



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE CIENCIAS

INFERENCIA ESTADÍSTICA APLICADA PARA  
GENERAR UNA PROPUESTA DE GRUPOS PARA  
LAS CARRERAS DE ACTUARÍA, CIENCIAS DE  
LA COMPUTACIÓN, MATEMÁTICAS Y  
MATEMÁTICAS APLICADAS DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ACTUARIA

PRESENTA:  
MIRIAM GABRIELA COLÍN NÚÑEZ

TUTOR  
DR. ARRIGO COEN CORIA

2021





**UNAM - Dirección General de Bibliotecas**

**Tesis Digitales**

**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos.

El uso de imágenes, fragmentos de videos y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo, mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Datos de la Alumna:**

Colín  
Núñez  
Miriam Gabriela  
(Teléfono)  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Actuaría  
(número de cuenta)

**Datos del tutor:**

Dr.  
Arrigo  
Coen  
Coria

**Datos del sinodal 1:**

Mat.  
Margarita Elvira  
Chávez  
Cano

**Datos del sinodal 2:**

Dra.  
Lizbeth  
Naranjo  
Albarrán

**Datos del sinodal 3:**

Dra.  
Ruth Selene  
Fuentes  
García

**Datos del sinodal 4:**

M. en C.  
Jaime  
Vázquez  
Alamilla

**Datos del sinodal 5:**

M. en C.  
Gustavo Adolfo  
García  
Cano

**Datos del sinodal 6:**

Dra.  
Ana  
Meda  
Guardiola

**Datos del trabajo escrito:**

Inferencia estadística aplicada para generar una propuesta de grupos para las carreras de Actuaría, Ciencias de la Computación, Matemáticas y Matemáticas Aplicadas de la Facultad de Ciencias

(Número de Páginas) p  
2021

*Dedicado a*

# Agradecimientos

¡Muchas gracias a todos!

# Índice general

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Motivación . . . . .  | 1         |
| 1.2. Definición de conceptos . . . . .                                       | 2         |
| 1.3. Nomenclatura . . . . .  | 2         |
| 1.4. Planteamiento del problema . . . . .                                    | 2         |
| 1.5. Objetivos . . . . .   | 4         |
| 1.6. Datos a analizar . . . . .  | 4         |
| 1.6.1. Análisis por tipo de semestre: par e impar . . . . .                  | 5         |
| 1.6.2. Análisis por turno: matutino y vespertino . . . . .                   | 6         |
| <b>2. Extracción de datos</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1. Estructura de las URL . . . . .   | 10        |
| 2.2. Extracción de datos con la aplicación SelectorGadget . . . . .          | 11        |
| 2.3. Tipos de grupos en las páginas web de la Facultad de Ciencias . . . . . | 12        |
| 2.4. Limpieza de base de datos . . . . .                                     | 14        |
| 2.4.1. Problemas de falta de información . . . . .                           | 14        |
| 2.4.2. Problemas de información repetida . . . . .                           | 16        |
| 2.4.3. Otros problemas al extraer información . . . . .                      | 19        |
| 2.5. Matrices de datos . . . . .   | 21        |
| <b>3. Análisis estadístico</b>   | <b>25</b> |
| 3.1. Análisis estadístico básico . . . . .                                   | 26        |
| 3.1.1. Prueba de tendencia . . . . .   | 28        |
| 3.1.2. Prueba de estacionalidad . . . . .                                    | 29        |
| 3.1.3. Prueba de homocedasticidad . . . . .                                  | 30        |
| 3.2. Análisis estadístico por semestres pares e impares . . . . .            | 32        |
| 3.3. Análisis estadístico por turnos matutino y vespertino . . . . .         | 33        |
| 3.4. Análisis estadístico por carrera . . . . .                              | 35        |
| 3.5. Distribución del tamaño de los grupos . . . . .                         | 36        |
| 3.6. Comportamientos por hora . . . . .                                      | 39        |
| <b>4. Simulación</b>   | <b>43</b> |
| 4.1. Obtención de nombres de materias . . . . .                              | 44        |
| 4.2. Obtención de los parámetros $q_1$ y $q_2$ . . . . .                     | 45        |
| 4.3. Obtención de nombres de profesores . . . . .                            | 49        |
| 4.3.1. Profesores de tiempo completo . . . . .                               | 50        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.3.2. Profesores de asignatura . . . . .                 | 52         |
| 4.4. Simulación de tamaño de grupos . . . . .             | 53         |
| 4.5. Simulación de solicitudes de profesores . . . . .    | 53         |
| 4.6. Simulación de la demanda de alumnos . . . . .        | 55         |
| 4.7. Modelo de Mezcla Gaussiana . . . . .                 | 57         |
| 4.8. Obtención de $D'$ y $D_0$ . . . . .                  | 60         |
| 4.9. Simulación de esqueletos . . . . .                   | 64         |
| 4.10. Obtención de mat_esqueleto . . . . .                | 64         |
| <b>5. Algoritmo Genético</b>                              | <b>69</b>  |
| 5.1. Algoritmo Genético aplicado a los horarios . . . . . | 70         |
| 5.2. Resultados del Algoritmo Genético . . . . .          | 73         |
| <b>6. Conclusiones</b>                                    | <b>81</b>  |
| <b>Apéndice A. Materias agrupadas</b>                     | <b>83</b>  |
| <b>Apéndice B. Resultados útiles</b>                      | <b>87</b>  |
| <b>Apéndice C. Abreviaturas</b>                           | <b>89</b>  |
| <b>Apéndice D. Ejemplo de asignación final</b>            | <b>91</b>  |
| <b>Apéndice E. Observaciones / Notas</b>                  | <b>115</b> |
| <b>Bibliografía</b>                                       | <b>127</b> |

# Índice de figuras

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.1.  | <i>Número de alumnos por semestres pares e impares: Probabilidad I</i> . . . . .       | 5  |
| 1.2.  | <i>Histogramas del número de alumnos por semestre: Probabilidad I</i> . . . . .        | 6  |
| 1.3.  | <i>Número de alumnos por turno: Probabilidad I</i> . . . . .                           | 7  |
| 1.4.  | <i>Histogramas del número de alumnos por turno: Probabilidad I</i> . . . . .           | 7  |
| 2.1.  | <i>Página de horarios de la Facultad</i> . . . . .                                     | 9  |
| 2.2.  | <i>Uso de la aplicación SelectorGadget</i> . . . . .                                   | 12 |
| 2.3.  | <i>Tipo de grupo A</i> . . . . .   | 13 |
| 2.4.  | <i>Tipo de grupo B</i> . . . . .   | 13 |
| 2.5.  | <i>Tipo de grupo C</i> . . . . .   | 13 |
| 2.6.  | <i>Página web en blanco</i> . . . . .  | 14 |
| 2.7.  | <i>Grupo sin información de salón</i> . . . . .  | 15 |
| 2.8.  | <i>Grupo sin información de alumnos</i> . . . . .                                      | 15 |
| 2.9.  | <i>Grupo sólo con horario</i> . . . . .  | 16 |
| 2.10. | <i>Información repetida: Planes de estudio</i> . . . . .                               | 17 |
| 2.11. | <i>Información repetida: Materia con nombres distintos</i> . . . . .                   | 18 |
| 2.12. | <i>Información repetida: Mismo profesor, misma hora, materias distintas</i> . . . . .  | 19 |
| 2.13. | <i>Grupo con un alumno</i> . . . . .   | 20 |
| 2.14. | <i>Grupo con medias horas</i> . . . . .  | 20 |
| 2.15. | <i>Grupo con horarios múltiples</i> . . . . .  | 20 |
| 2.16. | <i>Grupo de inglés</i> . . . . .   | 21 |
| 2.17. | <i>Grupo con estructura diferente</i> . . . . .  | 21 |
| 3.1.  | <i>Descomposición por el método de promedios móviles</i> . . . . .                     | 27 |
| 3.2.  | <i>Media de alumnos por semestre</i> . . . . .   | 28 |
| 3.3.  | <i>Prueba Cox-Stuart para aleatoriedad</i> . . . . .                                   | 29 |
| 3.4.  | <i>Prueba Cox-Stuart para tendencia creciente</i> . . . . .                            | 29 |
| 3.5.  | <i>Número total de alumnos por semestre</i> . . . . .                                  | 30 |
| 3.6.  | <i>Prueba QS para estacionalidad</i> . . . . .   | 30 |
| 3.7.  | <i>Desviación estándar del número de alumnos por semestre</i> . . . . .                | 31 |
| 3.8.  | <i>Prueba Jarque-Bera para normalidad</i> . . . . .                                    | 31 |
| 3.9.  | <i>Prueba Breusch-Pagan para homocedasticidad</i> . . . . .                            | 32 |
| 3.10. | <i>Número de alumnos de semestres pares e impares</i> . . . . .                        | 32 |
| 3.11. | <i>Histogramas del número de alumnos en semestres pares e impares</i> . . . . .        | 33 |
| 3.12. | <i>Número de alumnos por turno de todos los semestres</i> . . . . .                    | 34 |
| 3.13. | <i>Histogramas del número de alumnos en los turnos matutino y vespertino</i> . . . . . | 34 |
| 3.14. | <i>Histogramas del número de alumnos por carrera</i> . . . . .                         | 35 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.15. <i>Densidades del número de alumnos por carrera</i> . . . . .   | 36  |
| 3.16. <i>Histograma del número de alumnos por grupo de todos los semestres</i> . . . . .                                      | 37  |
| 3.17. <i>Densidades del número de alumnos por grupo de cada semestre</i> . . . . .  | 37  |
| 3.18. <i>Histograma con densidades ajustadas</i> . . . . .  | 39  |
| 3.19. <i>Número promedio de grupos por hora</i> . . . . .   | 40  |
| 3.20. <i>Número promedio de alumnos por hora</i> . . . . .  | 41  |
| <br>  |     |
| 4.1. <i>Diagrama de flujo de la función “gen_asignacion()”</i> . . . . .  | 44  |
| 4.2. <i>Matriz con información por materia</i> . . . . .  | 46  |
| 4.3. <i>Promedio de la desviación estándar: 5 materias, 12 intervalos</i> . . . . .   | 47  |
| 4.4. <i>Promedio de la desviación estándar: 10 materias, 6 intervalos</i> . . . . .   | 47  |
| 4.5. <i>Promedio de la desviación estándar: 10 materias, 4 intervalos</i> . . . . .   | 48  |
| 4.6. <i>Promedio de la desviación estándar: 5 materias, 4 intervalos</i> . . . . .  | 48  |
| 4.7. <i>Diagrama de los intervalos de confianza</i> . . . . .   | 48  |
| 4.8. <i>Matriz con medidas de dispersión de prueba aleatoria</i> . . . . .  | 49  |
| 4.9. <i>Profesores de tiempo completo: SelectorGadget</i> . . . . .   | 50  |
| 4.10. <i>Vector de profesores de tiempo completo</i> . . . . .  | 51  |
| 4.11. <i>Ejemplo de matriz de solicitudes de un profesor</i> . . . . .  | 54  |
| 4.12. <i>Ejemplo de matriz con alumnos corregidos</i> . . . . .   | 55  |
| 4.13. <i>Ejemplo de vector con demanda simulada para el 2020-2 de “Modelos de Supervivencia y Series de Tiempo”</i> . . . . . | 56  |
| 4.14. <i>Ejemplo de matriz con demanda simulada para el 2020-2</i> . . . . .  | 57  |
| 4.15. <i>Histograma del número de alumnos esperados por hora: Modelo inicial de mezcla de normales</i> . . . . .              | 59  |
| 4.16. <i>Histograma del número de alumnos esperados por hora: Modelo final de mezcla de normales</i> . . . . .                | 59  |
| 4.17. <i>Metodología A</i> . . . . .  | 61  |
| 4.18. <i>Metodología B</i> . . . . .  | 61  |
| 4.19. <i>Metodología C</i> . . . . .  | 62  |
| 4.20. <i>Metodología D</i> . . . . .  | 62  |
| 4.21. <i>Heatmap metodología B</i> . . . . .  | 63  |
| 4.22. <i>Heatmap metodología C</i> . . . . .  | 63  |
| 4.23. <i>Histograma con los datos del esqueleto inicial</i> . . . . .   | 65  |
| 4.24. <i>Histograma con todos los datos de los esqueletos simulados</i> . . . . .   | 66  |
| 4.25. <i>Ejemplo de esqueleto para el semestre 2020-2</i> . . . . .   | 67  |
| <br>  |     |
| 5.1. <i>Diagrama del Algoritmo Genético</i> . . . . .   | 70  |
| 5.2. <i>Calificaciones de mejores asignaciones</i> . . . . .  | 74  |
| 5.3. <i>Gráficas de caja de calificaciones de asignaciones por generación</i> . . . . .                                       | 75  |
| 5.4. <i>Media de calificaciones de asignaciones por generación</i> . . . . .  | 76  |
| 5.5. <i>Varianza de calificaciones de asignaciones por generación</i> . . . . .   | 76  |
| 5.6. <i>Gráficas de caja del número de genes en asignaciones por generación</i> . . . . .                                     | 77  |
| 5.7. <i>Solicitudes de la materia “Teoría del Seguro”</i> . . . . .   | 79  |
| <br>  |     |
| E.1. <i>Resumen de clases de inglés antes de modificación</i> . . . . .   | 116 |
| E.2. <i>Ejemplo de horarios de semestre 2021-1</i> . . . . .  | 118 |
| E.3. <i>Notas de T26</i> . . . . .  | 119 |
| E.4. <i>Ejemplo de Roxygen</i> . . . . .  | 119 |

