18

MODELO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

PARA LA PROGRAMACIÓN ÓPTIMA DE LOS HORARIOS DE CLASE EN LAS CARRERAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

ISSN: 2631-2662

Fecha de presentación: mayo, 2019 **Fecha de aceptación:** julio, 2019 **Fecha de publicación:** septiembre, 2019

MODELO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

PARA LA PROGRAMACIÓN ÓPTIMA DE LOS HORARIOS DE CLASE EN LAS CARRERAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

OPERATIONAL RESEARCH MODEL FOR THE OPTIMAL PROGRAMMING OF CLASS SCHEDULES IN THE CAREERS OF THE FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF MACHALA

Bladimir Homero Serrano Rugel[1]
E-mail: bserrano@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6859-5563
Víctor Javier Garzón Montealegre[1]
E-mail: vgarzon@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4838-4202
Alexis González Macas[1]
E-mail: agonzalez@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8192-5934
Víctor Manuel Trujillo Vásquez[1]
E-mail: vtrujillo@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3169-3888
[1] Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Serrano Rugel, B. H., Garzón Montealegre, V. J., González Macas, A., & Trujillo Vásquez, V. M. (2019). Modelo de investigación operativa para la programación óptima de los horarios de clase en las carreras de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2(3), 141-148. Recuperado de http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA

RESUMEN

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), al inicio de cada periodo académico, se presentan problemas con la implementación de los horarios programados por las coordinaciones académicas de las Carreras de Ingeniería Acuícola, Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria, estos problemas tienen que ver con insuficiencia de aulas, programación de asignaturas en aulas que no cumplen con las características tanto de tipo técnico como también de tipo pedagógico y además el problema del cruce de horarios, en este artículo fue posible resolver este problema mediante la formulación de un modelo matemático basado en los modelos de Programación Lineal en los que se sustenta la Investigación Operativa.

Palabras clave: Modelo Matemático, programación lineal, optimización, programación de horarios, hojas de cálculo.

ABSTRACT

In the Faculty of Agricultural Sciences (FCA) of the Technical University of Machala (UTMACH), at the beginning of each academic period, there are problems with the implementation of the schedules programmed by the academic coordination of the Careers of Aquaculture Engineering, Agricultural Engineering and Veterinary Medicine, these problems have to do with inadequacy of classrooms, programming of subjects in classrooms that do not meet the characteristics of both technical and pedagogical type and also the problem of the crossing of schedules, in this article it was possible to solve this problem by formulating a mathematical model based on the Linear Programming models on which Operational Research is based.

Keywords: Mathematical model, linear programming, optimization, schedule programming, spreadsheets.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), está conformada por las carreras de Ingeniería Acuícola, Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria, esta unidad académica cuenta con tres bloques de aulas, que son utilizados para dictar las diferentes asignaturas de cada carrera, en las carreas de Medicina Veterinaria, Ingeniería Agronómica e ingeniería Acuícola existen asignaturas de tipo experimental que requieren de horas de laboratorio, para completar el componente de prácticas y de esta forma cubrir esta necesidad, además FCA cuenta con Laboratorios para el análisis de suelos, Microbiología, Química, Sanidad Vegetal, Anatomía, Microscopía, Citogenética, Biotecnología, Maricultura, Plancton e Hidráulica, también cuenta con tres salas de computación y una sala de idiomas. Al inicio de cada ciclo académico se presenta el problema de cruce de horarios esto causa malestar tanto en docentes como estudiantes, además los laboratorios antes citados también funcionan como aulas de clase, siendo utilizados para dictar asignaturas que no son afines a los mismos y en muchos casos ni siquiera cuentan con el componente de prácticas de laboratorio por otro lado la capacidad de los laboratorios que da excedida ya que existen asignaturas que tiene matriculados más de 30 estudiantes. El objetivo de este trabajo es buscar una solución matemática al problema, haciendo uso exclusivo de los modelos de programación lineal para optimizar la asignación de salones de clase a cada una de las asignaturas que son cursadas por los estudiantes de las tres carreras de la FCA, satisfaciendo un conjunto de restricciones que se debemos definir de forma precisa.

