el amplio espacio de mejora que se podría aprovechar aplicando técnicas y herramientas de optimización lineal.

Prabodanie (2016) evidencia en su artículo como OpenSolver fue utilizado en un caso de estudio de una facultad de otra universidad para resolver un problema de asignación de horarios de complejidad alta.

3.6 OPTIMIZACIÓN

3.6.1 DEFINICIÓN

Flores-Bazan (2011) afirma: "La optimización puede ser considerada como una parte de la matemática que se ocupa del estudio de problemas de decisión, con el fin de determinar, entre las diferentes posibles alternativas, aquella que resulta la mejor respecto de objetivos preestablecidos" (p. 25).

La investigación realizada por Lemos, Melo, Monteiro & Lynce (2018) con relación a la programación de horarios en el Instituto Superior Técnico en Lisboa abordan el problema utilizando una PLE de dos fases, la primera fase de optimización pretende maximizar la cantidad de estudiantes sentados y la segunda fase optimiza la ocupación de las clases.

La optimización de un modelo matemático es de suma importancia debido a que esta representa la mejor opción de solución para un problema dado. La optimización da paso a una toma de decisión acertada.

3.7 VALIDACIÓN DEL MODELO

3.7.1 DEFINICIÓN

La validez del modelo comprueba si el modelo propuesto hace en realidad lo que dice que hace, es decir. ¿Predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia? [...] Un método común de comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con resultados históricos. El modelo es válido si, en condiciones de datos de entrada iguales reproduce de forma razonable el desempeño pasado. (Taha, 2012, p. 10)

La investigación realizada por Lemos, Melo, Monteiro, & Lynce (2018), basada en la programación de horarios para el IST, valida el modelo utilizando la programación de horarios realizada por el IST, bajo esta programación los investigadores formularon un modelo matemático que optimizara la programación presentada originalmente, una vez que el modelo optimizó la programación se compararon los porcentajes de utilización de la programación original y la optimizada.

La validación del modelo es la última fase antes de la implementación de una herramienta y esta fase debe de comprobarse que el modelo formulado y la solución obtenida solucionan verdaderamente el problema. El método de validación puede variar de un modelo a otro, en el

proyecto a realizar se validará el modelo comparando el porcentaje de utilización pasado de las aulas y el nuevo porcentaje generado por el modelo.

3.8 UTILIZACIÓN

Existe la percepción de que el espacio de aprendizaje es usualmente un recurso escaso en muchas universidades, pero esto es debido al mal uso que se les da a dichos espacios. Usualmente estos espacios son usados a medias en cuanto a tiempo y capacidad. La ubicación de un aula también puede tener un impacto en la utilización de esta debido a las preferencias que puedan demostrar estudiantes y maestros. (Beyrouthy, y otros, 2009)

3.8.1 DEFINICIÓN

Beyrouthy (2009) define la utilización dentro de este contexto como el porcentaje de horas-silla disponibles que en realidad se ocupan. Dado que se conoce el conjunto de aulas disponibles y la oferta de horas-silla, entonces la demanda se puede tomar como la utilización requerida.

Una correcta utilización de los espacios de aprendizaje dentro de una universidad significa un ahorro sustancial en tiempo y dinero a la institución. La satisfacción de los estudiantes y docentes también se verá impactada de manera positiva y naturalmente la universidad tendrá una mayor capacidad de oferta.

3.9 VISUALBASICS

3.9.1 DEFINICIÓN

El lenguaje Visual Basic para Aplicaciones (VBA), en el contexto de Excel, constituye una herramienta de programación que nos permite usar código Visual Basic adaptado para interactuar con las múltiples facetas de Excel y personalizar las aplicaciones que hagamos en esta hoja electrónica. (Mora & Espinoza, 2005, p. 9)

Visual Basic para Aplicaciones permite crear interfaces para la automatización de procesos que se realizan en una plantilla de Excel. El interfaz también permite a un usuario hacer uso de estos procesos sin tener que utilizar la plantilla.

La investigación realizada por Prabodanie (2016), que se centra en la programación de horarios universitarios haciendo uso de PLE, utiliza VBA para automatizar la generación un conjunto de variables personalizadas basándose en requerimientos específicos. El interfaz de MS Excel es amigable con el usuario, por lo que una vez que se genera el modelo de PLE y se programa en VBA no es necesario tener mucho conocimiento sobre el caso para poder utilizar el interfaz y generar diversos horarios para diferentes escenarios.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

La presente investigación fue abordada con un enfoque cuantitativo debido a la resolución de esta a través de la IO. Según Ossé (2008), un análisis cuantitativo es ventajoso porque se limita el papel de las emociones dentro de la investigación, significando esto mayor coherencia en la misma.

La investigación realizada fue basada meramente en la información de la FCS de UNITEC, convirtiéndola en un caso de estudio, es decir que no es un indicativo de la realidad del resto de universidades, de igual manera no es representativo de las diferentes facultades dentro de UNITEC e incluso difiere con el resto de las carreras que hay dentro de la FCS. Una ventaja de esto es que debido a que es un caso específico, no existe margen de duda respecto a la aplicación de este ya que se necesita un análisis más profundo, además de que la información proporcionada es representativa del comportamiento actual del sistema de asignación; en cambio se puede ver como desventaja el no ser replicable para otros casos.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

- Programación de horarios: Es el horario de clases que se le asignara a cada aula particular.
- Demanda estudiantil: Cantidad de alumnos que matricularan clases de Medicina y Cirugía en un dado periodo académico.
- Demanda académica: La cantidad de clases que se van a habilitar en un dicho periodo.
- Bloque horario: El espacio de tiempo donde se puede impartir una clase.
- Días: Los días que están disponibles para impartir una clase (lunes a sábado).
- Cantidad de aulas: La cantidad de aulas disponibles para impartir clases.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1 TÉCNICAS

- Programación Lineal Entera (PLE): se utilizó para crear el modelo matemático donde se definieron las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones que darán solución al problema.
- Reunión de Trabajo: se realizaron para obtener información relacionada al funcionamiento del sistema actual de programación de horarios en la carrera de Medicina y Cirugía. Revisar Anexo 1.

4.3.2 INSTRUMENTOS

- Microsoft Excel: se utilizó para transcribir el modelo matemático y procesar los datos en el complemento OpenSolver.
- OpenSolver: es el software que se utilizó para la resolución del problema de horario.
- Microsoft VisualBasics: software que se utilizó para programar la herramienta de asignación de horarios.
- ProQuest: se utilizó para buscar información relevante a la investigación realizada.
- ScienceDirect: se utilizó para buscar información relevante a la investigación realizada.
- ResearchGate: se utilizó para buscar información relevante a la investigación realizada.
- Google Académico: se utilizó para buscar información relevante a la investigación realizada.
- SemanticScholar: se utilizó para buscar información relevante a la investigación realizada.

4.4 POBLACIÓN

La población de esta investigación son todas las clases del plan de estudios de la carrera de Medicina y Cirugía de UNITEC, que se imparten dentro de las aulas de la FCS. Se exceptúan las clases de los bloques de conocimiento de formación general, internados rotatorios y servicio social, resultando en una población total de 48 clases (revisar Anexo 4). Las aulas disponibles son 18, estas se dividen en 14 aulas estándar, 2 aulas de Estructuras y Función y 2 laboratorios multidisciplinarios (revisar Anexo 3). Teniendo en consideración la población utilizada, se utilizó un muestreo por conveniencia.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La realización de la investigación empezó por el trabajo de campo necesario para recolectar toda la información pertinente al problema, esta se recopiló utilizando un formato en donde se organiza esta información como ser: el bloque de conocimiento de la clase, la clase y el código según el plan académico, horarios en los que se puede impartir la asignatura, días de la semana que se imparte la clase teórica, duración de la clase teórica, días que se imparte el laboratorio, duración del laboratorio, tipo de aula en la que se debe impartir el laboratorio, tipo de aula en la que se debe impartir la clase teórica, el tamaño o capacidad del aula, las secciones que se abren normalmente y los comentarios adicionales. (Revisar Anexo 5)

Una vez obtenida la información, se analizó como abordar el problema por lo que se decidió utilizar PLE mediante 7 modelos matemáticos. Las clases tienen diferencias y restricciones muy específicas que no permitían que se resolviera el modelo como un solo modelo. Se dividieron los modelos de acuerdo con si es una clase modular, teórica trimestral o laboratorio trimestral, también según la duración de la misma y por el día en el que se empieza a impartir la clase.

Seguidamente se realizó la nomenclatura necesaria para los modelos, como ser variables de decisión, función objetivo y restricciones; luego se prosiguió a crear los modelos matemáticos necesarios representados en MS Excel, haciendo uso de tablas que representaran todos los datos pertinentes.

El primer conjunto de modelos a resolver fue para las clases que comenzaban el lunes y el martes, el primer modelo que se resolvió incluye las clases teóricas trimestrales de 3 horas UNITEC, la solución de este modelo alimenta al segundo modelo, clases teóricas trimestrales de 2 horas UNITEC, este a su vez alimenta el tercer modelo de clases con duración de 1 hora UNITEC. La información del modelo de 1 hora UNITEC para los días lunes y martes luego se utiliza para programar las clases restantes durante la semana; en el caso del día jueves se tuvo que agregar un modelo para las clases que iniciaban ese día; así como el conjunto de modelos para los laboratorios multidisciplinarios, este conjunto de modelos se divide en laboratorios de 3 y 2 horas que alimenta el modelo de laboratorios de 1 hora.

Los modelos se solucionaron utilizando el software OpenSolver y los resultados obtenidos se compararon con la programación de horarios del semestre 1 modulo 1 de clases involucradas para validarlos.

Últimamente, se creó la herramienta para generar los horarios utilizando el software VisualBasics, esta se realizó en conjunto con los involucrados en la asignación de clases para que el interfaz de esta fuese agradable al usuario final, se creó de igual manera un manual de uso para uso de los involucrados y futuros usuarios.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La metodología de validación que se utilizó fue con base en datos históricos, en este caso programación de horarios pasados. Se comparó la programación manual realizada para el Semestre: I y Módulo: I del 2020 y la programación mediante el modelo matemático para el Semestre: I y Módulo: I del 2020. La validación se fue realizando conjunto los involucrados en la programación de horario, cada fase del modelo matemático fue aprobado por ellos, últimamente se solicitó a estos que validaran no únicamente que el modelo produjera un horario, sino que el horario generado fuese de utilidad para la facultad. Seguidamente se compararon los porcentajes de utilización de cada aula utilizando ambas programaciones, de esta manera se puede observar si existe una mejora.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 1: Cronograma de Actividades

No.		Actividad		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																																																	
				Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 5					Semana 6					Semana 7					Semana 8					Semana 9					Semana 10				
				L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V						
1	Trabajo de Campo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																																								
2	Revisión de Literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																																								
3	Presentación de Primer Avance													X	X																																						
4	Correcciones del Primer Avance									X	X			X	X																																						
5	Nomenclatura del Modelo									X	X	X	X	X	X																																						
6	Creación del Modelo									X	X	X	X	X	X	X	X																																				
7	Representación del Modelo en MS Excel									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																																		
8	Validar el Modelo																	X	X	X	X																																
9	Entrega de Segundo Avance																	X	X																																		
10	Correcciones del Segundo Avance																	X	X			X	X																														
11	Crear la Herramienta de Asignación																					X	X	X	X	X	X																										
12	Realizar manual de uso de la herramienta																					X	X	X	X	X	X			X	X																						
13	Entrega de Tercer Avance																					X	X							X	X																						
14	Correcciones del Tercer Avance																					X	X			X	X			X	X																						
15	Revisión final																					X	X	X	X	X	X			X	X			X	X																		
16	Entrega Final																					X	X							X	X			X	X			X	X														

Fuente: (Elaboración Propia)

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 CASO DE ESTUDIO

El entendimiento del sistema actual fue el resultado reuniones de trabajo con diferentes docentes de la carrera de Medicina involucrados en la programación de horarios, además de el llenado de un formato donde se especificaba información acerca del bloque de conocimiento de la clase, la clase y el código según el plan académico, horarios en los que se puede impartir la asignatura, días de la semana que se imparte la clase teórica, duración de la clase teórica, días que se imparte el laboratorio, duración del laboratorio, tipo de aula en la que se debe impartir el laboratorio, tipo de aula en la que se debe impartir la clase teórica, el tamaño o capacidad del aula, las secciones que se abren normalmente y los comentarios adicionales. (Revisar Anexo 5)

La información recolectada anteriormente fue de utilidad para decidir cómo abordar el problema. El análisis de esta información resultó en abordar la programación de dos maneras, la programación de clases trimestrales y la programación de clases modulares, cabe mencionar que la principal razón por la que se realizó esto es debido a que las clases modulares ya tienen asignadas una cantidad de aulas específicas dentro de las FCS.