|  |     |
|--|-----|
| E.5. <i>Ejemplo de varianza</i>                                    | 120 |
| E.6. <i>Cláusula 99 CCTPA: Ayuda para la impresión de la tesis</i> | 121 |
| E.7. <i>Nombres planes de estudio</i>                              | 122 |
| E.8. <i>which in plot</i>  | 123 |
| E.9. <i>Skill vs challenge level</i>                               | 124 |



# Índice de tablas

|   |     |
|---|-----|
| 1.1. <i>Ejemplo de asignación</i> . . . . .                                       | 4   |
| 1.2. <i>Grupos de datos</i> . . . . .   | 8   |
| 2.1. <i>Planes de estudio por carrera con clave</i> . . . . .                     | 10  |
| 2.2. <i>Descripción de las columnas de la matriz “mat_posibles_url”</i> . . . . . | 11  |
| 2.3. <i>Descripción de las columnas de la matriz “m_grande”</i> . . . . .         | 23  |
| 4.1. <i>Posibles valores para <math>q_1</math> y <math>q_2</math></i> . . . . .   | 45  |
| 4.2. <i>Diferencias en nombres de profesores de tiempo completo</i> . . . . .     | 51  |
| 4.3. <i>Diferencias en nombres de profesores de asignatura</i> . . . . .          | 52  |
| 5.1. <i>Resumen de las pruebas del Algoritmo Genético</i> . . . . .               | 74  |
| 5.2. <i>Submatriz con asignación final</i> . . . . .                              | 78  |
| C.1. <i>Abreviaturas</i> . . . . .  | 89  |
| D.1. <i>Matriz con asignación final</i> . . . . .                                 | 113 |



# Códigos

|  |     |
|--|-----|
| E.1. <i>Ejemplo de ciclo for</i> . . . . .               | 116 |
| E.2. <i>Ejemplo de estructura de funciones</i> . . . . . | 117 |



# Capítulo 1

## Introducción

En este trabajo se hará un análisis estadístico de los datos recabados de las páginas de horarios de la Facultad de Ciencias de la UNAM (Facultad). Se obtendrá un número estimado de alumnos, para cada materia y por cada hora, de las carreras del Departamento de Matemáticas. Se simularán esqueletos de horarios que se calificarán de acuerdo a ciertos criterios. Éstas simulaciones dependen de semestres anteriores, con respecto al que se quiere estimar. Se resolverá el problema de asignación de horarios por medio del algoritmo genético. Con esto se desea disminuir el tiempo que se toma actualmente el hacer tanto los esqueletos de horarios como las asignaciones de grupos en la Facultad.

### 1.1. Motivación

Lo que motivó la realización de este trabajo es la aportación que se puede hacer a la Facultad, la cual nos parece de gran utilidad y para el beneficio de los alumnos. Podremos obtener una disminución del tiempo que toma realizar los esqueletos y la asignación de profesores en la Facultad. Además, el modelo propuesto puede ser aplicado para resolver problemas generales de asignación de recursos.

Actualmente para hacer la asignación de horarios primero se reúne el comité encargado de dicha tarea a realizar manualmente los esqueletos de los horarios. Éstos se dan a conocer a los profesores y ellos eligen diferentes opciones de materias y posibles horas en las cuales les gustaría impartir sus clases. Una vez que los profesores han hecho sus solicitudes, se vuelve a hacer una o varias juntas para la asignación final de los horarios que se hace de manera manual.

Se tienen dos tipos de profesores, los de tiempo completo y los de asignatura. Los profesores de tiempo completo, por contrato, deben de cubrir ciertas horas de clase por lo que al momento de hacer la asignación se debe considerar que ellos requieren cubrir su solicitud. Finalmente se publican los horarios a los alumnos.

Una vez que los alumnos han elegido las materias que les gustaría tomar deben de ir con el profesor y él o ella les debe de firmar su tira de materias, si es que el cupo del salón lo permite. En caso de que el alumno no consiga la firma de la materia que desea, deberá buscar una segunda o tercera opción o incluso tener que meterla en algún semestre posterior.

La principal razón por la cual los profesores no firman las tiras de materias es porque el número de alumnos que desean inscribirse a su clase es mayor al número de lugares disponibles en el salón asignado. Es por ello que el trabajo que hemos realizado depende de la demanda de alumnos por materia y por horario.

## 1.2. Definición de conceptos

Las siguientes son las definiciones que se utilizarán a lo largo del trabajo:

**Materia:** Curso impartido en la Facultad por algún profesor.

**Horario:** Hora en la que se imparte alguna materia.

**Esqueleto:** Matriz con el número de grupos por hora y por materia.

**Asignación:** Matriz con las columnas Materia-Profesor-Horario.

**Grupo:** Vector con las entradas Materia-Profesor-Horario.

**Turno Matutino:** Comprende las clases impartidas de 7:00-14:00hrs incluyendo la clase de 14:00-15:00hrs.

**Turno Vespertino:** Comprende las clases impartidas de 15:00-21:00hrs incluyendo la clase de 21:00-22:00hrs.

## 1.3. Nomenclatura

$m$  : Número de materias,  $m = 202$ .

$p$  : Número de profesores considerados,  $p = 1223$ .

$t$  : Número de horas en las que se imparten las materias,  $t = 15$ .

$i$  : Índice para profesores,  $i \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ .

$j$  : Índice para materias,  $j \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$ .

$h$  : Índice para las horas del día,  $h \in \{1, 2, 3, \dots, t\}$ .

$U_{j,i,h}$  : Utilidad de que la materia  $j$  sea impartida por el profesor  $i$  a la hora  $h$ .

$x_{j,i,h}$  : Variable binaria que vale 1 si la materia  $j$  es impartida por el profesor  $i$  a la hora  $h$  y cero en otro caso.

$V_{j,i}$  : Variable binaria que vale 1 si la materia  $j$  puede ser impartida por el profesor  $i$  y cero en otro caso.

## 1.4. Planteamiento del problema

En el problema de asignación de horarios se quiere asociar un profesor con una materia y un horario. Existen trabajos que han abordado este problema desde otro punto de vista, por

ejemplo Yazdani, Naeri y Zeinali, en su artículo *Algorithms for university course scheduling problems* [18], proponen un modelo en el cual se toman 2 decisiones: la asignación de profesor por materia y el salón en el cual se va a impartir cada materia.

Con la función objetivo planteada en dicho modelo se desea maximizar la utilidad de que el profesor  $i$  imparta la materia  $j$ , más la utilidad de que el profesor  $i$  dé clases el día  $d$ , más la utilidad de que la materia  $j$  sea impartida en el día  $d$ . Como punto de comparación, a continuación veremos las dos diferencias principales entre su modelo y el que proponemos en este trabajo.

- 1) No tomamos en cuenta el día en el que se imparte la materia. Ésto porque suponemos que todas las materias se imparten de lunes a viernes, a la misma hora, en el mismo salón.
- 2) Deseamos maximizar la utilidad de que la materia  $j$  sea impartida por el profesor  $i$  a la hora  $h$ .

El planteamiento del problema maximización es el siguiente:

- I) Variables de decisión:

$$x_{j,i,h} = \begin{cases} 1 & \text{si la materia } j \text{ es impartida por el profesor } i \text{ a la hora } h \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases}$$

- II) Función objetivo (se desea maximizar la utilidad):

$$\max z = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{h=1}^t x_{j,i,h} U_{j,i,h} \text{ s. a}$$

- III) Restricciones:

$$\sum_{i=1}^p \sum_{h=1}^t x_{j,i,h} = 1 \quad \forall j \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{j,i,h} \leq 1 \quad \forall i, h \quad (1.2)$$

$$\sum_{h=1}^t x_{j,i,h} \leq V_{j,i} \quad \forall j, i \quad (1.3)$$

$$x_{j,i,h}, V_{j,i} \in \{0, 1\} \quad \forall j, i, h \quad (1.4)$$

Con las restricciones del tipo (1.1) aseguramos que todas las materias sean dadas. Con las del tipo (1.2) aseguramos que cada profesor no tenga más de un curso por hora. Con las del tipo (1.3) aseguramos que los profesores tengan asignadas materias que puedan impartir. Finalmente con las restricciones del tipo (1.4) especificamos que las variables utilizadas son binarias.

Los elementos que consideramos en nuestro modelo son:

- Esqueletos de horario: Matriz de  $t$  renglones con las horas (7-8, 8-9, ..., 21-22) y  $m$  columnas. La entrada  $(h, j)$  contiene el número de grupos simulados de la hora  $h$  para la materia  $j$ .
- Función calificadora de esqueletos: Califica de acuerdo a qué tan bien o que tan mal se cubre la demanda de los alumnos esperados.
- Conjunto de materias: Nombres de las materias impartidas en la Facultad.
- Conjunto de profesores: Nombres de profesores de tiempo completo y de asignatura.
- Función calificadora de asignaciones: Califica con respecto al número de grupos simulados.

El conjunto de soluciones se presenta por medio de una matriz de tres columnas. El número de renglones depende del número de grupos se hayan simulado. En el  $k$ -ésimo renglón se tiene la información de la  $k$ -ésima materia con su respectivo profesor y horario asignados. En la Tabla 1.1 se muestra un ejemplo del resultado de la asignación.

| Materia  | Profesor                     | Horario |
|--|------------------------------|---------|
| Inferencia Estadística                         | Margarita Elvira Chávez Cano | 9       |
| Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Jaime Vázquez Alamilla       | 10      |
| Estadística Bayesiana                          | Ruth Selene Fuentes García   | 11      |
| Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Lizbeth Naranjo Albarrán     | 13      |

Tabla 1.1: *Se muestra un ejemplo de una asignación. La matriz tiene 3 columnas (Materia, Profesor, Horario).*

## 1.5. Objetivos

El primer objetivo del trabajo es hacer dos funciones que generen:

- i) Esqueletos de horarios
- ii) Una asignación de profesores por materia y por horario.

Los esqueletos de horarios son utilizados para simular una posible elección de materias y horarios de los profesores. La asignación debe cubrir la demanda de alumnos estimada para el semestre siguiente. Para generar los esqueletos de horarios se simula una posible solicitud de materias y horarios de los profesores.

El segundo objetivo es disminuir el tiempo utilizado actualmente para la realización de la asignación de horarios.