Un modelo matemático es una representación cuantitativa, o idealización, de un problema real, esta representación puede ser expresada en términos de expresiones matemáticas (ecuaciones o desigualdades) o como una serie de celdas interrelacionadas en una hoja de cálculo (Winston, 2015). Los modelos matemáticos se pueden clasificar en determinísticos y estocásticos dependiendo de la incertidumbre en las variables que identifican el proceso (Chejne, 2016).

Los modelos determinísticos permiten una predicción exacta con base en ecuaciones cuya solución es precisa y sin lugar a incertidumbre; contrario a lo estocásticos, en los cuales el nivel de incertidumbre es alto y lo que se predice es la probabilidad de ocurrencia de eventos (Chejne, 2016).

Pasos para Diseñar un Modelo

En el texto de Winston (2015), se especifican siete pasos para obtener cualquier moldeo de programación lineal, *definición del problema, recopilación de los datos, Desarrollo del modelo, verificación del modelo, optimización y toma de decisiones, socialización del modelo, implementación del modelo.*

Taha (2017), define cinco pasos para obtener un modelo de programación lineal, *definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, validación del modelo, implementación de la solución.*

Tornos (2016), plantea cuatro pasos para obtener un modelo de programación lineal, *definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, presentación/implementación resultados.*

González Ariza (2015), establece pasos para formular un modelo de programación lineal, compresión del problema, formulación de las variables de decisión, formulación de la función objetivo, planteamiento de las restricciones, formulación de condiciones de no negatividad.

Los pasos para diseñar un modelo según el epígrafe anterior difieren simplemente en la forma de enunciarlos, pero podemos notar que en esencia todos poseen, los cinco pasos, *definición del problema,* c*onstrucción del modelo, solución del modelo, validación del modelo, implementación de la solución*, en el diseño de nuestro modelo nos regiremos por los pasos citados por Taha (2017), por presentar un esquema más completo de las fases del diseño de modelos matemáticos.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo fue desarrollado a partir del diseño e implementación de un modelo matemático sustentado en los modelos de Investigación Operativa consistente en un modelo de Programación Lineal de tipo entero-binario para su implementación se utilizó la programación de hojas de cálculo en Excel Solver 2016 con el objetivo de optimizar la disponibilidad de los salones de clase de la FCA.

Para definir el problema, debemos especificar los objetivos del estudio y analizar las partes del sistema antes de obtener una posible solución (Winston, 2015).

Al inicio de cada periodo académico en la UACA, experimentamos con el problema de cruce de horarios, es decir se destina un salón de clases para más de una asignatura, además en los laboratorios se dictan asignaturas que no poseen horas dedicadas a prácticas de laboratorio, las aulas de computo no son la excepción, podría pensarse que al estar bien equipadas podría dictarse cualquier asignatura, esto no puede darse en términos de optimización, ya que deberían considerarse las características que poseen las asignaturas para lograr una asignación sistemática de asignaturas a salones de clase, para citar un ejemplo, la asignatura de Métodos Numéricos tiene un componente de prácticas de laboratorio computacional, en el horario actual posee una carga horaria de 5 horas de 7:30 am, a 12:30 pm los días martes, las tres primeras horas están programadas en la sala de computo 2, hasta las 10:30 am, las dos últimas horas están programadas en el laboratorio de Sanidad vegetal Ambiente 1, en realidad esto representa un problema ya que debería optimizarse la disponibilidad de los laboratorios según las características de las asignaturas, lo correcto sería destinar las tres primeras horas de la asignatura de Métodos numéricos a una aula de clase convencional, para tratar la parte teórica de un tema en especial y las horas restantes deberían estar programadas en una sala de cómputo, para desarrollar sus prácticas computacionales, en la tabla 1 podemos observar que se han programado dos horas en el laboratorio de Sanidad Vegetal Ambiente 1, para Métodos Numéricos, además es fácil darse cuenta que no se está optimizando la disponibilidad de este laboratorio, los días lunes y viernes.