5.1.1 BLOQUE DE CONOCIMIENTO

Es importante resaltar los bloques de conocimiento, debido a que estos permiten reconocer ciertas características de las clases que pertenecen a los mismos. Para esta investigación solo se tomaron en cuenta los bloques de:

- Fundamentación Biológica
- Estructuras y Función
- Comportamiento y Sociedad
- Gestión y Salud Colectiva
- Prácticas Complementarias

El bloque de Fundamentación Biológica se caracteriza por que sus clases hacen uso de los laboratorios multidisciplinarios. El bloque de Estructuras y Función permite la utilización de las

aulas de Estructura y Función cuyo equipamiento es diferente al de las clases estándar. Comportamiento y Sociedad no presenta ninguna característica única más que salidas a centros de salud a lo largo del trimestre. Gestión y Salud Colectiva, en sus clases trimestrales no presenta ninguna característica, sus clases modulares salen a lo largo del semestre a centros de salud. Por último, el bloque de Prácticas y Habilidades realizan visitas a centros de salud, así como también hacer uso de los laboratorios de simulación.

5.1.2 TIPO DE CLASE

La carrera de Medicina y Cirugía, UNITEC se divide en dos tipos de clases: trimestrales y modulares. Las clases trimestrales son las que se imparten dentro un trimestre normal en UNITEC, las clases modulares tienen la característica de ser más largas y dividirse en módulos, por lo que comienzan antes y terminan después con relación a un trimestre normal, las clases modulares se agruparon como módulos, tal y como se puede observar en el flujograma de la carrera de medicina.

Tabla 2- Tipo de Clase (Modular)

Clases	Tipo de Clase
Salud Infantil	Modular
Salud de la Mujer	Modular
Cirugía General I	Modular
Salud del Adulto I	Modular
Cirugía General II	Modular
Epidemiología y Salud Colectiva	Modular
Salud del Adulto II	Modular
Neuropsiquiatría	Modular
Epidemiología y Salud Colectiva II	Modular
Salud del Adulto III	Modular
Medicina Legal	Modular
Salud Comunitaria	Modular
Medicina Alternativa	Modular

Fuente: (Elaboración Propia)

Tabla 3- Tipo de Clases (Trimestrales)

Clases	Tipo de Clase
Prácticas Médicas 3	Trimestral
Psicología Médica	Trimestral
Agresión y Defensa	Trimestral
Morfología General	Trimestral
Fisiología General	Trimestral
Sistema Hematopoyetico	Trimestral
Sistema Circulatorio	Trimestral
Sistema Respiratorio	Trimestral
Sistema Genitourinario	Trimestral
Sistema Endocrino	Trimestral
Sistema Tegumentario	Trimestral
Sistema Nervioso	Trimestral
Procesos Nutricionales y Metabólicos	Trimestral
Sistema Osteo-Mio-Articular	Trimestral
Prácticas Médicas 4	Trimestral
Terapéutica Integrada	Trimestral
Prácticas Médicas 1	Trimestral
Sistema Gastrointestinal	Trimestral
Química Medica I	Trimestral
Química Medica II	Trimestral
Procesos Biologicos I	Trimestral
Procesos Biologicos II	Trimestral
Física Medica	Trimestral
Biofísica	Trimestral
Genética	Trimestral
Microbiología e Inmunología	Trimestral
Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	Trimestral
Bioestadística	Trimestral
Gestión en servicios de salud	Trimestral
Farmacología General	Trimestral
Fisiopatología General	Trimestral
Prácticas Médicas 2	Trimestral
Clínica Integrada	Trimestral
Medicina Prehospitalaria y Desastres	Trimestral
Metodología de la investigación	Trimestral

Fuente: (Elaboración Propia)

5.1.3 CARGA ACADÉMICA

Las clases que se llevan a lo largo de la carrera de Medicina y los horarios en los que cada clase se puede dar, se mira afectado por la carga académica. Es decir que algunas clases restringen su horario debido a clases con diferente horario y mayor prioridad. Esto sucede, por ejemplo, con la clase de Prácticas Médicas II, el itinerario de la misma clase y la carga académica para estudiantes de ese año solo permite que esta clase se de los días jueves y viernes; 3 horas UNITEC y 1 hora UNITEC respectivamente; para poder cumplir las 4 horas teóricas que deben tener cada semana. Este comportamiento se puede observar también en la clase de Metodología de la Investigación, donde se tienen 2 secciones y cada sección tiene un horario diferente y además los días en lo que se recibe clase varían entre una sección y otra, y Gestión de Servicios en Salud, en la que una sección debe recibir toda la carga académica de una semana en un día.

5.1.4 DISPONIBILIDAD DE HORARIOS DE CLASE

Las restricciones actuales del sistema limitan mucho el resultado final, la mayoría de las clases solo cuentan con un horario disponible para que se pueda impartir, además para una programación manual se ha dejado asignaciones de clases muy complejas como ser metodología de la investigación. El modelo matemático realizado tomará en cuenta únicamente los datos que fueron proveídos.

De igual manera, la disponibilidad del docente no permite que los horarios sean flexibles, incluso resulta en horarios muy restringidos con los que se debe trabajar, este es el caso de la clase de Agresión y Defensa, la disponibilidad del docente no permite que la clase se desarrolle durante la semana y se tenga que impartir tres días a la semana, 2 horas cada día.

5.1.5 COMPORTAMIENTO DE CLASES DURANTE LA SEMANA

La FCS imparte clases de lunes a sábado, y los días que se imparte una clase puede variar, las clases trimestrales en su mayoría las clases son de lunes a jueves, pero existen casos donde la clase comienza un martes o incluso el jueves y en un caso específico se da clases el sábado. Las clases modulares están asignadas toda la semana a un aula, sin embargo, dependerá de la estructuración de la clase los días que esta aula se utilice.

5.1.6 DURACIÓN DE CLASES TEÓRICAS Y LABORATORIOS (TRIMESTRALES)

La duración de las clases teóricas también difiere de acuerdo con el bloque de conocimiento y al tipo de clase. Las clases trimestrales del bloque de fundamentación biológica duran en su mayoría 1 hora UNITEC, los laboratorios que se dan en este bloque tienen duraciones de una, dos o tres horas UNITEC dependiendo de la clase. Las clases de estructura y función duran 2 horas UNITEC, a excepción de una clase. El bloque de prácticas y habilidades cuenta con clases que duran 2 horas UNITEC y 3 horas UNITEC, en este bloque particular esto sucede debido a que se asignan clases espejo, durante un bloque horario una sección está en clases teóricas y la otra sección está en el laboratorio de simulación o fuera de la universidad, una vez que se cambia de bloque horario, la secciones intercambian funciones.

5.1.6.1. *Choque de bloque horarios*

Las clases teóricas de 2 horas UNITEC y las restricciones de bloques horarios impuestas por los docentes generan en algunas situaciones un choque de bloque horarios, esto quiere decir que los horarios se montan uno encima de otro, por ejemplo, una clase dura de 1:00 a 3:40, sin embargo, hay una clase que comienza a las 2:20 y termina a las 5:10, por lo que esas clases no se podrán asignar en la misma clase. Este choque de horarios puede suceder entre 2 y 3 bloques horarios.

5.1.7 DURACIÓN DE CLASES MODULARES

Las clases modulares tiene una duración de 9 horas al día, desde las 7 a.m. -12 p.m. y 1:00 p.m.- 5:00 p.m., no obstante, no todas las clases utilizan ambos horarios, algunos solo utilizan el horario de la mañana y en otros casos solo el de la tarde, esto dependerá del módulo y clase de ese módulo que se esté llevando.

5.1.8 UTILIZACIÓN ACTUAL DE RECURSOS DISPONIBLES

La comprensión del sistema actual no consintió únicamente en entender el funcionamiento de asignación de aulas, sino también en la comprensión de como la FCS utiliza sus recursos disponibles para asignar clases. Las clases trimestrales hacen uso de 6 aulas estándar, 4 de ellas grandes y 2 pequeñas, la capacidad de las aulas grande es de hasta 36 personas y las pequeñas de hasta 18. Además, utilizan los laboratorios multidisciplinarios y las aulas de estructura y función.

La utilización de un aula u otra depende de las necesidades que cada clase requiera. Las clases modulares utilizan 8 aulas estándar, 4 aulas grandes y 4 clases pequeñas, estas aulas son de uso exclusivo para clases modulares, es decir que ninguna otra clase de Medicina u otra carrera se imparte en estas aulas.

La FCS también dispone de diversos bloques horarios disponibles en distintas aulas de la universidad, esto es debido a que el espacio disponible dentro de la facultad no es suficiente para la demanda de clases de que se tiene actualmente. Un total de 16 secciones de diversas clases de Medicina se imparten en la actualidad fuera de la FCS.

La utilización de aulas del sistema actual para clases dentro de la FCS solo para la carrera de Medicina es de 65.66%.

5.2 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

5.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO MATEMÁTICO

Los modelos matemáticos se formularon utilizando programación lineal entera y haciendo uso de variables binarias. Se construyeron siete modelos matemáticos, 1 de clases modulares y seis de clases trimestrales, incluyendo laboratorios. El modelo de clases modulares representa el 28% del total y el 72% restante de las clases fue dividido en más modelos por las diferencias de horarios que muestran.

Tabla 4- División de clases

	Cantidad	Porcentaje
Clases trimestrales	34	72%
Clases modulares	13	28%
Total de clases en modelo	47	100%

Fuente: (Elaboración Propia)

El primer modelo de clases trimestrales representa el 6% de las mismas, estas comienzan los lunes o martes y duran 3 horas UNITEC. EL segundo modelo representa el 47% de las clases trimestrales, estas de igual manera comienzan los lunes o martes, pero tienen una duración de 2 horas UNITEC. Las clases trimestrales que comienzan los lunes o martes y tienen una duración de 1 hora UNITEC representan el 38% de clases trimestrales, estas son representadas en el tercer modelo. Hay dos

clases que se comienzan a impartir los jueves, estas representan el 6% de las clases trimestrales y fueron tomadas en cuenta en el cuarto modelo. No fue necesario crear un modelo para la clase teórica que se imparte el sábado ya que es una única clase y no representa un problema en la asignación, esta representa el 3% de las clases trimestrales.

Tabla 5- División clases trimestrales

	Cantidad de clases	Porcentaje basado en clases trimestrales (34)	Porcentaje basado en clases totales (47)
Lunes Martes 3 HRU	2	6%	4%
Lunes Martes 2 HRU	16	47%	34%
Lunes Martes 1 HRU	13	38%	28%
Jueves	2	6%	4%
Sábado	1	3%	2%
Total Clases trimestrales en modelo	34	100%	72%

Fuente: (Elaboración Propia)

Los modelos cinco y seis son para las clases trimestrales que deben llevar un laboratorio multidisciplinario (LMD). Estas clases ya fueron incluidas en modelos de clases trimestrales, sin embargo, solo se asignaron en aulas estándar para poder impartir las clases teóricas; para estos modelos se tomaron en cuenta algunos resultados de los modelos anteriores, por algunas especificaciones de las clases que requieren un laboratorio. Por ejemplo, el laboratorio de la clase de Biofísica debe de ser asignado un día a la misma hora que se asignó la teoría el resto de la semana y ciertos laboratorios requieren 2 o 3 horas UNITEC para su realización. Se hizo un modelo para el 24% de clases con LMD con duración de 2 o 3 horas UNITEC y otro para el 6% de clases con LMD con duración de una hora UNITEC.

Tabla 6- División clases con laboratorios

	Cantidad	Porcentaje basado en clases con LMD (10)	Porcentaje basado en clases trimestrales (34)	Porcentaje basado en clases totales (47)
Clases trimestrales con LMD	10	100%	29%	21%
LMD 2 y 3 HRU	8	80%	24%	17%
LMD 1 HRU	2	20%	6%	4%

Fuente: (Elaboración Propia)

La estructura de las ecuaciones entre un modelo y otro son similares, aunque se noten diferentes.

Una característica peculiar de los modelos de las clases trimestrales es que la resolución del modelo de una hora de lunes y martes define mucha de las restricciones de los modelos que le siguen, debido a que las clases asignadas a un bloque horario y aula sirven para restringe los días que siguen.