## 1.6. Datos a analizar

Para poder realizar el análisis de los datos, hicimos 4 grupos con respecto a dos criterios. El primer criterio fue con respecto al tipo de semestre, par o impar. El segundo criterio con respecto al turno, matutino o vespertino.

Para explicar la elección de los criterios tomamos la información de la materia *Probabilidad I*, desde el semestre 2015-1 hasta el 2020-1. Cabe aclarar que dicha materia en la carrera de Actuaría es una materia obligatoria de tercer semestre. En las siguientes subsecciones veremos el análisis de acuerdo a cada criterio.

### 1.6.1. Análisis por tipo de semestre: par e impar

En la Figura 1.1 vemos que la línea azul representa el número de alumnos de los semestres impares y la línea roja representa el número de alumnos de los semestres pares. Observamos que en todo momento el número de alumnos de los semestres impares es mayor al número de alumnos de los semestres pares. Ésto nos interesa porque al momento de simular debemos tomar en cuenta que el número de alumnos totales de semestres impares debe de ser siempre mayor al número total de alumnos de los semestres pares.

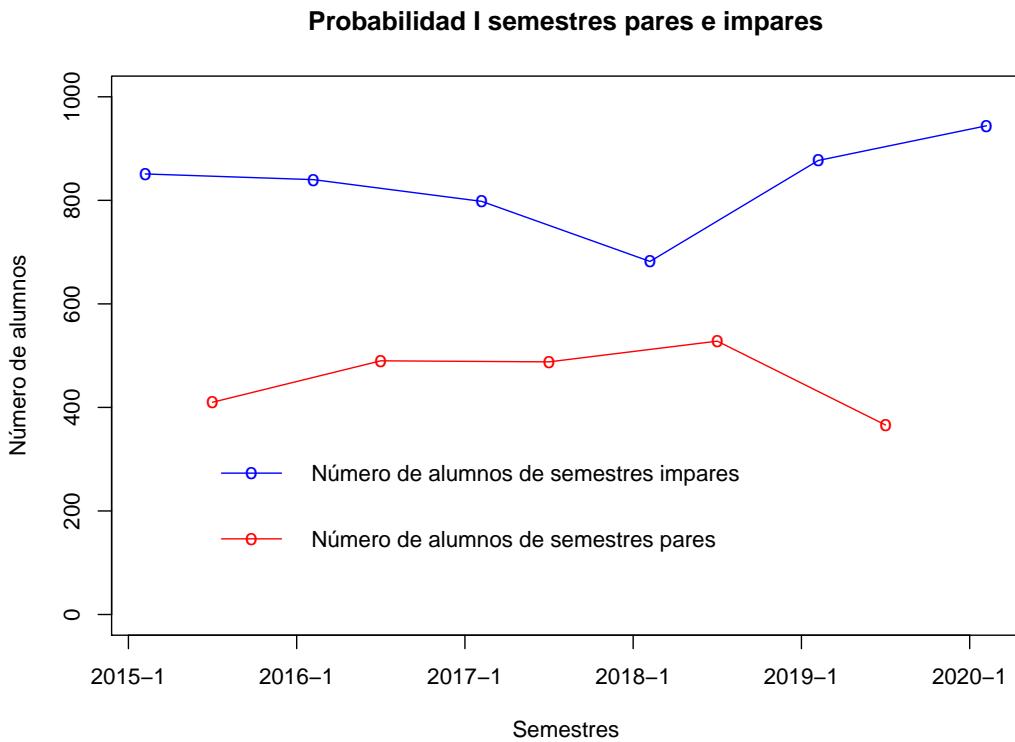


Figura 1.1: Se muestran las series de tiempo del número de alumnos por semestres (pares e impares) de “Probabilidad I”. Se puede observar que el número de alumnos de semestres impares es siempre mayor al de semestres pares.

La Figura 1.2 contiene dos histogramas, las barras rojas representan el número de alumnos por grupo de semestres pares. Las barras azules representan el número de alumnos por grupo de semestres impares.

Las líneas que se encuentran sobre los histogramas son densidades estimadas que se ajustan a los datos. Para estas aproximaciones se ajustó un kernel gaussiano con la función `density(X)` de R. Dicha función recibe como parámetro el vector `X`, con valores numéricos.

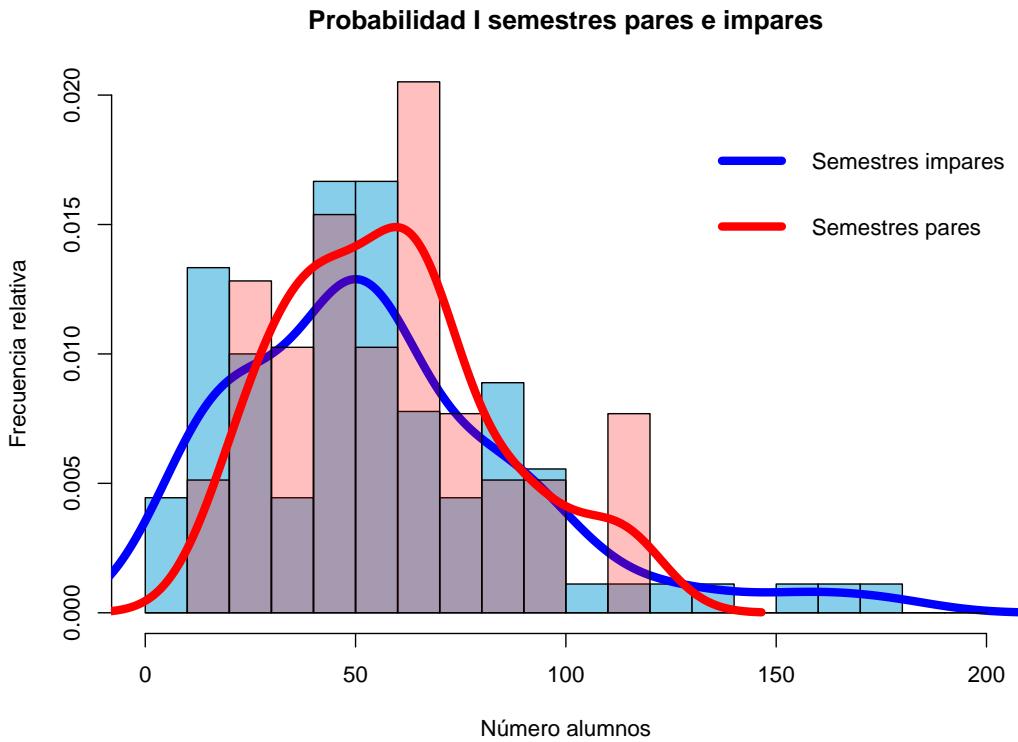


Figura 1.2: Se muestran los histogramas del número de alumnos por semestres (pares e impares) de “Probabilidad I”. Se puede observar que las densidades ajustadas son muy parecidas.

Algunos datos que se pueden obtener de las densidades vistas en la Figura 1.2 son por ejemplo que alrededor del 20% de los grupos de los semestres pares tienen aproximadamente de 60 a 70 alumnos y que alrededor del 3% de los grupos de los semestres impares tienen entre 150 y 180 alumnos.

### 1.6.2. Análisis por turno: matutino y vespertino

En la Figura 1.3 la línea azul representa el número de alumnos del turno matutino y la línea roja representa el número de alumnos del turno vespertino. Se puede observar que en todo momento el número de alumnos del turno matutino es mayor al número de alumnos del turno vespertino.

También se puede ver que la varianza en el turno matutino es mucho mayor que en el turno vespertino. La desviación estándar del número de alumnos en el turno matutino es 179.20 y en el turno vespertino es 54.95. Ésto indica que en el turno vespertino se tiene prácticamente el mismo número de alumnos sin importar si la materia pertenece a un semestre par o impar. Por el contrario, en el turno matutino si influye el hecho de que la materia corresponda a un semestre par o impar.

En la Figura 1.4 podemos ver dos histogramas, con las densidades ajustadas correspondientes. Las barras rojas representan el número de alumnos del turno vespertino y las barras azules representan el número de alumnos del turno matutino.

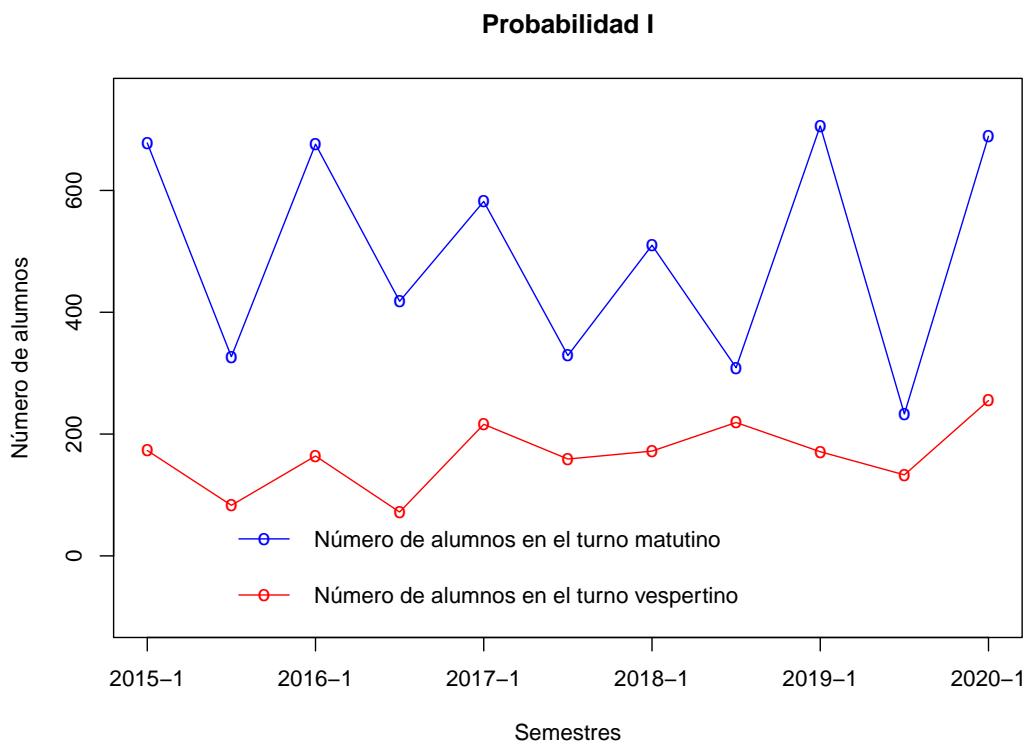


Figura 1.3: Se muestran las series de tiempo del número de alumnos por turno (matutino y vespertino) de “Probabilidad I”. Se puede ver que el número de alumnos del turno matutino es siempre mayor al número de alumnos del turno vespertino.

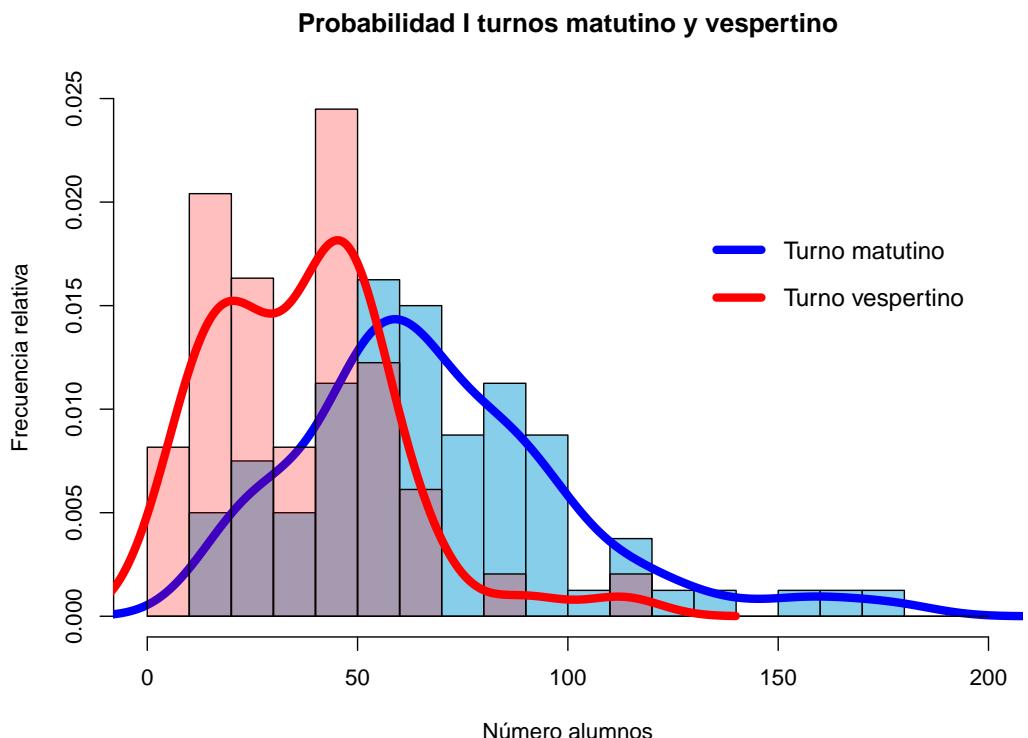


Figura 1.4: Se muestran los histogramas del número de alumnos por turno (matutino y vespertino) de “Probabilidad I”. Se puede observar que las densidades ajustadas son muy diferentes.