Tabla 1. Horarios de clase del Semestre octubre 2017-febrero 2018 FCA.

SANIDAD VEGETAL AMB. 1

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07H30-08H30		ENTOLOGIA APLICAD 6A ING. AGRONOMICA		6A ACUICOLA	
08H30-9H30					
09H30-10H30			ADM. GRANJAS 6A VETERINARIA	OPTATIVA V 9A ACUACULTURA	
10H30-11H30		METODOS NUMERICOS 3B ING.			
11H30-12H30					
12H30-13H00	RECESO				
13H00-14H00			CERT. AGROPECUARIA 7A VETERINARIA	ENTOMOLOGIA APLICADA 6B ING. AGRONOMICA	
14H00-15H00	SANIDAD VEGETAL 6A ACUACULTURA				
15H00-16H00					

Objetivo del Modelo

Diseñar un modelo de programación lineal entero binario, mediante la programación de hojas de cálculo utilizando el software Excel 2016, para asignar a cada una de asignaturas de las carreras de la FCA, un salón de clases que cumpla con las características técnicas y pedagógicas de cada asignatura y que además optimice al máximo la disponibilidad de los salones de clase.

Recolección de los Datos

El sistema está conformado por tres carreras, en la carrera de Ingeniería en Agronomía, existe 57 asignaturas, en las carreras de Ingeniería Acuícola y Medina Veterinaria, el número de asignaturas asciende a 59. En esta Unidad Académica, existen 29 salones de clase, cada uno de ellos con una capacidad que varía entre 20 y 30 estudiantes, la información referente a los laboratorios y su capacidad se puede visualizar en la tabla 2.

Tabla 2. Rediseño de carreras 2017 FCA.

Sala de Cátedra	Capacidad	Carrera de Ingeniería Agronómica	Carrera de Ingeniería Acuícola	Carrera de Medicina Veterinaria
Laboratorio Suelos	30	✓		
Laboratorio Fitopatología	20	✓		
Laboratorio Química	25	✓		
Laboratorio Sanidad Vegetal	25	✓		
Laboratorio Biotecnología	15	✓		
Laboratorio Biología Ambiente I	15	✓		
Laboratorio Biología Ambiente I	15	✓		
Laboratorio Botánica	15	✓		
Laboratorio Microscopía	18		✓	
Laboratorio Maricultura y Plancton	30		✓	
Laboratorio Citogenética	15		✓	
Laboratorio Cito histopatología y Embriología	15			✓
Laboratorio Anatomía	20			✓
Laboratorio Parasitología	15			✓
Laboratorio Microbiología e Histología	15			✓
Sala de computo I	26	✓	✓	✓
Sala de computo II	26	✓	✓	✓

Otro insumo de vital importancia para el desarrollo del modelo lo constituyen los bloques de aulas y su capacidad, la descripción detallada de estos espacios y su capacidad, la podemos observar en la tabla 3

Tabla 3. Detalle de bloques de salones de clase disponibles en la FCA.