Se crearon conjuntos para los 7 modelos y que la creación de la nomenclatura fuese más simple. La tabla 10 describe que conjunto se refiere a que modelo.

Tabla 7-Conjuntos para cada modelo

Conjunto	Modelo
CT1	Lunes y Martes 3 horas
CT2	Lunes y Martes 2 horas
CT3	Lunes y Martes 1 horas
CT4	Jueves
LM1	Laboratorio Multidisciplinario 3 y 2 horas
LM2	Laboratorio Multidisciplinario 1 hora
MOD	Clases Modulares

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.1.1. *Nomenclatura Modelo Clases Trimestrales*

i: representa las clases que existen en la carrera de Medicina y Cirugía. Los conjuntos para cada modelo son:

- CT1= {01,02}
- CT2= {01,02, ...,18}
- CT3= {01, 02, ...,31}
- CT4= {01, 02, ..., 33}
- LM1= {34, 35, ..., 42}
- LM2= {34, 35, ..., 44}
- MOD= {45,46,47,48}

j: representa el bloque horario, aula y día que se puede impartir una clase. Aquí un breve ejemplo de que representa cada número, 1 representa un bloque horario, aula y día disponible para el modelo HT1 y se expresa como 7:00-11:30/302/12.

- HT1= {1, 2, ...,6}
- HT2= {7, 8, ...,40}
- HT3= {41, 42, ...,104}
- HT4= {105,106, ...,170}
- HL1= {171,172, ...,190}
- HL2= {191,192, ...,258}
- HM= {259,260, ...,266}

Se crearon más conjuntos para poder facilitar las restricciones de choque de horarios, un ejemplo de lo que representa cada conjunto es CH1 incluye los bloques horarios, aula y día 9,10 y 11 que se encuentran en el modelo HT2, los conjuntos adicionales son los siguientes:

- CH1: {9, 10, 11}
- CH2: {14, 15, 16}
- CH3: {19, 20, 21}
- CH3: {24, 25, 26}
- CH4: {33, 34, 35}
- CH5: {38, 39, 40}
- HC1: {9, 10}
- HC2: {10, 11}
- HC3: {14, 15}
- HC4: {15, 16}
- HC5: {19, 20}
- HC6: {20, 21}
- HC7: {24, 25}
- HC8: {25, 26}
- HC9: {27, 28}
- HC10: {29, 30}
- HC11: {33, 34}
- HC12: {34, 35}
- HC13: {38, 39}

- HC14: {39, 40}

Los parámetros necesarios para ambos modelos se definen a continuación:

D_{nij}: Disponibilidad que tiene una clase i para ser impartida en bloque horario, aula y días j. (n puede tomar el valor de: CT1, CT2, CT3, CT4, LM1, LM2, MOD)

S_i: Cantidad de secciones de clases i que se desean abrir.

5.2.2 MODELO CLASES TRIMESTRALES CT1

5.2.2.1. Variable de decisión

X_{ij}: toma el valor de 1 si se imparte la clase i en el bloque horario, aula, día j, toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.2.2. Función Objetivo

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de clases en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de clases en los bloques horarios, aulas y días.

$$Max Z = \frac{\sum_{i \in CT1} \sum_{j \in HT1} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DCT1_{ij}} * 100$$

Ecuación 1- Función Objetivo CT1

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.2.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más una clase en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in CT1} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HT1$$

Ecuación 2- Restricción 1 (Modelo 3hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DCT1_{ij} \quad \forall i \in CT1 \forall j \in HT1$$

Ecuación 3- Restricción 2 (Modelo 3hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HT1} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in CT1$$

Ecuación 4-R restricción 3 (Modelo 3hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in CT1 \forall j \in HT1$$

Ecuación 5-R restricción 4 (Modelo 3hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.3 MODELO CLASES TRIMESTRALES CT2

5.2.3.1. Variable de decisión

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte la clase i en el bloque horario, aula, día j , toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.3.2. Función Objetivo

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de clases en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de clases en los bloques horarios, aulas y días.

$$Max Z = \frac{\sum_{i \in CT2} \sum_{j \in HT2} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DCT2_{ij}} * 100$$

Ecuación 6-Función Objetivo CT2 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.3.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más una clase en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in CT2} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HT2$$

Ecuación 7-R restricción 1 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DCT2_{ij} \quad \forall i \in CT2 \forall j \in HT2$$

Ecuación 8- Restricción 2 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HT2} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in CT2$$

Ecuación 9- Restricción 3 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Cuando tres bloques horarios choquen entre si solo se podrá asignar a lo más dos clases (revisar sección 5.1.5.1).

$$\sum_{i=3}^{18} X_{ij} \leq 2 \quad \forall j \in CH1, CH2, CH3, CH4, CH5$$

Ecuación 10- Restricción 4 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5. Cuando dos bloques horarios choquen entre si solo se podrá asignar a lo más una clase (revisar sección 5.1.5.1).

$$\sum_{i=3}^{18} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HC1, HC2, \dots, HC14$$

Ecuación 11- Restricción 5 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

6. Los valores de las primeras dos clases deben ser igual al bloque-horario, aula, día disponible.

$$\sum_{i=1}^2 X_{ij} = DCT2_{ij} \quad \forall j \in HT2$$

Ecuación 12- Restricción 6 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

7. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in CT2 \quad \forall j \in HT2$$

Ecuación 13- Restricción 7 (Modelo 2hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.4 MODELO CLASES TRIMESTRALES CT3

5.2.4.1. Variable de decisión

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte la clase i en el bloque horario, aula, día j , toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.4.2. Función Objetivo

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de clases en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de clases en los bloques horarios, aulas y días.

$$Max Z = \frac{\sum_{i \in CT3} \sum_{j \in HT3} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DCT3_{ij}} * 100$$

Ecuación 14- Función Objetivo CT3 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.4.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más una clase en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in CT3} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HT3$$

Ecuación 15- Restricción 1 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DCT3_{ij} \quad \forall i \in CT3 \quad \forall j \in HT3$$

Ecuación 16- Restricción 2 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HT3} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in CT3$$

Ecuación 17- Restricción 3 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Los valores de las primeras dieciocho clases deben ser igual al bloque-horario, aula día disponible.

$$\sum_{i=1}^{18} X_{ij} = DCT3_{ij} \quad \forall j \in HT3$$

Ecuación 18- Restricción 4 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in CT3 \forall j \in HT3$$

Ecuación 19- Restricción 5 (Modelo 1hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.5 MODELO CLASES TRIMESTRALES CT4

5.2.5.1. *Variable de decisión*

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte la clase i en el bloque horario, aula, día j, toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.5.2. *Función Objetivo*

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de clases en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de clases en los bloques horarios, aulas y días.

$$Max Z = \frac{\sum_{i \in CT4} \sum_{j \in HT4} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DCT4_{ij}} * 100$$

Ecuación 20- Función Objetivo (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.5.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más una clase en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in CT4} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HT4$$

Ecuación 21- Restricción 1 (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DCT4_{ij} \quad \forall i \in CT4 \forall j \in HT4$$

Ecuación 22- Restricción 2 (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HT4} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in CT4$$

Ecuación 23- Restricción 3 (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Los valores de las primeras treinta y una clases deben ser igual al bloque-horario, aula día disponible.

$$\sum_{i=1}^{31} X_{ij} = DCT4_{ij} \quad \forall j \in HT4$$

Ecuación 24- Restricción 4 (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

5. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in CT4 \forall j \in HT4$$

Ecuación 25- Restricción 5 (Modelo Jueves)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.6 MODELO CLASES TRIMESTRALES LM1

5.2.6.1. Variable de decisión

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte el laboratorio i en el bloque horario, aula, día j , toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.6.2. Función Objetivo

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de laboratorios en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de laboratorios en los bloques horarios, aulas y días.

$$\text{Max } Z = \frac{\sum_{i \in LM1} \sum_{j \in HL1} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DLM1_{ij}} * 100$$

Ecuación 26- Función Objetivo (Modelo LM1)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.6.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más un laboratorio en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in LM1} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HL1$$

Ecuación 27- Restricción 1 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DLM1_{ij} \quad \forall i \in LM1 \forall j \in HL1$$

Ecuación 28- Restricción 2 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HL1} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in LM1$$

Ecuación 29- Restricción 3 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Cuando dos bloques horarios choquen entre si solo se podrá asignar a lo más una clase (revisar sección 5.1.5.1).

$$\sum_{j=177} X_{ij} + \sum_{j=179} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in LM1$$

Ecuación 30- Restricción 4 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

$$\sum_{j=178} X_{ij} + \sum_{j=180} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in LM1$$

Ecuación 31- Restricción 5 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in LM1 \quad \forall j \in HL1$$

Ecuación 32- Restricción 5 (Modelo Laboratorios 2 y 3 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.7 MODELO CLASES TRIMESTRALES LM2

5.2.7.1. *Variable de decisión*

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte el laboratorio i en el bloque horario, aula, día j, toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.7.2. *Función Objetivo*

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de laboratorios en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de laboratorios en los bloques horarios, aulas y días.

$$Max Z = \frac{\sum_{i \in LM2} \sum_{j \in HL2} X_{ij}}{\sum_i \sum_j DLM2_{ij}} * 100$$

Ecuación 33- Función Objetivo (Modelo LM2)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.7.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más un laboratorio en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in LM1} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in HL1$$

Ecuación 34- Restricción 1 (Modelo Laboratorio 1 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq DLM2_{ij} \quad \forall i \in LM2 \quad \forall j \in HL2$$

Ecuación 35- Restricción 2 (Modelo Laboratorio 1 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in HL2} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in LM2$$

Ecuación 36- Restricción 3 (Modelo Laboratorio 1 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Los valores de los primeros ocho laboratorios deben ser igual al bloque-horario, aula día disponible.

$$\sum_{i=1}^8 X_{ij} = DLM2_{ij} \quad \forall j \in HL2$$

Ecuación 37- Restricción 4 (Modelo Laboratorio 1 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in LM2 \quad \forall j \in HL2$$

Ecuación 38- Restricción 5 (Modelo Laboratorio 1 hr)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.8 MODELO CLASES TRIMESTRALES MOD

5.2.8.1. Variable de decisión

X_{ij} : toma el valor de 1 si se imparte la clase i en el bloque horario, aula, día j , toma el valor de 0 en caso de lo contrario.

5.2.8.2. Función Objetivo

La función objetivo está representada por la maximización de la suma de asignación de clases en los bloques-horarios, aulas y día entre la suma de disponibilidad de asignación de clases en los bloques horarios, aulas y días.

$$\text{Max } Z = \frac{\sum_{i \in \text{MOD}} \sum_{j \in \text{HM}} X_{ij}}{\sum_i \sum_j \text{DMOD}_{ij}} * 100$$

Ecuación 39- Función Objetivo (Modelo MOD)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.8.3. Restricciones

1. Se debe asignar a los más una clase en cada bloque-horario, aula y día.

$$\sum_{i \in \text{MOD}} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in \text{HM}$$

Ecuación 40- Restricción 1 (Modelo Modulares)

Fuente: (Elaboración Propia)

2. Las clases solo pueden ser asignadas en un bloque horario, aula y día disponible.

$$X_{ij} \leq \text{DMOD}_{ij} \quad \forall i \in \text{MOD} \quad \forall j \in \text{HM}$$

Ecuación 41- Restricción 2 (Modelo Modulares)

Fuente: (Elaboración Propia)

3. La cantidad de secciones asignadas debe ser igual a la cantidad de secciones requeridas

$$\sum_{j \in \text{HM}} X_{ij} = S_i \quad \forall i \in \text{MOD}$$

Ecuación 42- Restricción 3 (Modelo Modulares)

Fuente: (Elaboración Propia)

4. Valores permitidos para las variables.

$$X_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in MOD \quad \forall j \in HM$$

Ecuación 43- Restricción 4 (Modelo Modulares)

Fuente: (Elaboración Propia)

5.3 RESULTADOS DEL MODELO

Se ingresaron la cantidad de secciones (Tabla 2) y módulos (Tabla 3) más cercanos a la realidad actual y el modelo encontró una solución factible en menos de un minuto, cumpliendo con todas las restricciones establecidas y analizando todas las variables en cuestión.