En este caso las densidades ajustadas son completamente diferentes. Podemos ver que en el turno vespertino hay dos grandes concentraciones en los grupos que tienen entre 10 y 30 alumnos, así como entre 40 y 50 alumnos.

Algunos datos que se pueden obtener de las densidades ajustadas son por ejemplo que alrededor del 20% de los grupos del turno vespertino tienen aproximadamente entre 10 y 20 alumnos y un poco más del 10% de los grupos del turno matutino tienen entre 80 y 90 alumnos.

Con los resultados obtenidos definimos los grupos de datos  $G_1, G_2, G_3, G_4$ , para hacer los análisis estadísticos, los cuales se muestran en la Tabla 1.2.

| Sem. \ Turno | Matutino | Vespertino |
|--------------|----------|------------|
| Impar        | $G_1$    | $G_2$      |
| Par          | $G_3$    | $G_4$      |

Tabla 1.2: Se muestran los 4 grupos obtenidos al combinar los turnos (matutino y vespertino) con los tipos de semestres (pares e impares).

# Capítulo 2

## Extracción de datos

La fuente de información de donde obtuvimos los datos utilizados son las páginas de los horarios de la Facultad. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo de dichas páginas. Cada una de ellas contiene toda la posible información de los grupos de una materia, un semestre y una carrera. Cabe mencionar que sólo tomamos en cuenta la información de las carreras del Departamento de Matemáticas, las cuales son: Actuaría, Ciencias de la Computación, Matemáticas y Matemáticas Aplicadas.

The screenshot shows the official website of the Faculty of Sciences at the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The header features the UNAM logo and the text "Universidad Nacional Autónoma de México". Below the header, there is a navigation bar with links to "Inicio", "Contacto", "Mapa del sitio", "Directorio", "Correo", "Tienda Virtual", "Ingresar", and a search bar. On the right side of the header, it says "Facultad de Ciencias" with its own logo. The main content area is titled "Horarios 2020-1". A breadcrumb trail indicates the current page: "Navegación: Ciencias » Horarios 2020-1 » Matemáticas » Lenguajes de Programación y sus Paradigmas". Below this, a link to the previous page ("Anterior: Investigación de Operaciones") and the next page ("Siguiente: Lógica Matemática I"). The main content section is titled "Matemáticas (plan 1983)". It lists the course "Lenguajes de Programación y sus Paradigmas, Optativas de los Niveles V y VI". There are two groups listed: "Grupo 7068" (40 places, 37 students) and "Grupo 7070" (40 places, 31 students). Each group has a detailed table of professors, teaching assistants, and their respective schedules and locations. For example, Group 7068 includes Profesor Fabio Ezequiel Miranda Perea (lunes a viernes 11 a 12 O125), Ayudante Javier Enriquez Mendoza (mañanas 11 a 12 O125), Ayud. Lab. Pablo Gerardo González López (miércoles 14 a 16 Laboratorio de Ciencias de la Computación 2), and a presentation slot. Group 7070 includes Profesor Fernando Abigail Galicia Mendoza (lunes a viernes 11 a 12 P211), Ayudante Pedro Juan Salvador Sánchez Pérez (mañanas 11 a 12 P211), Ayud. Lab. María Ximena Lezama Hernández (miércoles 14 a 16 Laboratorio de Ciencias de la Computación 1), and a presentation slot.

Figura 2.1: Se muestra un ejemplo de una página de horarios de la Facultad. Se puede ver la información de los horarios de la materia “Lenguajes de Programación y sus Paradigmas”, de la carrera de Matemáticas, plan 1983, del semestre 2020-1.

La información que se puede extraer de las páginas mencionadas es: nombre de profesores, nombre de ayudantes, salón, horario, plan, carrera, año, número de semestre, materia,

semestre de la materia, tipo de materia e información de exámenes finales.

## 2.1. Estructura de las URL

Al iniciar la búsqueda de información notamos que las URL de las páginas web de los horarios de la Facultad tienen una estructura similar. Ésto nos permitió poder realizar la búsqueda de la información de una manera automática y mucho más rápida. Observamos que la estructura que siguen las URL mencionadas es la siguiente:

*<http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/a/b/c>*

Se tiene una raíz común para todas las páginas y al final se tienen tres números los cuales representan:

*a* = año y número de semestre

*b* = clave del plan de estudios

*c* = número de materia

Para este trabajo tomamos en cuenta sólo los planes de estudio vigentes hasta el semestre 2020-1. Es decir, tomamos todos los planes mostrados en la tabla Tabla 2.1, salvo el plan 1972 de Actuaría (el cual ya no está vigente). Dicha tabla muestra los planes de estudio de cada carrera con su clave correspondiente.

| PLAN                       | CLAVE |
|----------------------------|-------|
| Actuaría                   |       |
| 1972                       | 214   |
| 2000                       | 119   |
| 2006                       | 1176  |
| 2015                       | 2017  |
| Ciencias de la Computación |       |
| 1994                       | 218   |
| 2013                       | 1556  |
| Matemáticas                |       |
| 1983                       | 217   |
| Matemáticas Aplicadas      |       |
| 2017                       | 2055  |

Tabla 2.1: Se muestran los planes de estudio por carrera con clave. Se sustituye *b* por la clave de cada plan de estudios, en la estructura de las URL de las páginas de la Facultad.

Una vez identificada la estructura de las URL pudimos realizar la búsqueda de información de manera automatizada. Originalmente decidimos que  $c \in \{1, 2, 3, \dots, 10000\}$ . Después hicimos una función que genera una matriz llamada *mat\_posibles\_url*. La función sólo guarda las URL que si existen.

La descripción de lo que contiene cada columna de la matriz *mat\_posibles\_url* la podemos ver en la Tabla 2.2. Finalmente al obtener dicha matriz, observamos que el valor máximo que toma *c* es 991. Redujimos su conjunto de posibles valores y definimos  $c \in \{1, \dots, 1000\}$ .

| Col. | Nombre     | Explicación   | Posibles valores                         |
|------|------------|---|--|
| 1    | Semestre   | Semestre al que pertenece la materia (Año y semestre) | 20081, ..., 20192, 20201                 |
| 2    | Plan       | Año en el que se implementó un nuevo plan de estudios | 1983, 1994, 2000, 2006, 2013, 2015, 2017 |
| 3    | Materia    | Clave del curso impartido                             | N  |
| 4    | URL        | Nombres de las páginas de los horarios de la Facultad | Páginas web de la Facultad               |
| 5    | Num_Grupos | Número de grupos que hay en cada página de internet   | N  |

Tabla 2.2: Se muestra la descripción de las columnas de la matriz “mat\_posibles\_url”. La matriz contiene información de cada URL existente.

Decidimos buscar información en 25 semestres, del 2008-1 al 2020-1. Al multiplicar el número de semestres por los posibles valores de  $c$  obtuvimos  $25 \times c = 25,000$ . Este valor es una aproximación del número de posibles URL con información de los horarios de la Facultad. Notemos que no estamos contando los planes de estudio, de ser así el número supera las 170,000 posibles URL.

Deseamos obtener información de cada una de esas páginas. Obtener dicha información ingresando a cada una de ellas es muy tardado por lo que es necesario hacerlo de manera automatizada. Para extraer los datos de las páginas de la Facultad utilizamos una aplicación de *Google Chrome* llamada *SelectorGadget*. En la siguiente sección, explicaremos como obtuvimos los datos de las páginas de la Facultad con dicha aplicación.

## 2.2. Extracción de datos con la aplicación SelectorGadget

La aplicación *SelectorGadget* permite seleccionar la información deseada y arroja una sección del código CSS de una página web. Dicho código se introduce en *R* para poder seleccionar y descargar la información deseada.

A continuación veremos los pasos que se deben de seguir para obtener el código CSS de la información seleccionada. Los colores y señalizaciones mencionados hacen referencia a la Figura 2.2.

1. Presionar el ícono de la aplicación, el cual es una lupa (señalado por la flecha roja).
2. Seleccionar la información deseada (en color verde).
3. La aplicación automáticamente selecciona todas las entradas que coinciden (en color amarillo).
4. En caso de que se haya seleccionado más información de la deseada, dar click sobre la información excedente (en color rojo).
5. En el cuadro de texto, la aplicación arroja la sección del código CSS correspondiente a la información seleccionada. También muestra el número de entradas seleccionadas (en óvalos rojos).

[ciencias.unam.mx/docencia/horarios/20181/2017/625](http://ciencias.unam.mx/docencia/horarios/20181/2017/625)

## Actuaría (plan 2015)

### Probabilidad I, Tercer Semestre

Buscar en grupos

**Grupo 9017** 51 alumnos.

**Exámenes finales** lunes 8 de enero 2018 y lunes 15 de enero 2018 de 9 a 11 en el O219.

|   |                      |
|---|----------------------|
| Profesor <b>Juri Salazar Flores</b>           | lu mi vi 9 a 10 O219 |
| Ayudante <b>Elvia Jimena Vidrio Hernández</b> | ma ju 9 a 10 O219    |
| Ayudante <b>Even Zuriel Torres Villegas</b>   | ma ju 9 a 10         |

**Grupo 9018** 40 alumnos.

**Exámenes finales** miércoles 10 de enero 2018 y miércoles 17 de enero 2018 de 9 a 11 en el O218.

|   |                      |
|---|----------------------|
| Profesor <b>Fernando Baltazar Larios</b>        | lu mi vi 9 a 10 O218 |
| Ayudante Gabriela Stephanía Revueltas Hernández | ma ju 9 a 10 O218    |
| Ayudante Abraham Ramírez Hernández              | ma ju 9 a 10         |

**Grupo 9019** 45 alumnos.

**Exámenes finales** lunes 8 de enero 2018 y lunes 15 de enero 2018 de 9 a 11 en el O217.

|   |                      |
|---|----------------------|
| Profesor <b>Maria Clara Fittipaldi</b>    | lu mi vi 9 a 10 O217 |
| Ayudante Bruno Daniel Gómez Labra         | ma ju 9 a 10 O217    |
| Ayudante Brenda Liliana Transito Pimentel | ma ju 9 a 10         |

**Grupo 9020** 33 alumnos.

**Exámenes finales** lunes 8 de enero 2018 y lunes 15 de enero 2018 de 9 a 11 en el O216.

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Profesor <b>Manuel Domínguez de la Iglesia</b> | lu mi vi 9 a 10 O216            |
| Ayudante <b>Claudia Ivonne</b>                 | tr:nth-child(1) td:nth-child(2) |
| Presentación                                   | <b>Clear (15)</b>               |

Figura 2.2: En esta figura se muestra cómo se ve una página de horarios de la Facultad al usar la aplicación SelectorGadget mientras se selecciona la información que deseamos extraer.