BLOQUE 1		BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4		
LUGAR	Nº ESTD	LAB.	LUGAR	Nº ESTD	AULA	LUGAR	Nº ESTD	AULA	LUGAR	Nº ESTD
PLANTA BAJA	30		PLANTA BAJA	30	101	PLANTA BAJA	30	102	PLANTA BAJA	20
PLANTA BAJA	30		PLANTA BAJA	30	102	PLANTA BAJA	30	103	PLANTA BAJA	20
PLANTA BAJA	30		PLANTA BAJA	30	103	PLANTA BAJA	50	105	PLANTA BAJA	25
PLANTA BAJA	30		PLANTA BAJA	30	104	PLANTA BAJA	35	SALA IDIOMAS	PLANTA BAJA	
PLANTA BAJA	30		PLANTA BAJA	30	105	PLANTA BAJA	55	AULA VIRTUAL	PLANTA BAJA	19
LUGAR	Nº ESTD	LAB.	LUGAR	Nº ESTD	AULA	LUGAR	Nº ESTD	LAB.	LUGAR	Nº ESTD
1 PISO ALTO	35		1 PISO ALTO	30	201	1 PISO ALTO	30	MARICULTURA	1 PISO ALTO	20
			1 PISO ALTO	30	202	1 PISO ALTO	45	PLANTON	1 PISO ALTO	20
			1 PISO ALTO	30	203	1 PISO ALTO	30	BIOTEC 2	1 PISO ALTO	20
			1 PISO ALTO	30	204	1 PISO ALTO	40	HIDRAU	1 PISO ALTO	20
			1 PISO ALTO	30	205	1 PISO ALTO	40			
					AULA	LUGAR	Nº ESTD	AULA/LAB	LUGAR	Nº ESTD
					301	2 PISO ALTO	25	SALA COMP 1	2 PISO ALTO	27
					302	2 PISO ALTO	42	SALA COMP 2	2 PISO ALTO	27
					303	2 PISO ALTO	45	CEPOSTG 1	2 PISO ALTO	35
					304	2 PISO ALTO	37	CEPOSTG 2	2 PISO ALTO	20
					305	2 PISO ALTO	40			

Desarrollo del Modelo Matemático

Después de analizar el problema que atraviesa la UACA, podemos concluir que se trata de un problema de asignación de recursos, en este caso lo más conveniente es desarrollar un modelo de programación lineal entera, Anderson, Sweeney, Williams, Camm & Martin (2011), citan tres modelos de programación lineal entera, la programación lineal entera pura, mixta y binaria. Al tratarse de un problema en el que se deben asignar salones de clase a cada una de las asignaturas de cada carrera, nos enfrentamos a un problema de programación lineal entera, ya que no es posible asignar aulas fraccionadas a las asignaturas, además la lógica de las asignaciones garantiza que el modelo es de tipo binario, es decir las variables sólo pueden tomar valores de 1-0, 1 si el aula fue asignada a una asignatura y 0 en caso contrario.

En todo modelo de programación lineal se distinguen, las variables de decisión, la *función objetivo y las restricciones por satisfacer* (Winston, 2015).

Nuestro modelo será desarrollado utilizando la herramienta Solver de Microsoft Excel 2016, Solver usa su propia terminología para la optimización, refiriéndose a las variables de decisión como las celdas cambiantes, estas celdas sólo pueden contener números que pueden cambiar libremente, estas celdas no pueden contener fórmulas, Solver se refiere a la función objetivo como la celda objetivo, en Solver sólo puede existir una y sólo una función objetivo, esta celda objetivo debe relacionarse con las celdas cambiantes, siendo las celdas cambiantes las que deben satisfacer un número finito de restricciones (Winston, 2015).

Tabla 4. Variables y restricciones del modelo.

Variables de entrada	Asignaturas, salones de clase, horar de clase
Variables de decisión (celdas cambiantes)	Asignaturas asignadas por aula (bina y entera)
Función Objetivo	Minimizar el número de aulas asigna
Restricciones	Horas asignadas <=Horas requerida
	Asignatura asignada por aula= binari
	Asignatura asignada por aula= enter
Otras variables calculadas	Número de aulas asignadas por hora

Variables de decisión

La variable de desición esta definida en el modelo literalmente como *Asignaturas_asignada_por_aula*, esto es el número de salones de clase que se beben asignar a cada asignatura, como se mensionó anteriormente, las variables de decisión sólo mpueden asumir valores detipo entero y binario.

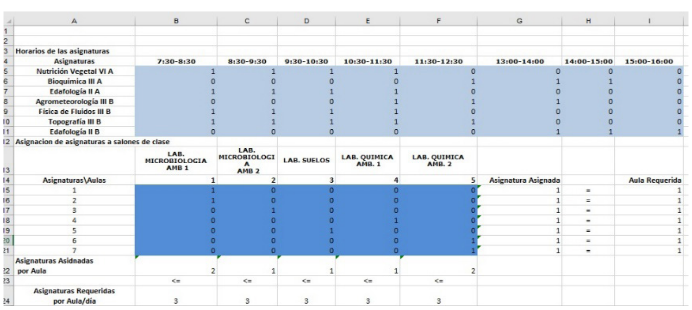

Figura 1. Matriz color azul, variables de decisión representadas en Solver Excel 2016.