Tabla 8- Cantidad de secciones

Clases Trimestrales		Secciones
1	Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1
2	Psicología Médica	1
3	Agresión y Defensa	1
4	Morfología General	2
5	Fisiología General	1
6	Sistema Hematopoyetico	1
7	Sistema Circulatorio	1
8	Sistema Respiratorio	1
9	Sistema Genitourinario	1
10	Sistema Endocrino	1
11	Sistema Tegumentario	1
12	Sistema Nervioso	1
13	Procesos Nutricionales y Metabólicos	1
14	Sistema Osteo-Mio-Articular	1
15	Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0
16	Terapéutica Integrada	1
17	Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1
18	Sistema Gastrointestinal	0
19	Química Medica I	1
20	Química Medica II	1
21	Procesos Biologicos I	1
22	Procesos Biologicos II	1
23	Física Medica	0
24	Biofísica	0
25	Genética	1
26	Microbiología e Inmunología	2
27	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2
28	Bioestadística	1
29	Gestión en servicios de salud	2
30	Farmacología General	2
31	Fisiopatología General	1
32	Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1
33	Clínica Integrada	1
34	Medicina Prehospitalaria y Desastres	1

Fuente: (Elaboración Propia)

Tabla 9- Cantidad de módulos

	Clases Modulares	Módulos
1	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I	2
2	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	2
3	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	3
4	Salud del Adulto III Medicina Legal Salud Comunitaria Medicina Alterativa	1

Fuente: (Elaboración Propia)

El modelo fue capaz de resolverse exitosamente, sin embargo, cabe mencionar que debido a la cantidad de restricciones que cada modelo tiene existirán situaciones en las que no habrá solución para los modelos. Esto se explicará más a detalle en la sección de validación.

5.3.1 CLASES MODULARES

El aula 201 es un aula estándar grande asignada para impartir clases modulares. Luego de correr el modelo se puede apreciar, teóricamente, una utilización del 100%. Las últimas tres horas UNITEC de los sábados no se toman en cuenta para la utilización debido a que a estas horas no se puede impartir ninguna clase en la FCS. Las clases modulares fueron asignadas en una misma aula por sus respectivos módulos debido a que estas clases no se imparten de manera simultánea, si no que una seguida de la otra a través de todo el semestre.

aula201						
HORA/DÍA	LUNES	martes	miércoles	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
8:30-9:50	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
10:10-11:30	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
11:30-12:50	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
1:00-2:20	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
2:20-3:40	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
3:40-5:00	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					
5:00-6:30	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I					

Ilustración 1-Horario Aula 201

Fuente: (Elaboración Propia)

5.3.2 CLASES TRIMESTRALES TEÓRICAS

El aula 102 está asignada para impartir clases teóricas en cada trimestre. Esta es el aula estándar con de las mejores utilizaciones con un 77%. Las aulas estándar asignadas a las clases trimestrales son 6, la utilización promedio de estas aulas se encuentra en 60% debido a todas las restricciones de horario que poseen las clases asignadas a estas aulas.

AULA 102						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Procesos Nutricionales y Metabólicos		Medicina Prehospitalaria y Desastres			
8:30-9:50	Procesos Nutricionales y Metabólicos	Procesos Nutricionales y Metabólicos	Procesos Nutricionales y Metabólicos			Medicina Prehospitalaria y Desastres
10:10-11:30	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	Medicina Prehospitalaria y Desastres
11:30-12:50	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	Fisiología General	
1:00-2:20		Farmacología General	Farmacología General	Farmacología General	Farmacología General	
2:20-3:40	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología		
3:40-5:00	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología	Microbiología e Inmunología		
5:00-6:30	Gestión en servicios de salud					

Ilustración 2- Horario Aula 102

Fuente: (Elaboración Propia)

5.3.3 ESTRUCTURAS Y FUNCIÓN

Las aulas de estructura y tienen la particularidad de solo poder impartir algunas de las 13 clases de este bloque, que representa el 27.7% de todas las clases de que se están evaluando en los modelos. El aula de Estructura y Función #1 tiene una utilización del 62.5%. Ambas aulas de estructura y función en promedio tienen utilización del 70%.

ESTRUCTURA Y FUNCIÓN 1						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Morfología General					
8:30-9:50	Morfología General	Morfología General	Morfología General	Morfología General		
10:10-11:30	Sistema Endocrino	Sistema Endocrino	Sistema Endocrino	Sistema Endocrino		
11:30-12:50	Sistema Endocrino	Sistema Endocrino	Sistema Endocrino			
1:00-2:20						
2:20-3:40	Sistema Nervioso					
3:40-5:00	Sistema Nervioso	Sistema Nervioso	Sistema Nervioso	Sistema Nervioso		
5:00-6:30						

Ilustración 3-Horario EYF1

Fuente: (Elaboración Propia)

5.3.4 LABORATORIOS MULTIDISCIPLINARIOS

El laboratorio multidisciplinario tiene una utilización de 45%. Los laboratorios, debido a las restricciones que solo se pueden impartir clases con laboratorio dentro de ellos, tienen la utilización más baja de todas las aulas con un promedio de 31% de utilización en ambos laboratorios. Se puede observar como la mayoría del espacio no se utiliza, esto depende directamente de la cantidad de secciones que se abran de la clase teórica que necesitan laboratorio.

LAB MULTIDISCIPLINARIO 1						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20			Agresión y Defensa			
8:30-9:50			Agresión y Defensa			
10:10-11:30					Química Medica I	
11:30-12:50	Farmacología				Química Medica I	
1:00-2:20	Farmacología					
2:20-3:40	Procesos Biologicos I	Microbiología e Inmunología		Procesos Biologicos II	Genetica	
3:40-5:00	Procesos Biologicos I	Microbiología e Inmunología		Procesos Biologicos II	Genetica	
5:00-6:30	Procesos Biologicos I	Microbiología e Inmunología		Procesos Biologicos II	Genetica	

Ilustración 4- Horario LM1

Fuente: (Elaboración Propia)

5.3.5 RESULTADOS CÓDIGO VISUAL BASIC

Para la creación de la herramienta se crearon macros mediante módulos de códigos en Visual Basic, se crearon un total de ocho códigos, estos códigos se encargan de correr de manera automática un modelo predeterminado al momento en el que se decida correr los mismos. El lenguaje utilizado fue VB, lenguaje específico para Visual Basic. A continuación, se puede observar el código utilizado para el Modelo Lunes Martes 3 horas.

```
(General) ModeloLuMa2
Sub ModeloLuMa2 ()
Sheets("LUNESMARTES2HR").Select
Dim ModeloLuMa2 As Worksheet
Set ModeloLuMa2 = Sheets("LUNESMARTES2HR")

OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloLuMa2

OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloLuMa2.Cells(26, 3), Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloLuMa2

OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloLuMa2.Range(Cells(3, 4), Cells(20, 37)), Sheet:=ModeloLuMa2

OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(3, 4), Cells(20, 37)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(5, 4), Cells(20, 37)), RelationLE, ModeloLuMa2.Range(Cells(32, 4), Cells(47, 37)), , Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(22, 4), Cells(22, 37)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(23, 4), Cells(23, 37)), RelationLE, , 2, Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(24, 4), Cells(24, 37)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(5, 39), Cells(20, 39)), RelationEQ, ModeloLuMa2.Range(Cells(5, 3), Cells(20, 3)), , Sheet:=ModeloLuMa2
OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa2.Range(Cells(3, 4), Cells(4, 37)), RelationEQ, ModeloLuMa2.Range(Cells(30, 4), Cells(31, 37)), , Sheet:=ModeloLuMa2

OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloLuMa2

Sheets("LUNESMARTES2HR").Select

End Sub
```

Ilustración 5- Código Modelo Lunes y Martes 2 horas

Fuente: (Elaboración Propia)

A diferencia de la herramienta, donde únicamente se seleccionan los campos que se desean tomar en cuenta, se tuvo que codificar cada uno de los parámetros necesarios, incluyendo función objetivo, restricciones y que el modelo se corra al final de todo. La creación de un código facilitó la creación de los demás códigos debido a la familiaridad que estos tenían unos entre otros.

5.4 VALIDACIÓN

5.4.1 COMPARACIÓN DE ASIGNACIÓN MANUAL Y ASIGNACIÓN MEDIANTE MODELOS

MATEMÁTICOS

La asignación de horarios obtenida mediante la programación lineal fue validada al compararla con la asignación de clases de la carrera de medicina realizada manualmente para el trimestre 1 del módulo 1 del año 2020.

Para compararlos se abrieron la misma cantidad de secciones en los modelos que las secciones abiertas actuales del trimestre 1 módulo 1 del año 2020, siempre y cuando estas clases cumplieran con los siguientes criterios:

1. Las clases asignadas manualmente deben de estar asignadas dentro de la FCS.
2. Las clases asignadas manualmente deben de cumplir con los requisitos de horario y de tipo de aula dados.

Tabla 10- Comparación Secciones

	Clases Trimestrales	Secciones Modelo	Secciones Actuales
1	Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1	1
2	Psicología Médica	1	1
3	Agresión y Defensa	1	1
4	Morfología General	2	2
5	Fisiología General	1	2
6	Sistema Hematopoyetico	1	1
7	Sistema Circulatorio	1	1
8	Sistema Respiratorio	1	1
9	Sistema Genitourinario	1	1
10	Sistema Endocrino	1	1
11	Sistema Tegumentario	1	1
12	Sistema Nervioso	1	1
13	Procesos Nutricionales y Metabólicos	1	1
14	Sistema Osteo-Mio-Articular	1	1
15	Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0	1
16	Terapéutica Integrada	1	1
17	Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1	1
18	Sistema Gastrointestinal	0	1
19	Química Medica I	1	2
20	Química Medica II	1	1
21	Procesos Biologicos I	1	2
22	Procesos Biologicos II	1	1
23	Física Medica	0	2
24	Biofísica	0	2
25	Genética	1	2
26	Microbiología e Inmunología	2	2
27	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2	2
28	Bioestadística	1	2
29	Gestión en servicios de salud	2	2
30	Farmacología General	2	2
31	Fisiopatología General	1	1
32	Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1	1
33	Clínica Integrada	1	1
34	Medicina Prehospitalaria y Desastres	1	1

Fuente: (Elaboración Propia)

Se pudieron asignar la misma cantidad de secciones para 25 clases, sin embargo, debido a ciertas limitaciones no se logró asignar 9 secciones.

Las 9 secciones no asignadas surgen de las siguientes razones:

- Fisiología General: Falta de disponibilidad de aulas para el horario deseado.
- Prácticas Médicas 4: Falta de disponibilidad de aulas para el horario deseado.
- Sistema Gastrointestinal: Falta de disponibilidad de aulas para el horario deseado.
- Química Médica I: Falta de disponibilidad de aulas en los horarios deseados para abrir una segunda sección.
- Procesos Biológicos I: Falta de disponibilidad de aulas en los horarios deseados para abrir una segunda sección.
- Física Médica: esta clase es impartida por un ingeniero y no da clases en el edificio de la FCS.
- Biofísica: esta clase es impartida por un ingeniero y no da clases en el edificio de la FCS.
- Genética: Falta de disponibilidad de aulas en los horarios deseados para abrir una segunda sección.
- Bioestadística: esta clase es impartida por un ingeniero y no da clases en el edificio de la FCS.

Tabla 11-Comparación Módulos

Clases Modulares		Módulos	Módulos Actuales
1	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I	2	2
2	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	2	2
3	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	3	3
4	Salud del Adulto III Medicina Legal Salud Comunitaria Medicina Alternativa	1	1

Fuente: (Elaboración Propia)

Las clases modulares no presentaron ninguna discrepancia entre los criterios y la manera en que estas fueron asignadas y se pudieron abrir la misma cantidad de módulos.

5.4.2 COMPARACIÓN DE UTILIZACIÓN DE PROGRAMACIÓN MEDIANTE PROGRAMACIÓN MANUAL Y MODELO MATEMÁTICO

La utilización es uno de los puntos que se buscaban mejorar mediante la programación del modelo matemático. Se calculó la utilización de la asignación del modelo y la utilización de la asignación manual con la cantidad de secciones abiertas mencionadas en el inciso anterior.