En el ejemplo mostrado en la Figura 2.2, se seleccionaron 15 entradas correspondientes a los nombres de los profesores en una página con la información de la materia *Probabilidad I*, en el plan 2015 de Actuaría. Los pasos a seguir son los mismos sin importar la información que se desea obtener, lo único que cambia es el código CSS que arroja la aplicación.

Sabiendo ésto, hicimos un ciclo en *R* que recorre todas las posibles combinaciones de las URL. Encontramos 3 principales tipos de grupos, los cuales describiremos en la siguiente sección.

### 2.3. Tipos de grupos en las páginas web de la Facultad de Ciencias

Cada uno de los 3 tipos de grupos encontrados contienen información similar. Hicimos la separación de acuerdo a sus diferencias. Cabe mencionar que en este trabajo consideramos como semestre actual al semestre 2020 – 1. En todos los grupos se puede encontrar la información del nombre de profesor, nombre del o de los ayudantes, salón, horario y el número de alumnos inscritos en el grupo.

- En el tipo A se tienen las páginas correspondientes al semestre actual. Este tipo de grupo tiene la información del número de lugares disponibles por salón, pero no contiene

### 2.3. TIPOS DE GRUPOS EN LAS PÁGINAS WEB DE LA FACULTAD DE CIENCIAS13

la información de los exámenes finales, porque se considera que el semestre está en curso y aún no termina. En la Figura 2.3 podemos ver un ejemplo de este tipo de grupo.

| Grupo 9301, 129 lugares. 84 alumnos   |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Profesor Jose Luis Navarro Urrutia    | lu mi vi 13 a 14 Aula Magna I |
| Ayudante Luz Candy Becerril Palacios  | ma ju 13 a 14 Aula Magna I    |
| Ayudante Gabriela Yaneth Romo Cordoba | ma ju 13 a 14                 |
| Ayudante Adrián Gallardo Pacheco      | ma ju 13 a 14                 |

Figura 2.3: Se muestra un ejemplo de un grupo de tipo A. Corresponde al semestre actual (2020-I).

- b) En el tipo **B** se tienen las páginas correspondientes a semestres entre el 2018 – 2 y el 2019 – 2 (semestre anterior al actual). En este tipo de grupos se tiene información del número de lugares disponibles por salón y la información de los exámenes finales. Ésto porque son semestres que ya finalizaron. En la figura Figura 2.4 encontramos un ejemplo de este tipo de grupo.

| Grupo 9027, 112 lugares. 68 alumnos  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>Exámenes finales</b> martes 29 de mayo 2018 y martes 5 de junio 2018 de 18 a 20 |                               |
| Profesor Martín Martínez Estrada   | lu mi vi 18 a 19 Aula Magna I |
| Ayudante Eleazar Bello Cervantes   | ma ju 18 a 19 Aula Magna I    |
| Ayudante José Eduardo Quintero García  | ma ju 18 a 19                 |

#### Presentación

Figura 2.4: Se muestra un ejemplo de un grupo de tipo B. Corresponde a semestres ya finalizados, desde el 2018-2 hasta el 2019-2.

- c) En el tipo **C** se tienen las páginas correspondientes a semestres anteriores al 2018 – 1, incluyéndolo. Este tipo de grupos tiene información de los exámenes finales, pero no contiene la información del número de lugares disponibles por salón. En la figura Figura 2.5 podemos ver un ejemplo.

| Grupo 9259 72 alumnos   |                       |
|---|-----------------------|
| <b>Exámenes finales</b> jueves 11 de enero 2018 y jueves 18 de enero 2018 de 18 a 20. |                       |
| Profesor Francisco Sánchez Villarreal   | lu mi vi 18 a 19 P213 |
| Ayudante Santiago Lara Jiménez  | ma ju 18 a 19 P213    |
| Ayudante José Oscar Rosales Vergara   | ma ju 18 a 19         |

Figura 2.5: Se muestra un ejemplo de un grupo de tipo C. Corresponde a semestres ya finalizados, anteriores al semestre 2018-1, incluyéndolo.

## 2.4. Limpieza de base de datos

Se puede encontrar que, en general, cuando uno realiza la limpieza de datos se hace el 80% del análisis de los datos. Es en ese momento en donde se encuentran los diferentes problemas que se pueden presentar.

Se pueden encontrar posibles errores en los datos, información incompleta o valores poco comunes de acuerdo al comportamiento observado. Los problemas que encontramos al limpiar los datos se desglosan en las siguientes subsecciones. Para cada caso se agregó el link correspondiente a la página web del ejemplo.

### 2.4.1. Problemas de falta de información

Encontramos diferentes páginas que tenían grupos sin información e incluso páginas sin información alguna. Para guardar la información consideramos sólo los grupos que al menos tenían: nombre de profesor, número de alumnos inscritos y horario. A continuación se muestran varios ejemplos con los diferentes casos de falta de información encontrados.

- En la Figura 2.6 vemos un ejemplo de páginas en las cuales se tiene el nombre de la materia, pero no hay información de algún grupo: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20081/1556/803>.

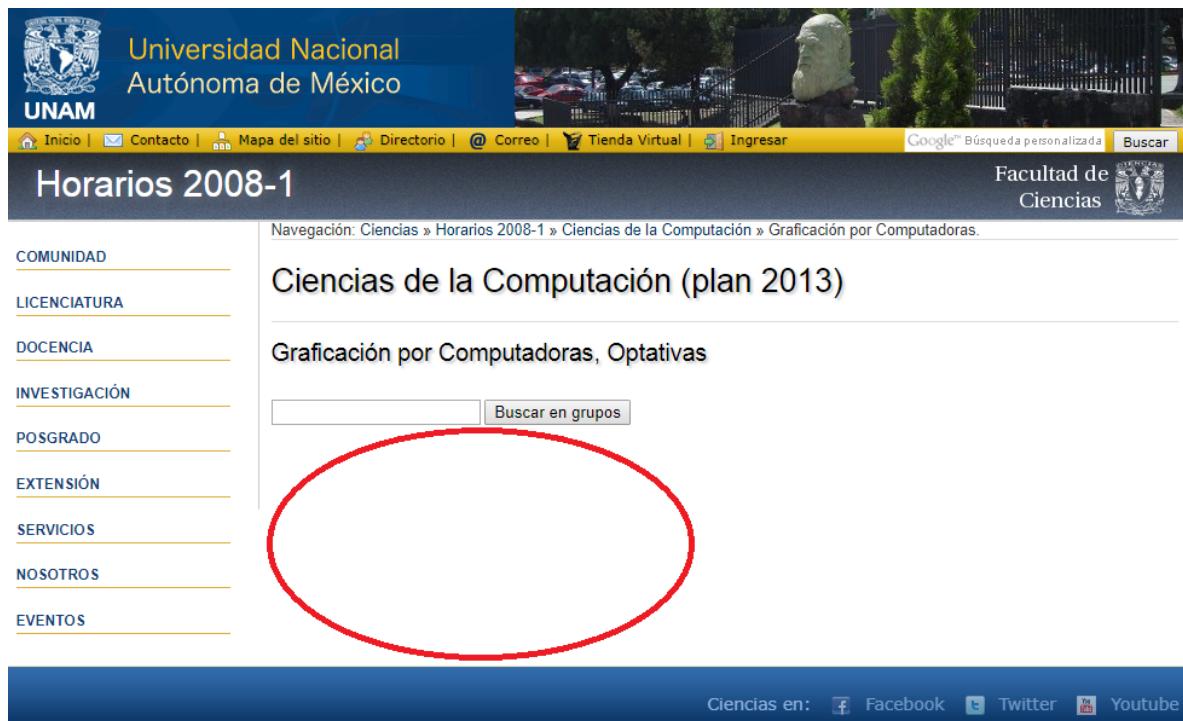


Figura 2.6: Se muestra un ejemplo de página web en blanco para la materia “Graficación por Computadoras”. En este tipo de páginas no encontramos información de ningún grupo.

- En la Figura 2.7 encontramos un ejemplo de páginas que no tienen información del salón: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20081/119/4>.

## Actuaría (plan 2000)

### Álgebra Moderna IV, Optativas

Buscar en grupos

#### Grupo 4250 6 alumnos.

Profesor José Ríos Montes lu mi vi 13 a 14

Ayudante ma ju 13 a 14



Figura 2.7: Se muestra un ejemplo de grupo sin información de salón. En este tipo páginas no se muestra el salón en el que se imparte la clase.

- En la Figura 2.8 tenemos un ejemplo de páginas que tienen grupos sin información del número de alumnos inscritos: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20112/119/630>.

## Actuaría (plan 2000)

### Procesos Estocásticos I, Optativas

Buscar en grupos

#### Grupo 6157 2 alumnos.

Profesor Fernando Guerrero Poblete lu mi vi 12 a 13 O216

Ayudante Héctor Alonso Olivares Aguayo ma ju 12 a 13 O216

Ayudante Rafael Martínez Sánchez ma ju 12 a 13

Ayudante Alfredo Hernández Lammoglia ma ju 12 a 13

#### Grupo 6192 3 alumnos.

Profesor Guillermo Garro Gómez lu mi vi 18 a 19 O122

Ayudante Martín Martínez Estrada ma ju 18 a 19 O122

#### Grupo 6193

Profesor Fernando Baltazar Larios lu mi vi 17 a 18 O221

Ayudante Estela Eréndira Zamora García ma ju 17 a 18 O221

Figura 2.8: Se muestra un ejemplo de grupo sin información de alumnos. En este tipo páginas encontramos grupos que no tienen el número de alumnos inscritos.

- En la Figura 2.9 vemos un ejemplo de páginas que tienen grupos sólo con el horario.

No tienen nombre del profesor, salón, ayudante, número de alumnos, ni lugares disponibles: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20091/119/841>.

## Actuaría (plan 2000)

### Variable Compleja II, Optativas

**Grupo 4521** 33 alumnos.

Profesor Guillermo Javier Francisco Sienra Loera lu mi vi 12 a 13 O123

Ayudante Adriana Andraca Gómez ma ju 12 a 13 O123

Presentación

**Grupo 4519**

Profesor lu mi vi 17 a 18

Ayudante ma ju 17 a 18

Figura 2.9: Se muestra un ejemplo de grupo sólo con horario. En este tipo páginas existen grupos que no tienen información del profesor o salón ni del número de alumnos inscritos. Sólo tienen la clave del grupo y el horario.

### 2.4.2. Problemas de información repetida

Dentro de los problemas de información repetida, para guardar la información, juntamos aquellas clases que provenían del mismo grupo. A continuación presentamos los casos que encontramos con el problema de tener información repetida.

- El número del plan de estudios corresponde al año en que entró en vigencia el plan. Por ejemplo, si se tiene un plan 2015 en Actuaría, entonces dicho plan comenzó a tener vigencia a partir del año 2015. Debido a ésto no debería de existir un horario con un plan posterior al año del semestre.

En la subfigura (a) de la Figura 2.10 podemos ver una materia de la carrera de Ciencias de la Computación del semestre 2008-2, con el plan 2013, lo cual no es cronológicamente correcto:

<http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20082/1556/803>.

En la subfigura (b) de la misma figura, vemos la información de la misma materia y del mismo grupo pero con el plan 1994:

<http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20082/218/803>.

Horarios 2008-2

Ciencias de la Computación (plan 2013)

Graficación por Computadoras, Optativas

Buscar en grupos

**Grupo 7054** 19 alumnos.

Profesor Ana Luisa Solís González-Cosío lu mi vi 12 a 13

Ayudante José Israel Figueroa Angulo ma ju 12 a 13

Ayud. Lab. Azael Nieves Ramírez

(a) *Plan de estudios posterior*

Horarios 2008-2

Ciencias de la Computación (plan 1994)

Graficación por Computadoras, Optativas

Buscar en grupos

**Grupo 7054** 19 alumnos.

Profesor Ana Luisa Solís González-Cosío lu mi vi 12 a 13

Ayudante José Israel Figueroa Angulo ma ju 12 a 13

Ayud. Lab. Azael Nieves Ramírez

(b) *Plan de estudios correspondiente*

Figura 2.10: Se muestra un ejemplo de información repetida por los planes de estudio. No deberían de existir grupos con planes posteriores al año del semestre en el que se busca información.