En la figura 1, a través de la matriz de color azul se definen la variables de decisión, después de ejecutar el modelo, podemos realizar la interpretación de los valores que el modelo asigno a cada variable, como se puede notar la asignatura de Nutrición Vegetal del sexto ciclo paralelo A de la carrera de veterinaria el modelo le asigno como salón de clase, el laboratorio de Microbiología ya que en la celda B15 figura el valor de 1, una interpretación similar se puede lograr analizando el valor que ha tomado la celda D19, en este caso su valor es nuevamente 1, entonces decimos que a la asignatura Física de fluidos se le asignó el Laboratorio de suelos como salón de clase.

Restricciones del modelo

Excel no muestra las restricciones de forma directa en la hoja de cálculo, en su lugar las restricciones son especificadas mediante un cuadro de dialogo ***Sujeto a las restricciones***, como se muestra en la figura 2.

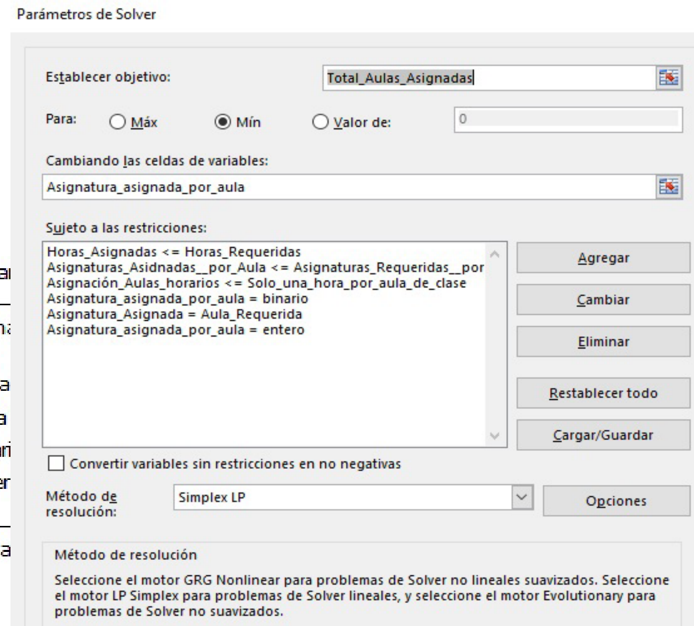

Figura 2. Cuadro de dialogo Solver Excel 2016.

Cuando se definió a las variables de decisión se argumentó la razón por la que sólo podían asumir valores de tipo entero y binario, la forma de modelar esta situación matemáticamente a través de Solver Excel 2016, se muestra en la figura 3, en ella a través del cuadro de diálogo ***referencia de celda,*** se ha modelado la cuarta restricción que se muestra en la de la figura 3, introduciendo las variables de decisión ***Asignaturas asignadas por aula***, en la parte central de este cuadro se ha elegido el símbolo de la igualdad y finalmente en el recuadro con encabezado ***restricción,*** se elige binario, para restringir a las variables de decisión a asumir únicamente valores enteros de tipo binario, la forma de restringir a las variables a tomar valores enteros es similar tercera fila (figura 4).

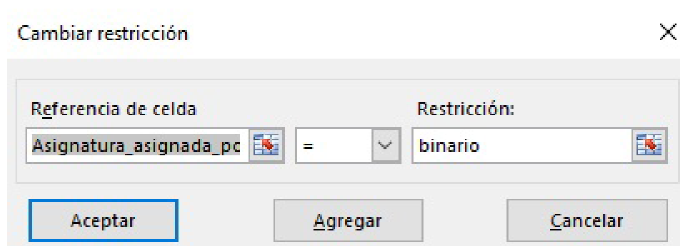

Figura 3. Cuadro de dialogo para modelar de la cuarta restricción.