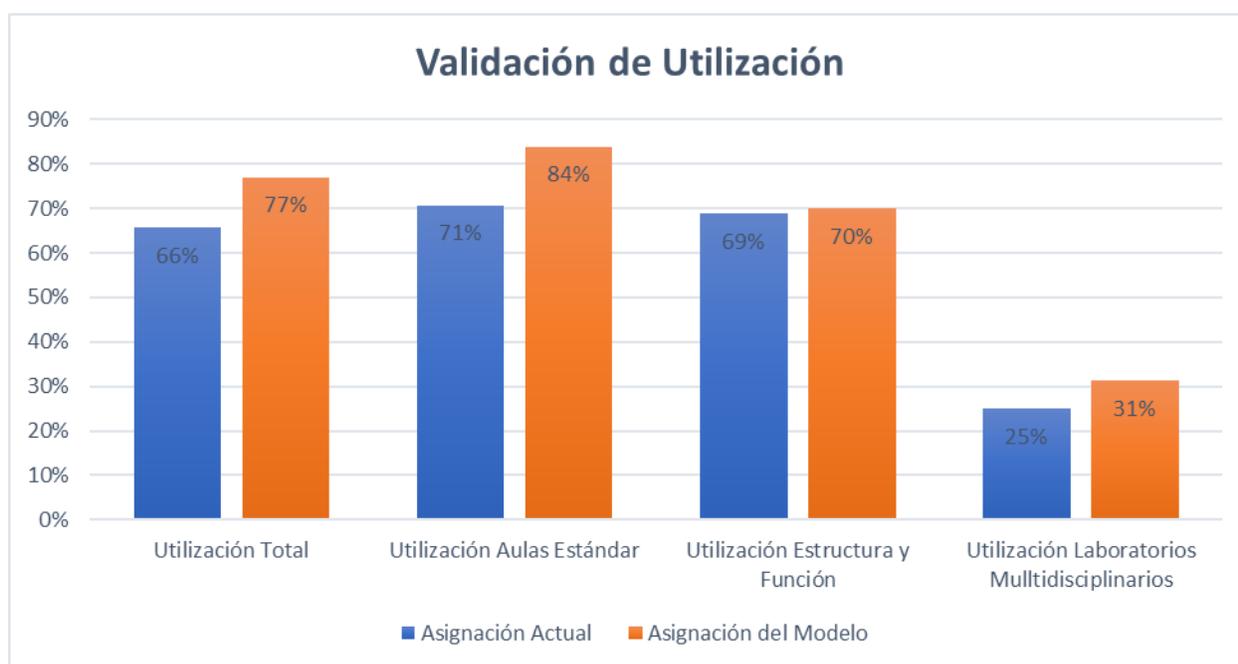


Ilustración 6- Comparación Utilización

Se compararon cuatro diferentes utilizaciones dentro de la facultad, se puede observar como la utilización total mejora en aproximadamente un 11%, la utilización de aulas estándar aumentó en un 13% comparación a la utilización pasada debido a que se logró asignar más clases dentro de la FCS, que se daban afuera de la misma normalmente. La utilización de Estructura y Función y los Laboratorios Multidisciplinarios presentaron mejorías de 1% y 6% respectivamente. A pesar de que no se pudieron asignar 9 secciones, la utilización aumenta debido a que se asignaron varias clases en aulas dentro de la FCS, cuando anteriormente se han asignado en aulas fuera de la FCS.

5.4.3 ESCENARIO DE MEJORA

El modelo matemático tiene potencial para obtener resultados más eficientes en cuanto a la utilización de las aulas. Las clases de la carrera de medicina y cirugía en UNITEC tienen muchas restricciones que impiden que el modelo cubra los espacios de una mejor manera. Por esa razón se creó un escenario donde se abrieron más secciones y se cambiaron algunas restricciones. El escenario de mejora consiste en ser más flexibles en cuanto a horarios y aulas que puedan utilizar las diferentes clases. Se habilitaron horarios que no eran permitidos para las clases, así como restringir la mayoría de las clases de estructura y función únicamente a las aulas de estructura y función.

En la ilustración 7 se puede observar la utilización de los tres casos que se estudiaron y se muestra que la utilización en todas las aulas mejora con este último escenario.

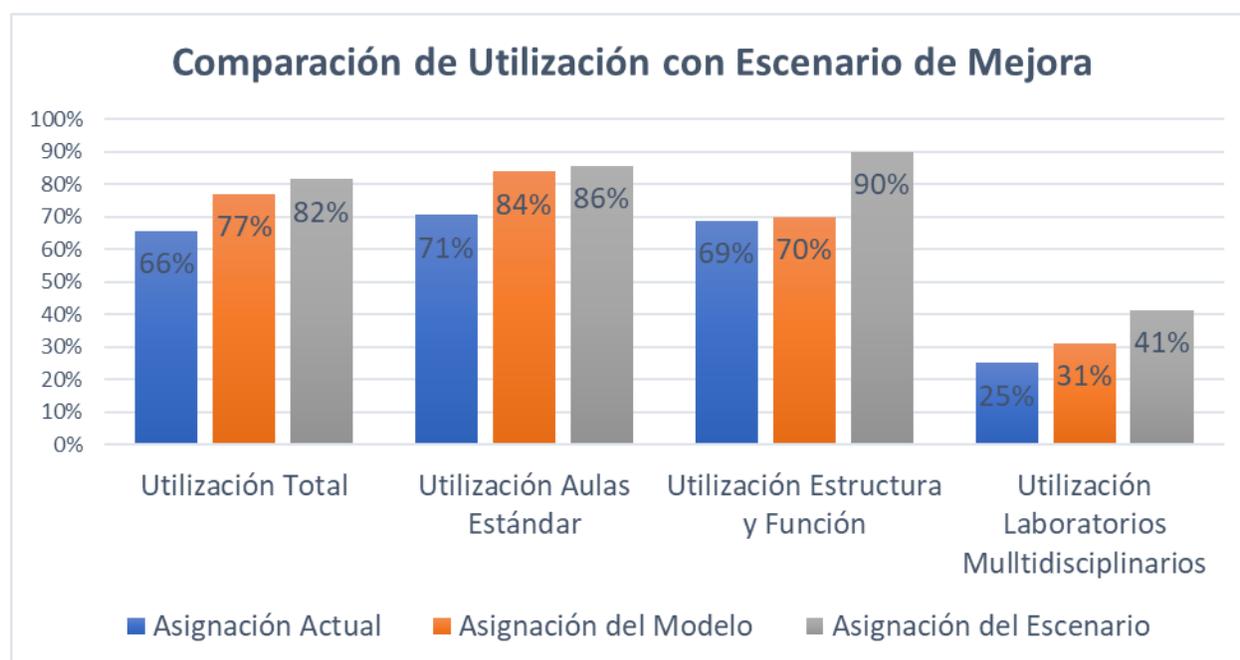


Ilustración 7-Comparación Utilización (Actual, Modelo, Escenario de Mejora)

Fuente: (Elaboración Propia)

Se puede observar una mejora del 5% en relación al modelo matemático con las restricciones actuales. Sin embargo, la mejora más grande se observa en las aulas de Estructura y Función, esto es debido a que actualmente algunas clases de este bloque de conocimiento tienen la opción de

ser impartida en aulas grandes estándar, por lo que si son asignadas en clases grandes deja vacía la clase de estructura y función. El escenario de mejora tomo como criterio restringir, en medida de lo posible, las clases de estructura y función que se pueden dar en clases estándar grandes y las propias de estructura y función, esto dio como resultado que se asignaran más clases a las aulas de estructura y función, y dio paso a que se pudieran programar otras clases en las aulas estándar grandes.

5.5 HERRAMIENTA PARA PROGRAMAR HORARIOS

5.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA

La herramienta fue desarrollada para automatizar el proceso de programación de horario en la FCS. Los modelos descritos anteriormente fueron construidos en hojas de cálculo de Microsoft Excel por lo que una vez que se obtuvo una solución factible general para todos los modelos se crearon macros para el posterior desarrollo de la herramienta, esta herramienta podrá ser utilizada por cualquier usuario sin tener conocimiento alguno de programación lineal, sin embargo, debe de estar familiarizado con la carrera de Medicina y Cirugía.

El usuario interactúa con una hoja en la que coloca las secciones que se necesitan y una vez que las macros se han corrido se presenta la respectiva ocupación de aulas.

5.5.1.1. *Supuestos*

Los supuestos considerados al crear la herramienta son con base a la información obtenida por parte de los coordinadores de los diversos bloques de conocimiento, estos son los siguientes:

- Los bloques horarios actuales de las materias no se verán alterados, por ejemplo, Química Médica I se seguirá dando en los bloques horarios de las 7:00, 8:30, 10:10 y 11:30 a.m.
- El plan de carrera no va a ser modificado en una proximidad cercana.
- La carga académica se mantendrá igual que los trimestres anteriores, es decir que las clases que duran 3 o 2 horas seguirán durando lo mismo.
- La disponibilidad de los docentes no cambiará de un trimestre a otro.
- La disponibilidad de las aulas permanecerá igual de un trimestre a otro, por ejemplo, Prácticas Médicas 1 siempre se dará en un aula pequeña.

5.5.2 INTERFAZ

En la hoja llamada "AsignarSecciones" se creó el interfaz para la herramienta de asignación. Su uso es relativamente simple y únicamente se requieren dos botones para poder usar la misma correctamente.

Lo primero que se debe realizar es ingresar la información respectiva en la columna de secciones, se deben de ingresar las secciones deseadas que se desean abrir para cada clase, así como los respectivos módulos de igual manera.

El interfaz cuenta con 2 botones, cada uno con una macro asignada, estos realizan las siguientes funciones:

- El botón de "Correr Modelos", como lo dice su nombre corre los modelos matemáticos localizados en el libro de Excel, estos modelos son programados en VB (referirse a la sección 5.3.5). Una vez que se terminan de correr los modelos se es presentada la ocupación de las aulas.
- El botón "Limpiar Datos" borra los datos colocados en las celdas de la columna de sección, así como también los módulos, se pueden realizar cambios en las secciones de manera manual sin ningún problema.

La herramienta obtiene la programación de horarios de todas las aulas en aproximadamente menos de un minuto. El hecho de que un modelo alimenta a otro ayuda que el modelo no tenga que analizar muchas variables.

Clases Trimestrales		Secciones
1	Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1
2	Psicología Médica	1
3	Agresión y Defensa	1
4	Morfología General	2
5	Fisiología General	1
6	Sistema Hematopoyético	1
7	Sistema Circulatorio	1
8	Sistema Respiratorio	1
9	Sistema Genitourinario	1
10	Sistema Endocrino	1
11	Sistema Tegumentario	1
12	Sistema Nervioso	1
13	Procesos Nutricionales y Metabólicos	1
14	Sistema Osteo-Mio-Articular	1
15	Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0
16	Terapéutica Integrada	1
17	Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1
18	Sistema Gastrointestinal	0
19	Química Médica I	1
20	Química Médica II	1
21	Procesos Biológicos I	1
22	Procesos Biológicos II	1
23	Física Médica	0
24	Biofísica	0
25	Genética	1
26	Microbiología e Inmunología	2
27	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2
28	Bioestadística	1
29	Gestión en servicios de salud	2
30	Farmacología General	2
31	Fisiopatología General	1
32	Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1
33	Clínica Integrada	1
Clases Modulares		Módulos
1	Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I	2
2	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	2
3	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	3
4	Salud del Adulto III Medicina Legal Salud Comunitaria Medicina Alternativa	1

Correr Modelos

Limpiar Datos

-Ingrese en la columna de secciones la cantidad de secciones y módulos que se desean abrir para cada clase.

-Tome en cuenta las limitaciones mencionadas en el manual de usuario.

-De click en el botón de "**Correr Modelos**" una vez que se hayan llenado los campos.

-Permita a la herramienta correr los modelos, al final se mostrara la ocupación de las aulas.

-Si desea cambiar los datos ingresados puede utilizar el botón de "**Limpiar Datos**". (Utilizar este botón borrará todos los datos ingresados anteriormente.)