- Encontramos grupos correspondientes a una misma materia con nombres distintos para diferentes carreras.

En la subfigura (a) de la Figura 2.11 vemos un ejemplo con la información de la materia *Estadística III*, para la carrera de Matemáticas plan 1983: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20201/217/1712>.

En la subfigura (b) de la figura mencionada se muestra la información de la materia *Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo*, para la carrera de Actuaría plan 2015: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20201/2017/1739>.

Notamos que la información en ambos ejemplos es la misma. Sólo cambian las claves de los grupos y el nombre de las materias. Cabe mencionar que ambas páginas corresponden al semestre 2020-1.

## Matemáticas (plan 1983)

### Estadística III, Optativas de los Niveles VII y VIII

Buscar en grupos

#### Grupo 9259, 35 lugares. 11 alumnos.

Profesor Claudia Lara Pérez Soto lu mi vi 9 a 10 101 (Nuevo Edificio)

Ayudante Ventura Jimenez Martinez ma ju 9 a 10 101 (Nuevo Edificio)

#### Grupo 9261, 81 lugares. 32 alumnos.

Profesor Sofía Villers Gómez lu mi vi 9 a 10 306 (Yelizcalli)

Ayudante Amílcar José Escobedo Pérez ma ju 9 a 10 306 (Yelizcalli)

#### Grupo 9263, 56 lugares. 9 alumnos.

Profesor Luis Antonio Rincón Solís lu mi vi 9 a 10 P102

Ayudante José Luis Miranda Olvera ma ju 9 a 10 P102

(a) *Matemáticas plan 1983*

## Actuaría (plan 2015)

### Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo, Séptimo Semestre

Buscar en grupos

#### Grupo 9258, 35 lugares. 11 alumnos.

Profesor Claudia Lara Pérez Soto lu mi vi 9 a 10 101 (Nuevo Edificio)

Ayudante Ventura Jimenez Martinez ma ju 9 a 10 101 (Nuevo Edificio)

#### Grupo 9260, 81 lugares. 32 alumnos.

Profesor Sofía Villers Gómez lu mi vi 9 a 10 306 (Yelizcalli)

Ayudante Amílcar José Escobedo Pérez ma ju 9 a 10 306 (Yelizcalli)

#### Grupo 9262, 56 lugares. 9 alumnos.

Profesor Luis Antonio Rincón Solís lu mi vi 9 a 10 P102

Ayudante José Luis Miranda Olvera ma ju 9 a 10 P102

(b) *Actuaría plan 2015*

Figura 2.11: Se muestra un ejemplo de información repetida por materia con nombres distintos. En estos casos se tienen materias que tienen nombres diferentes de acuerdo a la carrera o plan de estudios.

- Encontramos grupos con profesores que imparten dos o más clases distintas en el mismo horario y diferente salón.

En la subfigura (a) de la Figura 2.12 se observa un ejemplo con la información de la materia *Ecuaciones Diferenciales I*, del semestre 2011-1: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20111/2017/162>.

En la subfigura (b) de la figura mencionada se muestra la información de la mate-

ria *Cálculo Diferencial e Integral I*, del semestre 2011-1: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20111/2017/91>.

Las materias mencionadas son diferentes, pero las clases comienzan a la misma hora, *Ecuaciones Diferenciales I* de 18-19hrs y *Cálculo Diferencial e Integral I* de 18-20hrs. Dado que se tiene la misma ayudante pudiera ser que se intercambien las horas, pero no se puede asignar más de una clase a la misma hora al mismo profesor.

## Actuaría (plan 2015)

### Ecuaciones Diferenciales I, Cuarto Semestre

Grupo 1772 15 alumnos.

Profesor Edgar René Hernández Martínez lu mi vi 18 a 19 C123  
 Ayudante Norma Angélica Cruz Cervantes ma ju 18 a 19 C123

(a) *Ecuaciones Diferenciales I*

## Actuaría (plan 2015)

### Cálculo Diferencial e Integral I, Primer Semestre

Grupo 4039 54 alumnos.

Profesor Edgar René Hernández Martínez lu a vi 18 a 19 Taller Interdisciplinario de Física y Biomedicina I  
 Ayudante Norma Angélica Cruz Cervantes lu mi vi 19 a 20 Taller Interdisciplinario de Física y Biomedicina I  
 Ayudante Luis Felipe Rivera Flores

(b) *Cálculo Diferencial e Integral I*

Figura 2.12: Se muestra un ejemplo de información repetida por tener un mismo profesor impartiendo materias distintas, en distinto salón, a la misma hora.

### 2.4.3. Otros problemas al extraer información

En algunos de los problemas que surgieron, encontramos detalles particulares que tuvimos que resolver caso por caso. Ésto para poder guardar la información de manera adecuada. A continuación se presentan los diferentes casos encontrados:

- Dentro de la obtención de datos del número de alumnos, no se lee la información cuando se tiene “*Un alumno*”, ya que no se reconoce el texto “*Un*” como el número 1. En la Figura 2.13 vemos un ejemplo de este caso: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20081/119/1809>.

**Grupo 6125** Un alumno.

Profesor Reyna Pineda González lu mi vi 21 a 22 102

Ayudante Elmo Jesús Viloria López ma ju 21 a 22 102

Figura 2.13: Se muestra un ejemplo de grupo con el texto “Un” y no el número 1.

Para resolver este problema se identificó la variable tipo *string* igual a “*Un*” para convertir la información y así poder utilizar los datos obtenidos.

- El algoritmo supone que todas las clases duran una hora y no se consideran las medias horas. En la Figura 2.14 mostramos un ejemplo: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20172/1556/820>. Se considera que esa materia inicia a las 18hrs.

**Grupo 7014**, 41 lugares. 19 alumnos.

Profesor Luis Alberto Ramírez Bermudez ma ju 18:30 a 20 Taller de Control y Electrónica

Ayudante Valente Vázquez Velázquez lu mi 20 a 21 Taller de Control y Electrónica

Ayud. Lab. Valente Vázquez Velázquez ju 14 a 16 Taller de Control y Electrónica

Figura 2.14: Se muestra un ejemplo de grupo con medias horas. Se considera que las materias inician en horas enteras y no a las medias horas.

- Se tienen materias con múltiples horarios. En estos casos sólo se registran los horarios y salones en los que los profesores imparten su clase, no se toman en cuenta las clases impartidas por los ayudantes.

En la Figura 2.15 tenemos un ejemplo de este caso: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20181/2055/1323>. El profesor imparte su clase los lunes, miércoles y viernes de 13-14hrs en el salón O215, hay una ayudantía los martes y jueves de 13-14hrs en el salón O215 y otra ayudantía los martes de 11-13hrs en el salón 304 (Yelizcalli). Se considera que esta materia inicia a las 13hrs y se imparte en el salón O215.

## Matemáticas Aplicadas (plan 2017)

Modelado y Programación, Investigación de Operaciones

|  |                  |
|--|------------------|
|  | Buscar en grupos |
|--|------------------|

**Grupo 7035**, 52 lugares. 44 alumnos.

**Exámenes finales** martes 9 de enero 2018 y martes 16 de enero 2018 de 13 a 15 en el O215.

Profesor José de Jesús Galaviz Casas lu mi vi 13 a 14 O215

Ayudante José Ricardo Rodríguez Abreu ma ju 13 a 14 O215

Ayud. Lab. Norma Verónica Trinidad Hernández ma 11 a 13 304 (Yelizcalli)

Figura 2.15: Se muestra un ejemplo de grupo con horarios múltiples. En estos grupos sólo se toman en cuenta los horarios y salones en los que los profesores imparten clase.

- Las materias de inglés no se imparten todos los días de la semana, en algunos casos se imparten clases en línea. Se registran únicamente los horarios de los días en que se imparten las clases presenciales. En la Figura 2.16 mostramos un ejemplo de este caso: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20202/2017/1135>.

Grupo 9296, 45 lugares. 20 alumnos.  
 Profesor Lilian Moreno Roldán sá 7 a 9 Sesión virtual  
 ma 4 a 16 P207

Figura 2.16: Se muestra un ejemplo de un grupo de inglés. Las clases no se imparten todos los días. Hay sesiones virtuales. Sólo se toma en cuenta el horario de las clases presenciales.

- Se tienen grupos que no tienen la misma estructura que los tipos de grupos A, B y C definidos en la Sección 2.3, debido a ello el código CSS utilizado no sirve para extraer toda la información que se puede obtener del grupo. En la Figura 2.17 tenemos un ejemplo de este caso en donde no se lee adecuadamente el número de alumnos inscritos en el grupo: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20201/2017/872>.

## Actuaría (plan 2015)

### Seminario de Investigación de Operaciones, Optativas

Grupo 9305 11 alumnos.  
 Juegos Evolutivos

Exámenes finales miércoles 27 de noviembre 2019 y miércoles 4 de diciembre 2019 de 10 a 12.

Profesor Claudia Villegas Azcorra lu mi vi 10 a 11 Grupo paralelo. Se impartirá en el Taller de Demografía.  
 Ayudante Diego Eugenio Vallejo Carpintero ma ju 10 a 11 Grupo paralelo. Se impartirá en el Taller de Demografía.

Figura 2.17: Se muestra un ejemplo de grupo con estructura diferente. En estos casos no se extrae adecuadamente la información de los grupos porque el código CSS utilizado no corresponde a este tipo de grupos.

## 2.5. Matrices de datos

Una vez que se realizó el proceso de limpieza de los datos obtenidos, éstos se guardaron, por semestre, en matrices llamadas *m\_grande*. Los nombres de sus columnas con su respectiva explicación y posibles valores, se muestran en la siguiente tabla. Cabe aclarar que la abreviatura *CdC* denota *Ciencias de la Computación* y *MatAp* denota *Matemáticas Aplicadas*.

| Col. | Nombre   | Explicación   | Posibles valores         |
|------|----------|---|--------------------------|
| 1    | Materia  | Nombre de algún curso impartido en la Facultad        | “Probabilidad I”, ...    |
| 2    | Profesor | Nombre de la persona que va a impartir alguna materia | “Arrigo Coen Coria”, ... |

La tabla continúa en la siguiente página

| Col. | Nombre              | Explicación  | Posibles valores                    |
|------|---------------------|--|-------------------------------------|
| 3    | Horario             | Hora en la que se imparte alguna materia   | “7 a 8”, ..., “21 a 22”             |
| 4    | horario_num         | Valores de la columna <i>Horario</i> en variables tipo <i>numeric</i>                | 7, 8, 9, ..., 20, 21                |
| 5    | Lugares             | Espacios disponibles por salón   | N                                   |
| 6    | Alumnos             | Número de estudiantes inscritos por grupo  | N                                   |
| 7    | Salón               | Espacio físico en el que se imparte alguna materia                                   | “O218”, ..., “P105”, ...            |
| 8    | Grupo               | Clave con la que se identifica una asignación  | 4489, 6114, ...                     |
| 9    | Carrera             | Nombre de alguna carrera de la Facultad  | “Actuaría”, “Matemáticas”, ...      |
| 10   | Plan                | Año en el que se implementó un nuevo plan de estudios                                | 1983, 1994, ..., 2017               |
| 11   | Semestre            | Semestre al que pertenece la materia (Año y semestre par o impar)                    | 20081, ..., 20192, 20201            |
| 12   | Cambios             | Clave que indica los cambios que se le han hecho al grupo                            | 1, 2, 3, 4, 5                       |
| 13   | Turno               | Matutino: 7:00-14:00hrs, Vespertino: 15:00-21:00                                     | M,V                                 |
| 14   | Semestre_de_materia | Semestre en el que el plan de estudios dicta que se lleva esa materia                | “Primer Semestre”, ..., “Optativas” |
| 15   | URL                 | Dirección de una página web de los horarios de la Facultad correspondiente al grupo  | URL de la Facultad                  |
| 16   | Act2000             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de Actuaría, plan 2000    | 0, 1                                |
| 17   | Act2006             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de Actuaría, plan 2006    | 0, 1                                |
| 18   | Act2015             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de Actuaría, plan 2015    | 0, 1                                |
| 19   | CdC1994             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de CdC, plan 1994         | 0, 1                                |
| 20   | CdC2013             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de CdC, plan 2013         | 0, 1                                |
| 21   | Mat1983             | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de Matemáticas, plan 1983 | 0, 1                                |
| 22   | MatAp2017           | Columna binaria, indica si el grupo pertenece a la carrera de MatAp, plan 2017       | 0, 1                                |