Salones de clase	7:30-8:30	8:30-9:30	9:30-10:30	10:30-11:30	11:30-12:30	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	Horas Asignadas		Horas Requeridas
1	1	1	1	1	1	0	0	0	5	<=	8
2	1	1	1	1	1	0	0	0	5	<=	8
3	1	1	1	0	1	1	1	1	7	<=	8
4	1	1	1	1	0	0	0	0	4	<=	8
5	1	1	1	0	0	1	1	1	6	<=	8
	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=			
Solo una por aula de clase	5	5	5	3	3	2	2	2			
	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1			

Figura 4. Matriz para asignar salones de clase a un horario Solver Excel 2016.

Es posible modelar matemáticamente la quinta restricción que se muestra en la figura 2, a través del mismo cuadro de dialogo mostrado en la figura 3, esta restricción hace cumplir la condición de que ha ninguna asignatura se le puede asignar más de un salón de clase, la representación matemática de esta restricción puede ser observada en el modelo a través de la figura 1, en las celdas G14, I15 ***Asignatura Asignada = Aula Requerida, para los*** rangos B15:F15, I15:I21

Para modelar matemáticamente la tercera restricción figura 2, que hace cumplir la condición de asignar un salón de clase a un horario específico, se puede apreciar en la figura 4, el uso de una desigualdad no estricta ≤, garantiza el cumplimiento de esta condición de forma matricial, elemento a elemento, como se puede apreciar en la figura 5 para los rangos B28:I32<= B35:I39.

La forma de modelar matemáticamente la segunda restricción que se muestra en figura 2, en la que se debe cumplir la condición de que a cada salón de clase se le puede asignar como máximo 3 asignaturas por día, es similar a la que hemos utilizado en la tercera restricción, otra vez utilizamos una desigualdad débil del tipo ≤, para garantizar el cumplimiento de dicha restricción, la figura 6 muestra el cuadro de dialogo de Solver que hace posible dicha restricción.

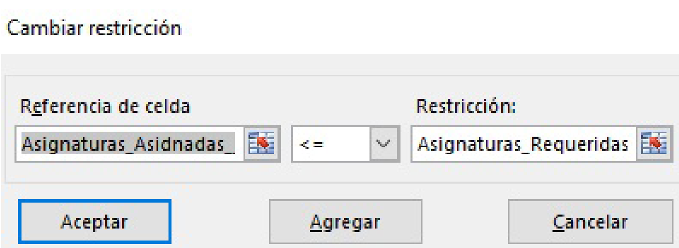

Figura 6. Restricción para asignar a lo sumo 3 asignaturas por aula.

La función Objetivo

En todos los problemas de programación lineal, el objetivo es la maximización o minimización de alguna cantidad (Anderson, et al., 2011), el objetivo de nuestro modelo es asignar de forma óptima un salón de clase a cada asignatura dicho de otra manera lo que se busca es minimizar el número de aulas disponibles para cada asignatura, para conseguirlo hacemos que la suma de las aulas asignadas sea un mínimo, en la figura 2 se puede observar el recuadro con etiqueta ***establecer función objetivo*** en él se ha definido dicha función como ***Total aulas asignadas***, mediante la función =SUMA (G15:G22), de Excel Solver 2016.

Verificación del Modelo

Una vez desarrollado un modelo, siguiente paso verificar que el modelo es una representación precisa de la realidad (Winston, 2015), para lograr este objetivo vamos a comparar el horario de clase designado para el Laboratorio de Anatomía en el periodo académico mayo-septiembre 2019, con el horario proporcionado por el modelo.

La figura 7 y 8 proporcionan el horario de clase programado por la coordinación académica de la Carrerea de medicina veterinaria, en él podemos observar que semanalmente se encuentra con una disponibilidad de 40 horas, además podemos notar que los martes y viernes de 11:30 am a 12.30 pm y los días jueves de 11:30 a 12:30 pm, 14:30 a 16:30, el laboratorio no tiene asignada ninguna asignatura, sumando un total de 5 horas de inactividad semanal, en contraste, con los resultados del modelo que establecen que son suficientes únicamente 4 días a la semana para cubrir la carga horaria asignada al laboratorio, dejando una disponibilidad de 9 horas semanales, que bien podrían ser aprovechadas por otra asignatura, por lo tanto podemos concluir que los resultados del modelo son satisfactorios en términos de optimización de recursos, verificándose de esta manera el modelo.