Ilustración 8- Interfaz Herramienta de Asignación

VI. CONCLUSIONES

1. La cantidad de clases trimestrales equivalen 72% y las modulares el 28% de las 47 clases evaluadas en el modelo. Las clases trimestrales se pueden dividir en 3 tipos aquellas que tienen duración de 3 horas UNITEC, estas equivalen a un 15% de las clases trimestrales; duración de 2 horas UNITEC, equivalen a 47% de las clases trimestrales y las clases con duración de 1 hora UNITEC que equivalen al 38% de las clases trimestrales. De las clases trimestrales el 29% de clases llevan un laboratorio, estos laboratorios pueden durar de igual manera 3, 2 y 1 hora UNITEC, esto se divide en 80% para la duración de 3 y 2 horas UNITEC y 20% para 1 hora UNITEC. Debido a la información presentada anteriormente se decidió clasificar las clases en siete modelos diferentes.
2. Al comparar el modelo realizado con la asignación de clases actual, se logró validar que el modelo satisface las necesidades de las clases al poder encontrar soluciones factibles y mejorar la utilización, alcanzando una utilización 77%, representando una mejora del 16% en comparación a la programación manual utilizada actualmente.
3. Se desarrolló una herramienta de asignación, amigable con el usuario que puede ser utilizada por cualquier involucrado en la asignación de horarios de la Carrera de Medicina y Cirugía sin necesidad de conocer sobre PLE. La herramienta genera los horarios de las aulas en menos de un minuto, esto representa un porcentaje de mejora del 99.79% en comparación a la programación manual utilizada actualmente que equivale 480 minutos.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 RECOMENDACIONES PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. Debido a que los datos se recopilaron a través de un formato que fue llenado por diferentes personas encargadas de la asignación, se podría llenar el formato junto a estas personas para evitar ambigüedades en cada formato entregado.
2. Tomar un curso de Excel avanzado para poder realizar los modelos matemáticos haciendo uso de funciones y herramienta que faciliten la creación de este. De igual manera en caso de tener que realizar una herramienta en VBA, leer un manual instructivo y si es posible llevar un curso de este.
3. Crear modelos matemáticos pequeños para validar su funcionalidad en vez de crear modelos grandes que al final no puedan resolver el modelo, de esta manera se ahorra tiempo y se evita trabajar más de lo necesario.

7.2 RECOMENDACIONES FCS

1. Estandarizar en la medida de la posible los horarios de clases complejas como ser aquellas que se imparten todas las horas necesarias en un mismo día para facilitar la asignación de las clases, así como centralizar el flujo de información de la asignación de clases a un encargado específico para evitar ambigüedades y facilitar la resolución de problemas que se puedan generar.
2. Mantener el horario de las clases durante toda la semana, es decir, que la clase se de en un horario específico durante los días necesarios. En caso de necesitar que la clase se mueva de horario un día por alguna razón, realizar cambio manual y únicamente para esa ocasión.
3. Reuniones trimestrales entre encargados de bloques de conocimiento y personal encargado de la programación de horarios para discutir disponibilidad de horarios de clases, disponibilidad de maestros, disponibilidad de aulas, cambios en la carga académica y oportunidades de mejoras en el sistema actual.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

La presente investigación puede ser aplicada para mejorar los tiempos que se invierte cada trimestre en la programación de horarios de la carrera de Medicina y Cirugía. Ambos el modelo matemático y la herramienta de asignación solo pueden utilizarse para esta carrera, debido a que la información con la que se creó es de esta carrera únicamente. La herramienta y los modelos se pueden usar siempre y cuando la información de cada bloque de conocimiento no cambie, es decir que la disponibilidad de bloque horarios, docentes y aulas para una clase específica no cambie, en caso de que esto suceda se deberán de realizar cambios manuales al modelo matemático. Sin embargo, su implementación requiere de la aprobación de la encargada de programación de horarios de la FCS, por lo que el modelo y la herramienta todavía están sujetos a cambios.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO

La continuidad de la investigación se puede llevar a cabo mejorando cualquier inconformidad del modelo actual en caso de existir, así como también integrar a los modelos todas las carreras que existen en la actualidad en la FCS, para poder completar la herramienta de asignación, debido a que la docente encargada debe de programar manualmente las clases de las otras carreras.

En el caso de la herramienta existen diversas oportunidades de mejora, como ser programar la habilitación de más horarios o quitar horarios actuales en caso de ser necesario, sin necesidad de tener que hacer cambios manuales. Asimismo, presentar diferentes escenarios en donde el comportamiento de la clase las clases se estandarice y se cumplen con todos los requisitos necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhalim, E., & El Khayat, G. (2016). An information visibility-based university timetabling for efficient use of learning spaces (IVUT). *Egyptian Informatics Journal*, 315-325.
- Aguilar, O., & Carias, L. (Diciembre de 2019). Reuniones de trabajo. (J. S. Canahuati , & J. D. Ramírez, Entrevistadores)
- Beharry, L. (2015). Scheduling Algorithm with Excel via OpenSolver.org. *Computational Infrastructure for Operations Research*, 2-33.
- Beyrouthy, Burke, Landa-Silva, McCollum, McMullan, & Parkes. (2009). Towards improving the utilization of university teaching space. *Journal of the Operational Research Society*, 130-143.
- Cornejo Sánchez, C., & Mejía Puente, M. (2005). MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA MIXTA PARA EL PLANEAMIENTO DE LAS IMPORTACIONES EN RÉGIMEN ADUANERO DEFINITIVO. *Industrial Data*, 56-60.
- Correa, G., & Junqueira, F. (2013). Quantitative Modeling in Practice: Applying Optimization Techniques to a Brazilian Consumer Packaged Goods (CPG) Company Distribution Network Design (Technical Note). *Journal of Operations and Supply Chain Management* , 74-93.
- De Liñán Zofio, F. (1961). La programación lineal del trabajo administrativo. *Documentación Administrativa*, 25-30.
- Flores-Bazan, F. (2011). *Optimización Lineal: Una Mirada Introductoria*. Chile: J.C. Saéz Editor.
- Goltz, H., Kuchler, G., & Matzke, D. (1998). Constraint-based timetabling for universities. 1-6.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2015). *Investigación de Operaciones*. México : McGraw Hill.
- Kroon, L., Huisman, D., Abbink, E., Fioole, P.-J., Fischetti, M., Maróti, G., . . . Ybema, R. (2009). The new dutch timetable: the OR revolution. *Interfaces*, 6-17.
- Lemos, A., Melo, F., Monteiro, P., & Lynce, I. (2018). Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa. *Operations Research Perspectives*, 6.

- López-Cruz, O. (2015). Una solución basada en agentes al problema de generación de horarios. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 73-85.
- Marín Ángel, J. C., & Maya Duque, P. A. (2016). Modelo lineal para la programación de clases en una institución educativa. *Ingeniería y Ciencia*, 47-71.
- Martínez Salazar, I. A., Vértiz Camarón, G., López Pérez, J., Jiménez Lozano, G., & Moncayo Martínez, L. (2014). *Investigación de operaciones*. México D.F.: Grupo Editorial Patria.
- Mazon, A. (2007). OpenSolver. *OpenSolver [Software]*. Auckland, Nueva Zelanda: University of Auckland.
- Mora, W., & Espinoza, J. L. (Octubre de 2005). Programación Visual Basic (VBA) para Excel y Análisis Numérico. *Programación Visual Basic (VBA) para Excel y Análisis Numérico*. San José, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Moreno Villacis, M. D., & Pino Ávila, C. (2018). El arte del modelado para la enseñanza de la matemática en la carrera de administración de empresas y negocios. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 1-30.
- Moskowitz, H., & Wright, G. (1982). *Investigación de Operaciones*. México: Prentice Hall.
- Murillo, A., & Barahona, L. (2019). Herramienta para estructuración académica de las asignaturas de la carrera de licenciatura en gastronomía - UNITEC. *The 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"* (págs. 1-8). Tegucigalpa: Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.
- Murray, K., & Muller, T. (2006). Automated System for University Timetabling. *PATAT*, 536-541.
- Noguera, R. R., Posada, S. L., & Ortiz, D. M. (2011). Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 53-60.
- Ossé, A. (26 de Junio de 2008). La importancia del análisis cuantitativo . *El Mundo*, pág. 46.
- Prabodanie, R. (2016). An Integer Programming Model for a Complex University Timetabling Problem: A Case Study. *Industrial Engineering and Management Systems* , 141-153.

- Ruz, J. J. (s.f.). *Universidad Complutense Madrid*. Obtenido de <http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruz/MasterUned/Documentos%20en%20aLF/Tema%201.pdf>
- Salazar, B. (2016). *Ingeniería Industrial Online*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problemas-de-asignaci%C3%B3n/>
- Sarmiento-Lepesqueur, A., Torres-Ovalle, C., Quintero-Araújo, C., & Montoya-Torres, J. (2012). Programación y asignación de horarios de clases universitarias: un enfoque de programación entera. *LACCEI*, 1-10.
- Schittenhelm. (2010). Timetable Attractiveness Parameters. *WIT Transactions on the Built Environment*, 975-984.
- Silva, R., Cruz, R., Rincón, E., Mora, R., & Ponsich, A. (2014). Aplicación del método de composición musical al problema de asignación de unidades de enseñanza y aprendizaje. *Ingeniare: Revista chilena de ingeniería*, 292-299.
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. Fayetteville: Pearson.
- Thongsanit, K. (2013). Solving the course-classroom assignment problem for a university. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, 46-52.
- Varón Valencia, K., Orejuela Cabrera, J. P., & Manyoma Velásquez, P. C. (2015). Modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos. *Revista EIA*, 61-70.

ANEXOS

Anexo 1- Formato de recolección de información para clases trimestrales

Bloque de Conocimiento	Asignatura según plan académico (con su código)	Horarios en las que se puede impartir la asignatura	Días de la semana que se imparte la clase	Tipo de Aula en la que se debe impartir	Capacidad de aula (número de pupitres)	Comentarios adicionales de la asignatura

Fuente: Ing. Daniel Montenegro

Anexo 2- Formato de recolección de información para clases modulares

Bloque de Conocimiento	Asignatura según plan académico (con su código)	Modulos (en caso de existir)	Semana	Horario en la universidad	Duración (horas)	Días a la semana que se imparte la clase en la universidad	Tipo de Aula en la que se debe impartir	Capacidad de aula (número de pupitres)	Comentarios adicionales de la asignatura