La tabla continúa en la siguiente página

| Col. | Nombre         | Explicación  | Posibles valores                   |
|------|----------------|--|------------------------------------|
| 23   | NomMat_Act2000 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2000    | Nombres de materias de la Facultad |
| 24   | NomMat_Act2006 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2006    | Nombres de materias de la Facultad |
| 25   | NomMat_Act2015 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2015    | Nombres de materias de la Facultad |
| 26   | NomMat_CdC1994 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de CdC plan 1994         | Nombres de materias de la Facultad |
| 27   | NomMat_CdC2013 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de CdC plan 2013         | Nombres de materias de la Facultad |
| 28   | NomMat_Mat1983 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de Matemáticas plan 1983 | Nombres de materias de la Facultad |
| 29   | NomMat_MAp2017 | Indica el nombre de la materia correspondiente a la carrera de MatAp plan 2017       | Nombres de materias de la Facultad |
| 30   | URL_Act2000    | Indica la URL correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2000                     | URL de la Facultad                 |
| 31   | URL_Act2006    | Indica la URL correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2006                     | URL de la Facultad                 |
| 32   | URL_Act2015    | Indica la URL correspondiente a la carrera de Actuaría plan 2015                     | URL de la Facultad                 |
| 33   | URL_CdC1994    | Indica la URL correspondiente a la carrera de CdC plan 1994                          | URL de la Facultad                 |
| 34   | URL_CdC2013    | Indica la URL correspondiente a la carrera de CdC plan 2013                          | URL de la Facultad                 |
| 35   | URL_Mat1983    | Indica la URL correspondiente a la carrera de Matemáticas plan 1983                  | URL de la Facultad                 |
| 36   | URL_MAp2017    | Indica la URL correspondiente a la carrera de MatAp plan 2017                        | URL de la Facultad                 |
| 37   | Num_materia    | Número de materia asignado (ver Sección 4.1)   | 1, 2, ..., 202                     |

Tabla 2.3: En esta tabla se describe el contenido de las columnas de las matrices “m\_grande”. En ellas se guarda la información de las páginas de la Facultad por semestres.

La columna *Cambios*, va a guardar todos los cambios que ha tenido cada grupo. El significado de los números que pueden aparecer en esa columna se explican a continuación:

- (1) Grupos que se revisaron individualmente por tener detalles particulares.
- (2) Se anotaron los días en los que se imparte la materia, en la columna *Horario*. Por ejemplo cuando había conflicto debido a que el profesor impartía más de una materia a la misma hora, al revisar el caso se encontró que los días en los que se impartía la clase era distinto.
- (3) Se eliminaron los grupos repetidos al juntar la información en un mismo grupo.
- (4) Páginas que no tienen información del salón.
- (5) Actualización del número de materia por cambio de nombre o agrupamiento de materias.

Con las matrices *m\_grande* de los semestres del 2008-1 al 2020-1, definimos la matriz *m\_grande\_total*. La información de esta matriz será utilizada a lo largo del trabajo.

# Capítulo 3

## Análisis estadístico

Debido a la naturaleza de los datos, las herramientas elegidas para realizar un análisis estadístico de los datos fueron las series de tiempo. A continuación se describe su definición y aplicación para explicar el motivo de la elección de dichas herramientas estadísticas.

Definimos a una serie de tiempo como una secuencia de observaciones  $X_t$  ordenadas cronológicamente. Los datos al tiempo presente dependen de las observaciones anteriores, es decir existe una dependencia de  $X_t$  con  $\{X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_2, X_1, X_0, \dots\}$ .

Denotamos a una serie de tiempo como:

$$X_t = m_t + s_t + y_t, \quad (3.1)$$

donde las componentes de la serie de tiempo ( $m_t, s_t, y_t$ ) tienen las siguientes propiedades:

- Tendencia ( $m_t$ ): Se le llama tendencia al cambio, a largo plazo, del promedio de los datos. El cambio puede ser creciente o decreciente.
- Estacionalidad ( $s_t$ ): Se llama variación estacional a las fluctuaciones periódicas que tiene una serie de tiempo. La longitud de cada periodo es constante y por lo general menor o igual a un año. Por ejemplo puede haber estacionalidad semanal, mensual o semestral.
- Aleatoriedad ( $y_t$ ): También llamada componente irregular, son series de residuales que pueden o no ser aleatorios.

Chatfield y Xing, en su libro *The Analysis of Time Series An Introduction with R* [3], nos indican que existen 2 tipos de variación estacional:

- a) Aditiva: Se dice que la estacionalidad es aditiva cuando la longitud de cada periodo es constante año con año.
- b) Multiplicativa: Se dice que la estacionalidad es multiplicativa cuando la longitud de cada periodo es directamente proporcional a la media de los datos de la serie de tiempo.

Con estos tipos de variaciones se forman 3 modelos de estacionalidad:

1. Aditivo: En este modelo se tiene variación estacional aditiva. Se utiliza cuando la varianza o la desviación estándar de la serie de tiempo se mantienen constantes a lo largo

del tiempo. El modelo aditivo se denota como:

$$X_t = m_t + s_t + y_t. \quad (3.2)$$

2. Multiplicativo: En este modelo se tiene variación estacional multiplicativa. Se utiliza cuando la varianza o la desviación estándar de los datos cambian a través del tiempo. Su variabilidad puede ser mayor o menor conforme pasa el tiempo. El modelo multiplicativo se denota como:

$$X_t = m_t s_t y_t. \quad (3.3)$$

3. Mixto: Este modelo se utiliza cuando se tiene variación estacional multiplicativa pero la variabilidad de la componente irregular se mantiene constante a lo largo del tiempo. El modelo mixto se denota como:

$$X_t = m_t s_t + y_t. \quad (3.4)$$

Los objetivos principales al hacer el análisis de una serie de tiempo son:

- Describir: Leer datos en una tabla es mucho más tardado y en algunas ocasiones más complicado que observar una gráfica de los datos que se tienen. Las gráficas ayudan a ver de una manera más inmediata el comportamiento que tienen los datos y es posible observar si la serie de tiempo tiene alguna tendencia o estacionalidad. También se puede ver la posible falta de información o valores atípicos.
- Predecir: Teniendo una serie de tiempo se desea conocer qué va a pasar en el futuro. Es conveniente tener varios períodos de información para que la predicción sea lo más acertada posible.

Las áreas en las que se pueden aplicar las series de tiempo son por ejemplo en economía, demografía, finanzas, medio ambiente o medicina. En estas áreas, algunos ejemplos de su aplicación son: precios de acciones diarios, niveles de producción en la agricultura mensuales, medición del sonido por segundos, barriles de petróleo producidos al año, electrocardiogramas, medición de terremotos, tasa de mortalidad, tasa de natalidad, entre otros.

### 3.1. Análisis estadístico básico

En esta sección haremos un análisis básico de los datos correspondientes a las carreras del Departamento de Matemáticas. Para dicho análisis utilizamos series de tiempo. Con la función `ts()` de *R*, convertimos los datos del número total de alumnos, en una serie de tiempo. En la serie hay un dato para cada semestre del 2008-1 al 2020-1. Aplicamos la función `decompose()` a la serie de tiempo creada. Esta función utiliza el método de promedios móviles para descomponer la serie. Con ésto, obtuvimos un objeto de la clase `decomposed.ts` de *R*. A este objeto lo llamamos `num_total_alum.Comp`. Los elementos que tiene `num_total_alum.Comp` son los siguientes:

- *x*: Los valores observados de la serie de tiempo ( $X_t$ ).
- *seasonal*: Valores estimados de la componente estacional de la serie de tiempo ( $\hat{s}_t$ ).

- *figure*: Vector con los promedios del efecto estacional. La longitud del vector es igual a la frecuencia de los datos en la serie de tiempo. En este caso la longitud es 2 porque los datos son semestrales.
- *trend*: Valores estimados de la componente de tendencia ( $\hat{m}_t$ ).
- *random*: Valores estimados de la componente irregular ( $\hat{\epsilon}_t$ ).
- *type*: Tipo de variación estacional (“additive”).

Graficamos `num_total_alum.Comp` para poder ver las componentes de la serie de tiempo (ver Figura 3.1). Se observan 4 diferentes gráficas, en la primera, de arriba hacia abajo, se observan los datos reales del número total de alumnos para cada semestre ( $X_t$ ). En la segunda se muestra  $\hat{m}_t$ , la cual notamos que es creciente. En la tercera vemos  $\hat{s}_t$ , nos indica que los datos tienen una estacionalidad semestral. En la cuarta se ve  $\hat{\epsilon}_t$ , la cual ya no tiene estacionalidad ni tendencia.

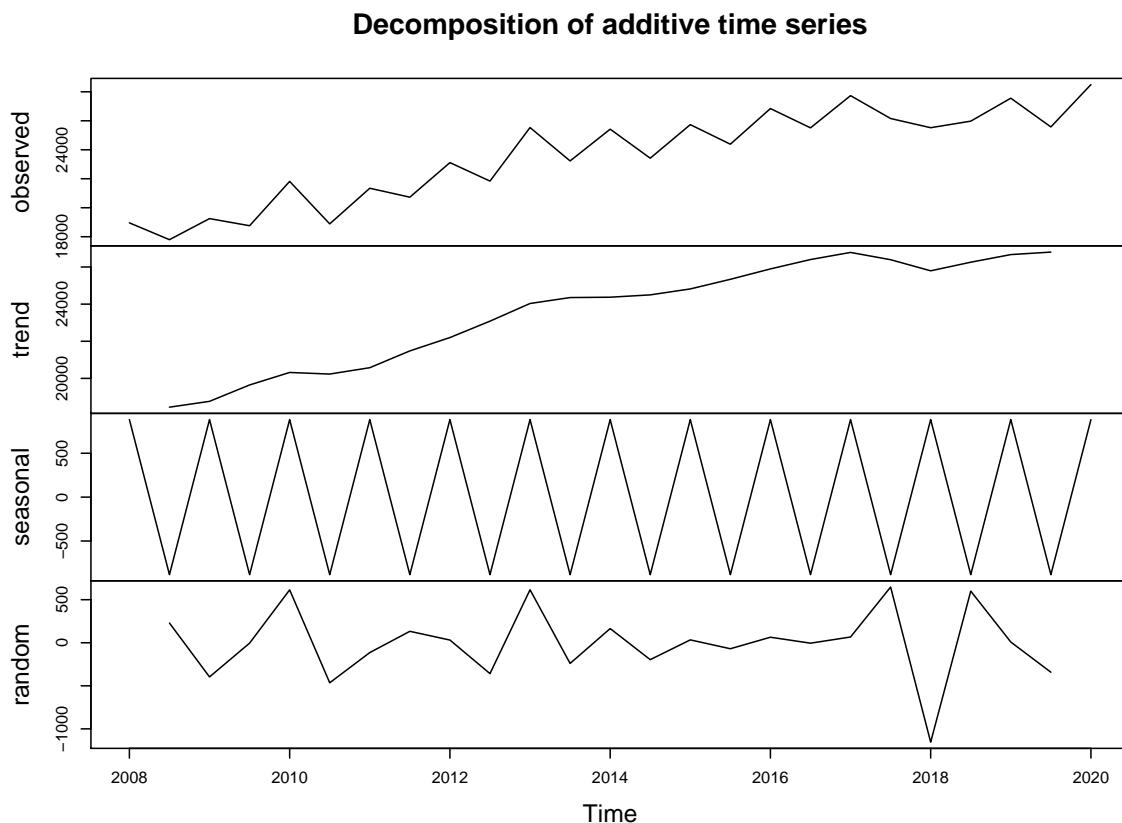


Figura 3.1: Se muestra la descomposición por el método de promedios móviles con la función “`decompose()`”. Los datos corresponden al número total de alumnos por semestre del 2008-1 al 2020-1.