LAB. ANATOMÍA					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07H30-08H30	ANATOMIA II 2A VETERINARIA	ANATOMIA II 2A VETERINARIA	ANATOMIA I VETERINARIA	CIRUGIA ESPECIALIDADES MENORES 9A VETERINARIA	SEMIOLOGIA VETERINARIA
08H30-9H30					
09H30-10H30					
10H30-11H30					
11H30-12H30					
12H30-13H00	RECESO				
13H00-14H00	ANATOMIA I 1A VETERINARIA	EPIDEMIOLOGIA GENETICA 9A VETERINARIA	EMBRIOLOGIA VETERINARIA	EMBRIOLOGIA VETERINARIA	MEJORAMIENTO GENETICO
14H00-15H00					
15H00-16H00					

Figura 7. Horario Lab. Anatomía D1 2019.

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07H30-08H30	ANATOMIA II 2A VETERINARIA	ANATOMIA I VETERINARIA 1A	SEMIOLOGÍA VETERINARIA	EMBRIOLOGÍA VETERINARIA	
08H30-9H30					
09H30-10H30					
10H30-11H30					
11H30-12H30		ANATOMÍA II 2A	EPIDEMIOLOGÍA GANETICA 9 A	MEJORAMIENTO GENÉTICO	
12H30-13H00	RECESO				
13H00-14H00	ANATOMIA I 1A VETERINARIA	ANATOMÍA II 2A	EPIDEMIOLOGÍA GANETICA 9 A	MEJORAMIENTO GENÉTICO	
14H00-15H00		ANATOMÍA II 2A	EPIDEMIOLOGÍA GANETICA 9 A	MEJORAMIENTO GENÉTICO	
15H00-16H00		ANATOMÍA II 2A	EMBRIOLOGÍA VETERINARIA		

Figura 8. Horario Lab. Anatomía, proporcionado por el modelo D1 2019.

Análisis de sensibilidad

El objetivo fundamental del análisis de sensibilidad es identificar los parámetros sensibles (es decir, los parámetros cuyos valores no pueden cambiar sin que cambie la solución óptima) (Hillier & Lieberman, 2015).

Mediante el análisis de sensibilidad de sensibilidad podemos resolver las siguientes interrogantes (Anderson, et al., 2011):

¿Cómo afectará el cambio de un coeficiente de la función objetivo a la solución óptima?

¿Cómo afectará el cambio de un valor del lado derecho de una restricción a la solución óptima?

A partir del informe proporcionado Excel Solver 2016 del modelo de Asignación de aulas a salones de clase, podemos realizar el análisis de la solución proporcionada por el modelo, en la tabla 5, se puede observar una parte de este informe correspondiente a la restricción de que el número máximo de asignaturas asignadas a cada salón de clase por día no puede exceder de 3, en la cuarta columna de esta tabla figuran los precios sombra, según Eppen, (2000), los precios sombra se interpretan como la razón de cambio de la función objetivo a medida que aumenta el lado derecho de estas restricción, mientras todos los demás datos permanecen iguales, por lo tanto la solución óptima del modelo no experimentará ningún tipo de variación, ya que los precios sombra de estas restricciones son cero, en otras palabras si se incrementa el número de asignaturas de tres a cuatro en el Laboratorio de Microbiología, la lución optima no se verá afectada. Los resultados de este análisis establecen que son necesarios 23 salones de clase para el dictado de todas las asignaturas de las tres carreras, lo que se traduce en una reducción del 20 % de la utilización actual de estos salones.