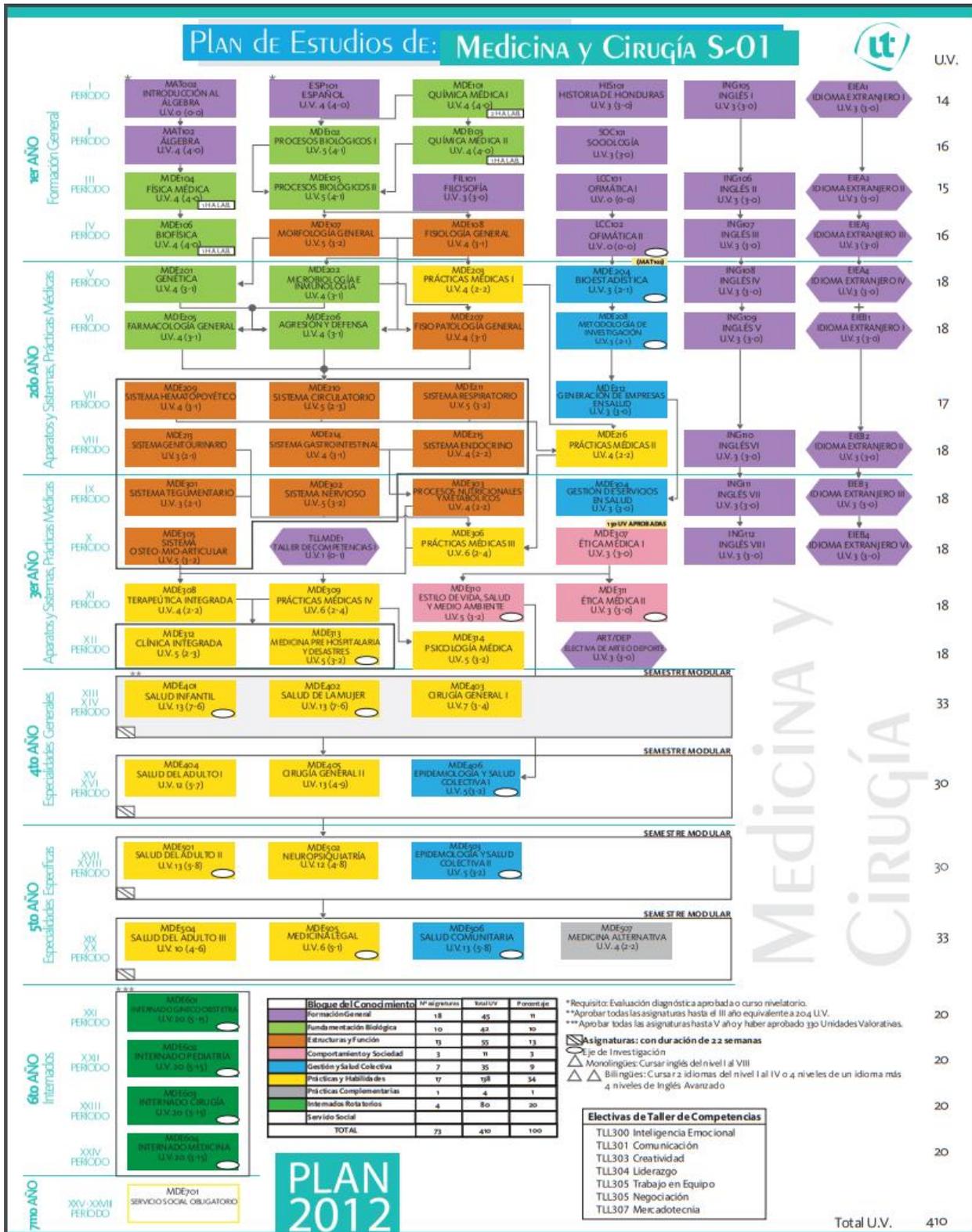
Fuente: Ing. Daniel Montenegro

Anexo 3- Mapa FCS



Fuente: FCS UNITEC

Anexo 4- Flujograma Medicina y Cirugía



Fuente: FCS UNITEC

Anexo 5- Tabla de datos recopilados

Registro de Conocimiento	Clase y código	Horarios en las que se puede impartir la asignatura	Días de la semana que se impartirá clase teórica	Duración de la clase teórica	Día en que se imparte Laboratorio	Duración de Laboratorio	Tipo de aula en la que se debe impartir (Laboratorio)	Tipo de aula en la que se debe impartir (Clase teórica)	Aula Grande o Pequeña	Secciones que se podrán abrir	Comentarios adicionales de la asignatura
Fundamentación Biología	Química Médica (UMD-101)	07:00 a.m.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	5	2 horas UNITEC (160 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a jueves) Laboratorio los viernes de 7:00 am a 12:50 pm Clase impartida por dos docentes (luna con horario de 7:00 a 8:00 pm y la otra de 7:00 a 11:30 am)
		08:30 a.m.									
		10:00 a.m.									
	Química Médica (UMD-103)	11:30 a.m.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	5	2 horas UNITEC (160 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	1	Clase teórica en aulas (lunes a jueves) Laboratorio los viernes de 7:00 am a 12:50 pm Clase impartida por dos docentes (luna con horario de 7:00 a 8:00 pm y la otra de 7:00 a 11:30 am)
		7:00 am.									
		8:30 am.									
	Procesos Biológicos (UMD-102)	10:00 am.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	1 o 2	3 horas UNITEC (240 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a jueves) Laboratorio los lunes o martes de 2:00 pm en adelante Clase impartida por 1 único docente
		11:30 am.									
		7:00 am.									
	Procesos Biológicos (UMD-105)	8:30 am.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	3 o 4	3 horas UNITEC (240 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a jueves) Laboratorio los viernes de 7:00 am a 12:50 pm en adelante Clase impartida por 2 docentes diferentes
		10:00 am.									
		11:30 am.									
Física Médica (UMD-104)	8:30 am.	1, 2, 3, 4, 5	1 hora UNITEC (80 Minutos)	1, 2, 3 o 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los lunes, mi o jueves en el mismo horario de la clase teórica Clase impartida por 2 docentes (uno disponible sobre 8:30 a 11:30 am y el otro a las 1:00 pm)	
	10:00 am.										
	1:00 pm.										
Biofísica (UMD-109)	8:30 am.	1, 2, 3, 4, 5	1 hora UNITEC (80 Minutos)	1, 2, 3 o 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los lunes, mi o jueves en el mismo horario de la clase teórica Clase impartida por 2 docentes (uno disponible sobre 8:30 a 11:30 am y el otro a las 1:00 pm)	
	10:00 am.										
	1:00 pm.										
Genética (UMD-201)	2:20 pm.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	5	3 horas UNITEC (240 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los viernes de 2:00 a 8:30 pm	
	3:40 pm.										
	7:00 am.										
Microbiología e Inmunología (UMD-302)	2:20 pm.	1, 2, 3, 4	1 hora UNITEC (80 Minutos)	2 o 3	3 horas UNITEC (240 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los viernes de 2:00 a 8:30 pm Clase impartida por 2 docentes (uno disponible sobre 2:00 a 8:30 pm y la otra de 2:20 pm en adelante)	
	3:40 pm.										
	10:00 am.										
Farmacología General (UMD-303)	11:30 am.	2, 3, 4, 5	1 hora UNITEC (80 Minutos)	1	2 horas UNITEC (160 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	2	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los viernes Clase impartida por 1 único docente	
	1:00 pm.										
	7:00 am.										
Agresión y Defensa (UMD-206)	7:00 am.	1, 2	2 horas UNITEC (160 Minutos)	3	2 horas UNITEC (160 Minutos)	Multidisciplinario	Estándar	Grande	1	Clase teórica en aulas (lunes a viernes) Laboratorio los viernes Clase impartida por 1 único docente	

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 6- Horario Aula 103

AULA 103						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Agresión y Defensa	Agresión y Defensa				
8:30-9:50	Agresión y Defensa	Agresión y Defensa				
10:10-11:30	Procesos Biologicos II	Procesos Biologicos II	Procesos Biologicos II	Procesos Biologicos II		
11:30-12:50	Quimica Medica I	Quimica Medica I	Quimica Medica I	Quimica Medica I		
1:00-2:20		Farmacología General	Farmacología General	Farmacología General	Farmacología General	
2:20-3:40	Sistema Genitourinario	Sistema Genitourinario	Sistema Genitourinario			
3:40-5:00	Sistema Genitourinario	Sistema Genitourinario				
5:00-6:30	Gestión en servicios de salud					

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 7- Horario Aula 104

AULA 104						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
8:30-9:50	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
10:10-11:30	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
11:30-12:50	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
1:00-2:20	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
2:20-3:40	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	
3:40-5:00	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	
5:00-6:30	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 8- Horario Aula EYF2

ESTRUCTURA Y FUNCIÓN 2						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Morfología General	Morfología General	Morfología General	Morfología General	Morfología General	
8:30-9:50	Morfología General	Morfología General	Morfología General	Morfología General		
10:10-11:30	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	
11:30-12:50	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio	Sistema Circulatorio		
1:00-2:20						
2:20-3:40		Fisiopatología General	Fisiopatología General	Fisiopatología General	Fisiopatología General	
3:40-5:00	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	
5:00-6:30	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio	Sistema Respiratorio		

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 9- Horario LM2

LAB MULTIDISCIPLINARIO 2						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20						
8:30-9:50						
10:10-11:30					Química Medica II	
11:30-12:50	Farmacología				Química Medica II	
1:00-2:20	Farmacología					
2:20-3:40		Microbiología e Inmunología				
3:40-5:00		Microbiología e Inmunología				
5:00-6:30		Microbiología e Inmunología				

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 10- Horario Aula 202

AULA 202						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
8:30-10:10	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
10:10-11:30	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
11:30-12:50	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
1:00-2:20	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva
2:20-3:40	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	
3:40-5:00	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	
5:00-6:30	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 11- Horario Aula 203

AULA 203						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada		
8:30-9:50	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada	Terapéutica Integrada		
10:10-11:30	Sistema Tegumentario	Sistema Tegumentario	Sistema Tegumentario			
11:30-12:50	Sistema Tegumentario	Sistema Tegumentario				
1:00-2:20	Bioestadística	Bioestadística	Bioestadística	Bioestadística	Bioestadística	
2:20-3:40	Genética	Genética	Genética	Genética		
3:40-5:00	Sistema Osteo-Mio-Articular					
5:00-6:30	Sistema Osteo-Mio-Articular	Sistema Osteo-Mio-Articular	Sistema Osteo-Mio-Articular	Sistema Osteo-Mio-Articular		

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 12- Horario Aula 204

AULA 204						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Sistema Hematopoyetico	Sistema Hematopoyetico	Sistema Hematopoyetico			
8:30-9:50	Sistema Hematopoyetico	Sistema Hematopoyetico				
10:10-11:30	Quimica Medica II	Quimica Medica II	Quimica Medica II	Quimica Medica II		
11:30-12:50	Procesos Biologicos I	Procesos Biologicos I	Procesos Biologicos I	Procesos Biologicos I		
1:00-2:20	Psicologia Médica	Psicología Médica	Psicología Médica	Prácticas Médicas 2	Prácticas Médicas 2	
2:20-3:40	Psicologia Médica	Psicología Médica	Psicología Médica	Prácticas Médicas 2	Prácticas Médicas 2	
3:40-5:00	Psicologia Médica	Psicología Médica	Psicología Médica	Prácticas Médicas 2	Prácticas Médicas 2	
5:00-6:30	Psicologia Médica	Psicología Médica	Psicología Médica			

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 13- Horario Aula 301

AULA 301						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II
8:30-9:50	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II
10:10-11:30	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II
11:30-12:50	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II
1:00-2:20	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II
2:20-3:40	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	
3:40-5:00	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	
5:00-6:30	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 14- Horario Aula 302

AULA 302						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20	Prácticas Médicas 3 (SOLO 1 SECCION)					
8:30-9:50	Prácticas Médicas 3 (SOLO 1 SECCION)					
10:10-11:30	Prácticas Médicas 3 (SOLO 1 SECCION)					
11:30-12:50	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente					
1:00-2:20				Clínica Integrada	Clínica Integrada	
2:20-3:40				Clínica Integrada	Clínica Integrada	
3:40-5:00				Clínica Integrada	Clínica Integrada	
5:00-6:30						

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 15- Horario Aula 303

AULA 303						
HORA/DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
7:00-8:20						
8:30-9:50		Prácticas Médicas 1	Prácticas Médicas 1			
10:10-11:30		Prácticas Médicas 1	Prácticas Médicas 1			
11:30-12:50	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente					
1:00-2:20						
2:20-3:40						
3:40-5:00						
5:00-6:30						

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 21- Código Modelo Lunes y Martes 3 horas

```

(General)
ModeloLuMa3

Sub ModeloLuMa3()
    Sheets("LUNESMARTES3HR").Select
    Dim ModeloLuMa3 As Worksheet
    Set ModeloLuMa3 = Sheets("LUNESMARTES3HR")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloLuMa3.Cells(7, 4), Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloLuMa3.Range(Cells(2, 4), Cells(3, 9)), Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa3.Range(Cells(2, 4), Cells(3, 9)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa3.Range(Cells(2, 4), Cells(3, 9)), RelationLE, ModeloLuMa3.Range(Cells(10, 4), Cells(11, 9)), , Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa3.Range(Cells(5, 4), Cells(5, 9)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa3.Range(Cells(2, 10), Cells(3, 10)), RelationEQ, ModeloLuMa3.Range(Cells(2, 3), Cells(3, 3)), , Sheet:=ModeloLuMa3
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloLuMa3
    Sheets("LUNESMARTES3HR").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 20-Código Modelo Lunes y Martes 1 hora

```

(General)
ModeloLuMa1

Sub ModeloLuMa1()
    Sheets("LUNESMARTES1HR").Select
    Dim ModeloLuMa1 As Worksheet
    Set ModeloLuMa1 = Sheets("LUNESMARTES1HR")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloLuMa1.Cells(37, 4), Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloLuMa1.Range(Cells(2, 4), Cells(32, 67)), Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa1.Range(Cells(2, 4), Cells(32, 67)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa1.Range(Cells(20, 4), Cells(32, 67)), RelationLE, ModeloLuMa1.Range(Cells(59, 4), Cells(71, 67)), , Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa1.Range(Cells(35, 4), Cells(35, 67)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa1.Range(Cells(20, 69), Cells(32, 69)), RelationEQ, ModeloLuMa1.Range(Cells(20, 3), Cells(32, 3)), , Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLuMa1.Range(Cells(2, 4), Cells(19, 67)), RelationEQ, ModeloLuMa1.Range(Cells(41, 4), Cells(58, 67)), , Sheet:=ModeloLuMa1
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloLuMa1
    Sheets("LUNESMARTES1HR").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 22- Código Modelo Jueves

```

(General)
ModeloJu

Sub ModeloJu()
    Sheets("JUEVES").Select
    Dim ModeloJu As Worksheet
    Set ModeloJu = Sheets("JUEVES")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloJu.Cells(8, 74), Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloJu.Range(Cells(2, 74), Cells(4, 79)), Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.AddConstraint ModeloJu.Range(Cells(2, 74), Cells(4, 79)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.AddConstraint ModeloJu.Range(Cells(3, 74), Cells(4, 79)), RelationLE, ModeloJu.Range(Cells(3, 86), Cells(4, 91)), , Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.AddConstraint ModeloJu.Range(Cells(6, 74), Cells(6, 79)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.AddConstraint ModeloJu.Range(Cells(2, 74), Cells(2, 79)), RelationEQ, ModeloJu.Range(Cells(2, 86), Cells(2, 91)), , Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.AddConstraint ModeloJu.Range(Cells(3, 80), Cells(4, 80)), RelationEQ, ModeloJu.Range(Cells(3, 73), Cells(4, 73)), , Sheet:=ModeloJu
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloJu
    Sheets("JUEVES").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 24- Código Modelo Laboratorios Multidisciplinarios 2 y 3 horas