Tabla 5. Informe Excel Solver 2016 Modelo de asignación de asignaturas a aulas

Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
B22	Asignaturas Asignadas por Aula LAB. MICROBIOLOGIA AMB 1	1	0	3	1E+30	2
C22	Asignaturas Asignadas por Aula LAB. MICROBIOLOGIA AMB 2	1	0	3	1E+30	2
D22	Asignaturas Asignadas por Aula LAB. SUELOS	2	0	3	1E+30	1
E22	Asignaturas Asignadas por Aula LAB. QUIMICA AMB. 1	1	0	3	1E+30	2

Optimización y Toma de Decisiones

Una vez verificado la optimalidad del modelo, el siguiente paso consiste en tomar decisiones a partir de un conjunto de alternativas (Winston, 2015), la optimalidad del modelo fue analizada en la sección precedente, en lo que respecta a la toma de decisiones estas deben ser tomadas por la coordinación académica de cada de las carreras, basándose en el análisis de las alternativas que se encuentran inmersas en la programación de horarios.

Socialización del Modelo e Implementación

El modelo que se ha diseñado bajo el objetivo antes expuesto, goza de bondades y limitaciones, en lo que respecta a las bondades, el modelo es capaz de eliminar por completo el problema del cruce de horarios asignado uno y sólo un salón de clase a cada asignatura, además minimiza el conjunto de salones de clase que están disponibles en un 20% es decir se necesitan 23 salones de clase para satisfacer las la demanda de salones de clase por parte de las asignaturas que existen en las tres carreras de la FCA, adicionalmente el modelo garantiza la asignación de horarios de clase a las aulas a partir de su disponibilidad medida en horas/día. Dentro de las limitaciones del modelo, está implícita la limitación del programa, que fue utilizado para la implementar del modelo, Excel Solver solo puede resolver 200 celdas cambiantes, definidas como variables de decisión, este problema fue resuelto, ingresando al modelo las asignaturas en grupos de y las aulas de clase una a la vez, además al tratarse de un modelo de programación lineal binaria existe el problema del tiempo de que le toma al software encontrar una solución factible, si se considera 50 asignaturas y 4 aulas tendríamos un problema de 200 celdas cambiantes, pero al tratarse de un modelo de tipo binario, Solver tendría que analizar 2^{200} soluciones factibles, limitando la eficiencia del modelo y hasta cierto punto haciéndolo incapaz de encontrar una solución óptima.

CONCLUSIONES

Fue posible modelar matemáticamente el problema de la asignación de salones de clase a las asignaturas de las tres carreras de la FCA a partir de un modelo de programación entero-binario.

El análisis de sensibilidad establece que son suficientes 23 aulas para satisfacer las necesidades académicas de las asignaturas, lo cual resultaría beneficioso en el caso de un posible incremento de la demanda estudiantil.

En este modelo, no se puede ingresar todas las asignaturas de forma simultánea, se recomienda ingresar las asignaturas en grupos de 10 o 12 asignaturas, para lograr que el modelo encuentre una solución óptima, de ninguna manera esta limitación reduce su confiabilidad para la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, D. R., Sweeney, D. j., Williams, T. A., Camm, J. D., & Martin, K. (2011). ***Métodos Cuantitativos para Ingenieros 11 a Ed.*** Mexico: CENGAGE Learning.

Chejne, F. (2016). Una aproximación a la construcción de modelos matemáticos para la descripción de la naturaleza. ***Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales***, 40(155), 365-353. Recuperado de https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/339/215

Eppen, G. D. (2000). ***Investigación de operaciones en la Ciencia Administrativa***. México: Prentice Hall.

González Ariza, Á. L. (2015). ***Manual práctico de investigación de operaciones.*** Barranquilla: Universidad del Norte.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (20150). ***Introducción a la Investigación de Operaciones.*** México: McGraw-Hill.

Taha, H. A. (2017). ***Investigación de Operaciones Décima Edición***. México: Pearson Educación.

Tornos Juan, P., & Antonio, L. R. (2016). ***Investigación operativa para ingenieros.*** Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Vásquez, D. A. (2015). Aplicación de la investigación de operaciones al problema de la distribución de una empresa de logística. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Winston, W. L. (2015). ***Practical management science.*** Mason: Cengage Learning.