```

(General)
ModeloLM23

Sub ModeloLM23 ()
    Sheets("LMD23HR").Select
    Dim ModeloLM23 As Worksheet
    Set ModeloLM23 = Sheets("LMD23HR")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloLM23.Cells(15, 4), Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloLM23.Range(Cells(3, 4), Cells(10, 23)), Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM23.Range(Cells(3, 4), Cells(10, 23)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM23.Range(Cells(3, 4), Cells(10, 23)), RelationLE, ModeloLM23.Range(Cells(19, 4), Cells(26, 23)), , Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM23.Range(Cells(12, 4), Cells(12, 23)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM23.Range(Cells(13, 10), Cells(13, 11)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM23.Range(Cells(3, 25), Cells(10, 25)), RelationEQ, ModeloLM23.Range(Cells(3, 3), Cells(10, 3)), , Sheet:=ModeloLM23
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloLM23
    Sheets("LMD23HR").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 23- Código Modelo Laboratorios Multidisciplinarios 1 hora

```

(General)
ModeloLM1

Sub ModeloLM1 ()
    Sheets("LMD1HR").Select
    Dim ModeloLM1 As Worksheet
    Set ModeloLM1 = Sheets("LMD1HR")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloLM1.Cells(15, 4), Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloLM1.Range(Cells(2, 4), Cells(11, 69)), Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM1.Range(Cells(2, 4), Cells(11, 69)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM1.Range(Cells(10, 4), Cells(11, 69)), RelationLE, ModeloLM1.Range(Cells(28, 4), Cells(29, 69)), , Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM1.Range(Cells(13, 4), Cells(13, 69)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM1.Range(Cells(10, 70), Cells(11, 70)), RelationEQ, ModeloLM1.Range(Cells(10, 3), Cells(11, 3)), , Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.AddConstraint ModeloLM1.Range(Cells(2, 4), Cells(9, 69)), RelationEQ, ModeloLM1.Range(Cells(20, 4), Cells(27, 69)), , Sheet:=ModeloLM1
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloLM1
    Sheets("LMD1HR").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 25- Código Modelo Modulares

```

(General)
ModeloMod

Sub ModeloMod ()
    Sheets("MODULARES").Select
    Dim ModeloMod As Worksheet
    Set ModeloMod = Sheets("MODULARES")
    OpenSolver.ResetModel Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ModeloMod.Cells(9, 3), Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.SetDecisionVariables ModeloMod.Range(Cells(3, 4), Cells(6, 11)), Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.AddConstraint ModeloMod.Range(Cells(3, 4), Cells(3, 11)), RelationBIN, , Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.AddConstraint ModeloMod.Range(Cells(3, 4), Cells(6, 11)), RelationLE, ModeloMod.Range(Cells(12, 4), Cells(15, 11)), , Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.AddConstraint ModeloMod.Range(Cells(7, 4), Cells(7, 11)), RelationLE, , 1, Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.AddConstraint ModeloMod.Range(Cells(3, 13), Cells(6, 13)), RelationEQ, ModeloMod.Range(Cells(3, 3), Cells(6, 3)), , Sheet:=ModeloMod
    OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=ModeloMod
    Sheets("MODULARES").Select
End Sub

```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 26-Código Macro "Correr Modelos"

```
(General) CorrerModelos
Sub CorrerModelos()
ModeloLuMa3
ModeloLuMa2
ModeloLuMa1
ModeloJu
ModeloLM23
ModeloLM1
ModeloMod
Sheets("HORARIOSAULAS").Select
End Sub
```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 27- Código Macro "Limpiar Datos"

```
(General) LD
Sub LD()
' LD Macro
'
'
Range("C2:C34").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=9
Range("C2:C34,C36:C39").Select
Range("C36").Activate
Selection.ClearContents
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-24
Range("C2").Select
End Sub
```

Fuente: (Elaboración Propia)

Anexo 28- Manual de uso: Herramienta de asignación para la Carrera de Medicina y Cirugía, UNITEC

Paso 1: Abrir el documento de Excel "Herramienta de asignación para la Carrera de Medicina y Cirugía, UNITEC".

Paso 2: Buscar la hoja "AsignarSecciones" dentro del documento. En caso de ya encontrarse en esa hoja, continuar al **Paso 3**.

Hoja "Asignar Secciones"

Correr Modelos

Limpiar Datos

-Ingrese en la columna de secciones la cantidad de secciones y módulos que se desean abrir para cada clase.
-Tome en cuenta las limitaciones mencionadas en el manual de usuario.
-De click en el botón de "Correr Modelos" una vez que se hayan llenado los campos.
-Permita a la herramienta correr los modelos, al final se mostrará la ocupación de las aulas.
-Si desea cambiar los datos ingresados puede utilizar el botón de "Limpiar Datos". (Utilizar este botón borrar todos los datos ingresados anteriormente.)

Paso 3: Llenar la columna de "Secciones" y "Módulos" con la información requerida. Si desea borrar los datos colocados anteriormente puede utilizar el botón "Limpiar Datos" o hacerlo de manera manual. Al ingresar los datos, las celdas pueden ir cambiando de color dependiendo el número que se haya ingresado. Las celdas pueden tomar los colores verde o amarillo. Si todas las celdas están en color verde significa que el modelo va a correr sin problema. Si hay una o más celdas en amarillo significa que es probable que los datos ingresados imposibiliten la resolución del modelo ya que se verá sobre restringido y si el modelo devuelve error se deberán reducir los números de estas celdas amarillas.

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Complementos Acrobat Excel QM ¿Qué desea hacer?

Cortar Copiar Copiar formato Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos

Calibri 11 A A Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Normal Bueno Celda de co... Celda vincul...

140 X ✓ fx

Clases Trimestrales		Secciones
1	Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1
2	Psicología Médica	1
3	Agresión y Defensa	1
4	Morfología General	2
5	Fisiología General	1
6	Sistema Hematopoyetico	1
7	Sistema Circulatorio	1
8	Sistema Respiratorio	1
9	Sistema Genitourinario	1
10	Sistema Endocrino	1
11	Sistema Tegumentario	1
12	Sistema Nervioso	1
13	Procesos Nutricionales y Metabólicos	1
14	Sistema Osteo-Mio-Articular	1
15	Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0
16	Terapéutica Integrada	1
17	Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1
18	Sistema Gastrointestinal	0
19	Química Médica I	1
20	Química Médica II	1
21	Procesos Biológicos I	1
22	Procesos Biológicos II	1
23	Física Médica	0
24	Biología	0
25	Genética	1
26	Microbiología e Inmunología	2
27	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2
28	Bioestadística	1
29	Gestión en servicios de salud	2
30	Farmacología General	2
31	Fisiopatología General	1
32	Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1
33	Clinica Integrada	1
34		
Clases Modulares		Módulos
35		
36	1 Salud Infantil Salud de la Mujer Cirugía General I	2
37	2 Salud del Adulto I Cirugía General II Epidemiología y Salud Colectiva	2
38	3 Salud del Adulto II Neuropsiquiatría Epidemiología y Salud Colectiva II	3
39	4 Salud del Adulto III Medicina Legal Medicina Alternativa Comunitaria	1
40		
41		
42		
43		

Correr Modelos

Limpiar Datos

Secciones

Módulos

Botón "Limpiar Datos"

-Ingrese en la columna de secciones la cantidad de secciones y módulos que se desean abrir para cada clase.
 -Tome en cuenta las limitaciones mencionadas en el manual de usuario.
 -De click en el botón de "Correr Modelos" una vez que se hayan llenado los campos.
 -Permita a la herramienta correr los modelos, al final se mostrara la ocupación de las aulas.
 -Si desea cambiar los datos ingresados puede utilizar el botón de "Limpiar Datos". (Utilizar este botón borrará todos los datos ingresados anteriormente.)

AsignarSecciones HORARIOS AULAS LUNESMARTES3HR LUNESMARTES2HR LUNESMARTES1HR JUEVES LUNES (SIN MODELO) MARTES ...

Listo

Si hay una celda en amarillo no necesariamente significará que el modelo no obtendrá una respuesta, sin embargo, son las que más probabilidad tienen de causar errores. Por ejemplo:

	Clases Trimestrales	Secciones
1	Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1
2	Psicología Médica	1
3	Agresión y Defensa	1
4	Morfología General	2
5	Fisiología General	1
6	Sistema Hematopoyetico	1
7	Sistema Circulatorio	1
8	Sistema Respiratorio	1
9	Sistema Genitourinario	1
10	Sistema Endocrino	1
11	Sistema Tegumentario	1
12	Sistema Nervioso	1
13	Procesos Nutricionales y Metabólicos	1
14	Sistema Osteo-Mio-Articular	1
15	Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0
16	Terapéutica Integrada	1
17	Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1
18	Sistema Gastrointestinal	0
19	Química Médica I	1
20	Química Médica II	1
21	Procesos Biológicos I	1
22	Procesos Biológicos II	1
23	Física Médica	0
24	Biofísica	0
25	Genética	1
26	Microbiología e Inmunología	2
27	Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2
28	Bioestadística	1
29	Gestión en servicios de salud	2
30	Farmacología General	2
31	Fisiopatología General	1
32	Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1
33	Clínica Integrada	1

En la imagen anterior, podemos ver un caso de una configuración de secciones donde hay dos de color amarillo, pero al correrlo obtendríamos una respuesta válida.

Paso 4: Revisar que la cantidad de secciones y módulos sean los correctos.

Paso 5: Hacer clic en el botón de Correr Modelo. Al hacer clic en este botón los modelos se correrán, es posible que Excel parezca que tiene un error, sin embargo, solo son los modelos corriendo. No realizar ninguna acción en Excel después de tocar el botón, una vez que se hayan corrido los modelos automáticamente será redirigido a la ocupación de las aulas.

	Clases Trimestrales	Secciones
1		
2	1 Prácticas Médicas 3 (Solo una sección)	1
3	2 Psicología Médica	1
4	3 Agresión y Defensa	1
5	4 Morfología General	2
6	5 Fisiología General	1
7	6 Sistema Hematopoyético	1
8	7 Sistema Circulatorio	1
9	8 Sistema Respiratorio	1
10	9 Sistema Genitourinario	1
11	10 Sistema Endocrino	1
12	11 Sistema Tegumentario	1
13	12 Sistema Nervioso	1
14	13 Procesos Nutricionales y Metabólicos	1
15	14 Sistema Osteo-Mio-Articular	1
16	15 Prácticas Médicas 4 (Solo una sección)	0
17	16 Terapéutica Integrada	1
18	17 Prácticas Médicas 1 (Solo una sección)	1
19	18 Sistema Gastrointestinal	0
20	19 Química Médica I	1
21	20 Química Médica II	1
22	21 Procesos Biológicos I	1
23	22 Procesos Biológicos II	1
24	23 Física Médica	0
25	24 Biofísica	0
26	25 Genética	1
27	26 Microbiología e Inmunología	2
28	27 Estilo de Vida, Salud y Medio Ambiente	2
29	28 Bioestadística	1
30	29 Gestión en servicios de salud	2
31	30 Farmacología General	2
32	31 Fisiopatología General	1
33	32 Prácticas Médicas 2 (Solo una sección)	1
34	33 Clínica Integrada	1

Botón "Correr Modelo"



-Ingrese en la columna de secciones la cantidad de secciones y módulos que se desean abrir para cada clase.

-Tome en cuenta las limitaciones mencionadas en el manual de usuario.

-De click en el botón de **"Correr Modelos"** una vez que se hayan llenado los campos.

-Permita a la herramienta correr los modelos, al final se mostrara la ocupación de las aulas.

-Si desea cambiar los datos ingresados puede utilizar el botón de **"Limpiar Datos"**. (Utilizar este botón borrará todos los datos ingresados anteriormente.)

En caso de que la asignación deseada no sea compatible con el modelo, recibirá mensajes de error, en este caso de clic en "OK" todas las veces que el mensaje aparezca y vuelva al **Paso 2**.

Paso 6: Validar la ocupación y realizar cualquier adición necesaria de manera manual, no editar nada de los horarios ya propuestos para evitar problemas cuando se utilice la herramienta en el futuro.

Paso 7: Repetir los pasos del 1-6 cada vez que desee obtener la programación de horarios para un grado en particular.