Las técnicas de suavizamiento de series de tiempo son útiles para mostrar patrones subyacentes en los datos de las series de tiempo. El método que vamos a utilizar para mostrar dichos patrones de los datos es el método Holt-Winters aditivo. Este método se utiliza para describir y predecir valores con series de tiempo que tienen componentes de tendencia lineal y de estacionalidad.

Para probar éstos supuestos, existen diversas pruebas estadísticas. En las siguientes subsecciones veremos algunas de ellas. En cada una de las subsecciones presentaremos algunas gráficas de series de tiempo y otras de sus valores acumulados. Con ellas observaremos el comportamiento de los datos. De esta manera comprobaremos que los datos cumplen con los supuestos del método.

### 3.1.1. Prueba de tendencia

Al inicio de este capítulo vimos que se le llama tendencia al cambio, a largo plazo, del promedio de los datos. En la Figura 3.2 se muestran las gráficas del promedio del número de alumnos que toman clases por semestre de todas las materias. En la subfigura izquierda los datos están graficados como serie de tiempo. En la subfigura derecha la línea roja representa el ajuste de la tendencia, con un modelo de regresión lineal.

Observamos que los valores tienen una tendencia creciente, ésto nos indica que cada semestre, en promedio, el número de alumnos incrementa en la Facultad.

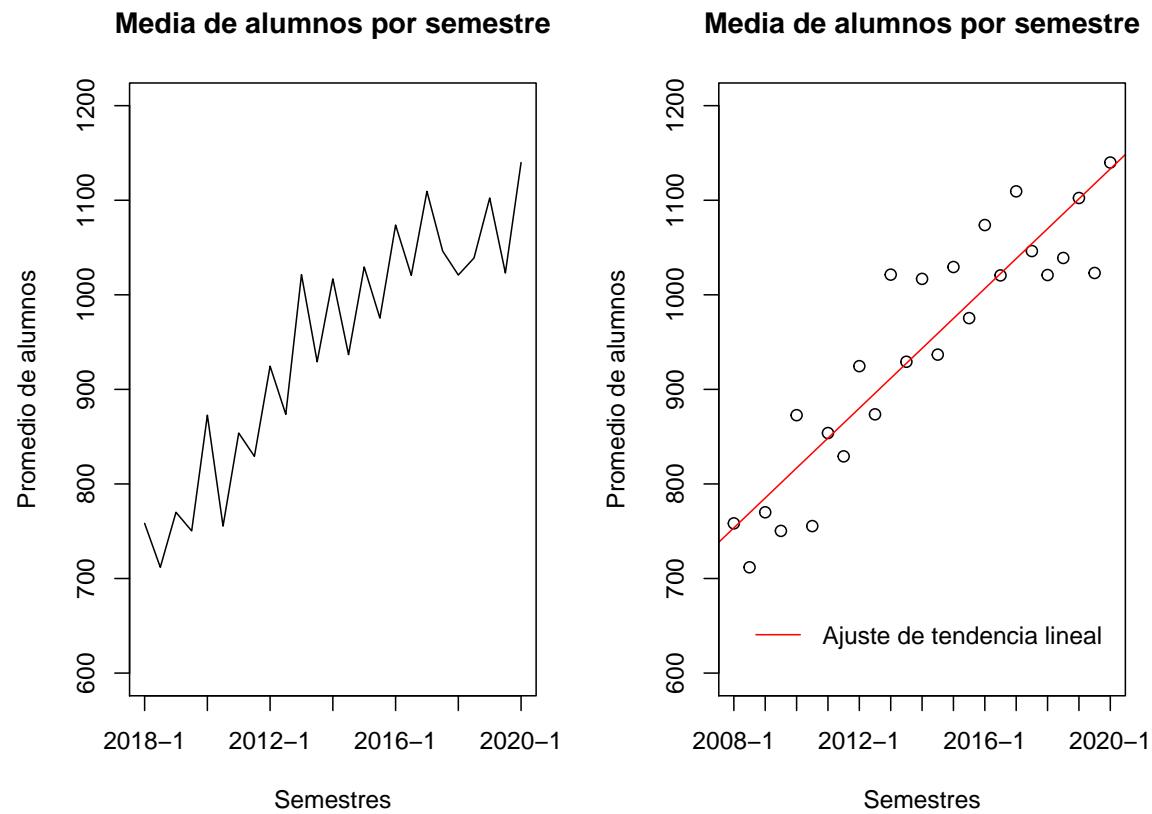


Figura 3.2: Se observa una tendencia creciente en la media de alumnos por semestre. La información corresponde a los semestres del 2008-1 al 2020-1.

Para probar que los datos no son aleatorios utilizamos la función `cox.stuart.test(X)`, de *R*. Dicha función corresponde a la prueba Cox-Stuart, que tiene como hipótesis nula  $H_0$ : Los datos provienen de una muestra aleatoria. En la Figura 3.3 se muestran los resultados de la prueba.

```
> cox.stuart.test(prom_alum)

Cox Stuart test

data: vec_prom_total_alum
statistic = 12, n = 12, p-value = 0.0004883
alternative hypothesis: non randomness
```

Figura 3.3: Se muestran los resultados de la prueba Cox-Stuart. Esta prueba se utiliza para probar la aleatoriedad de los datos.

Por [2] sabemos que se rechaza  $H_0$  si  $p\text{-value} \leq \alpha$ , siendo  $\alpha$  el nivel de significancia. Sea  $\alpha = 0.01$ . Como vemos en la Figura 3.3,  $p\text{-value} = 0.0004 \leq 0.01 = \alpha$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. Con ésto podemos concluir que los datos no provienen de una muestra aleatoria. Ésto nos indica que los datos pueden tener una tendencia creciente o decreciente.

Para probar que los datos tienen una tendencia creciente utilizamos la misma prueba pero con otra alternativa. El comando en *R* es: `cox.stuart.test(X, alternative="left.sided")`. Dicha prueba tiene como hipótesis nula  $H_0$  : Los datos tienen una tendencia creciente.

En la Figura 3.4 se muestran los resultados de la prueba. Podemos ver que  $p\text{-value} = 1 > 0.01 = \alpha$  por lo tanto no se rechaza  $H_0$ . Con ello concluimos que los datos tienen una tendencia creciente.

```
> cox.stuart.test(prom_alum, alternative = "left.sided")

Cox Stuart test

data: vec_prom_total_alum
statistic = 12, n = 12, p-value = 1
alternative hypothesis: decreasing trend
```

Figura 3.4: Se muestran los resultados de la prueba Cox-Stuart para tendencia. Con la alternativa elegida, esta prueba se utiliza para probar si los datos tienen una tendencia creciente.

Con el ajuste de tendencia lineal y las pruebas Cox-Stuart, concluimos que los datos tienen una tendencia lineal creciente.

### 3.1.2. Prueba de estacionalidad

En la Figura 3.5 se muestra la gráfica de barras con el número total de alumnos por semestre. A simple vista notamos que los datos tienen estacionalidad semestral. Podemos ver que, en general, el número de alumnos de los semestres impares es mayor al de su siguiente semestre par. Este fenómeno los vimos en la Figura 1.1 al hacer el análisis correspondiente a los datos de la materia *Probabilidad I*.

Para probar que los datos tienen variación estacional utilizamos la función `qs(X)`, de *R*. Dicha función corresponde a la prueba QS que tiene como hipótesis nula  $H_0$  : No hay estacionalidad en la serie de tiempo.

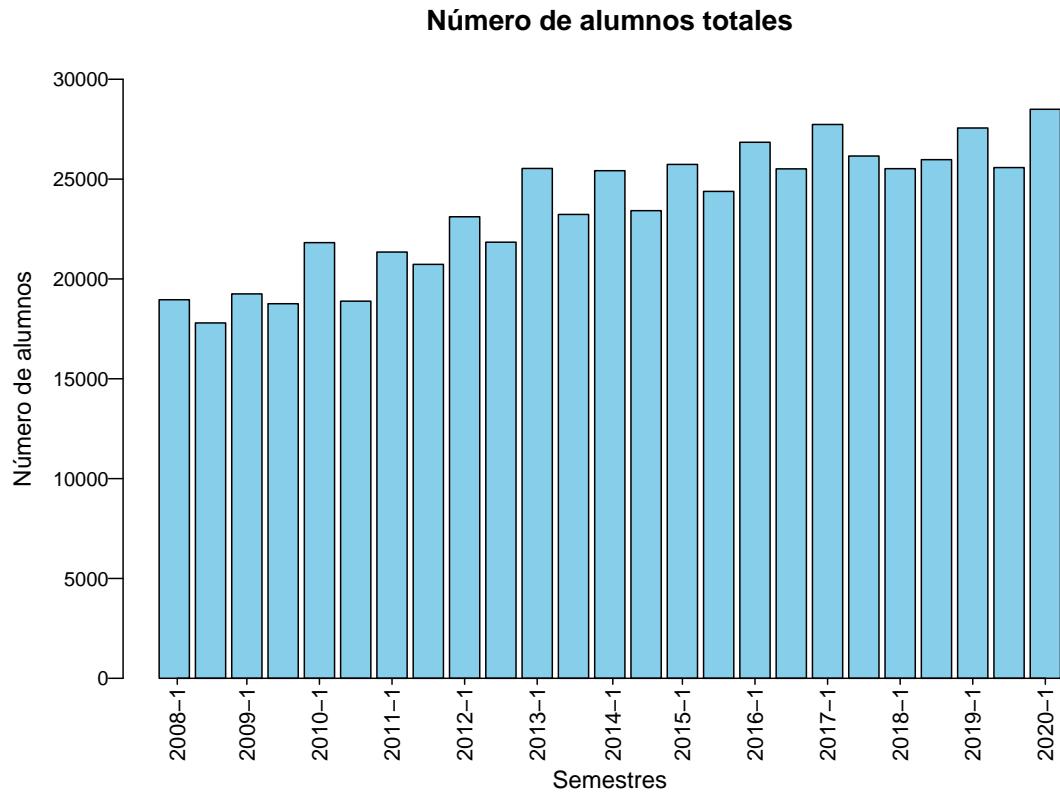


Figura 3.5: Se muestra la gráfica de barras del número total de alumnos inscritos por cada semestre. Se observa que año con año el número aumenta. En general, el número de alumnos de los semestres impares es mayor que el de su respectivo semestre par.

En la Figura 3.6 se muestran los resultados de la prueba QS. Podemos ver que  $p\text{-value} = 1.47 \times 10^{-6} \leqslant 0.01 = \alpha$  por lo tanto se rechaza  $H_0$ . Con ello concluimos que los datos tienen variación estacional.

```
> qs(num_total_alum.ts,freq = 2)
Test used:  QS

Test statistic: 26.86
P-value: 1.473075e-06
```

Figura 3.6: Se muestran los resultados de la prueba QS. Esta prueba se utiliza para probar si los datos tienen estacionalidad.

### 3.1.3. Prueba de homocedasticidad

El término homocedasticidad se utiliza cuando los datos tienen varianza constante. En nuestro caso, nos interesa probar que el número de alumnos totales tiene varianza constante. Ésto para comprobar que el modelo de estacionalidad adecuado para nuestros datos es el aditivo.

En la Figura 3.7 se muestra la gráfica de la desviación estándar del número de alumnos por grupo y por semestre de todas las materias. Observamos que los valores se mantienen constantes a lo largo del tiempo, en un rango de entre 24 y 29 alumnos.

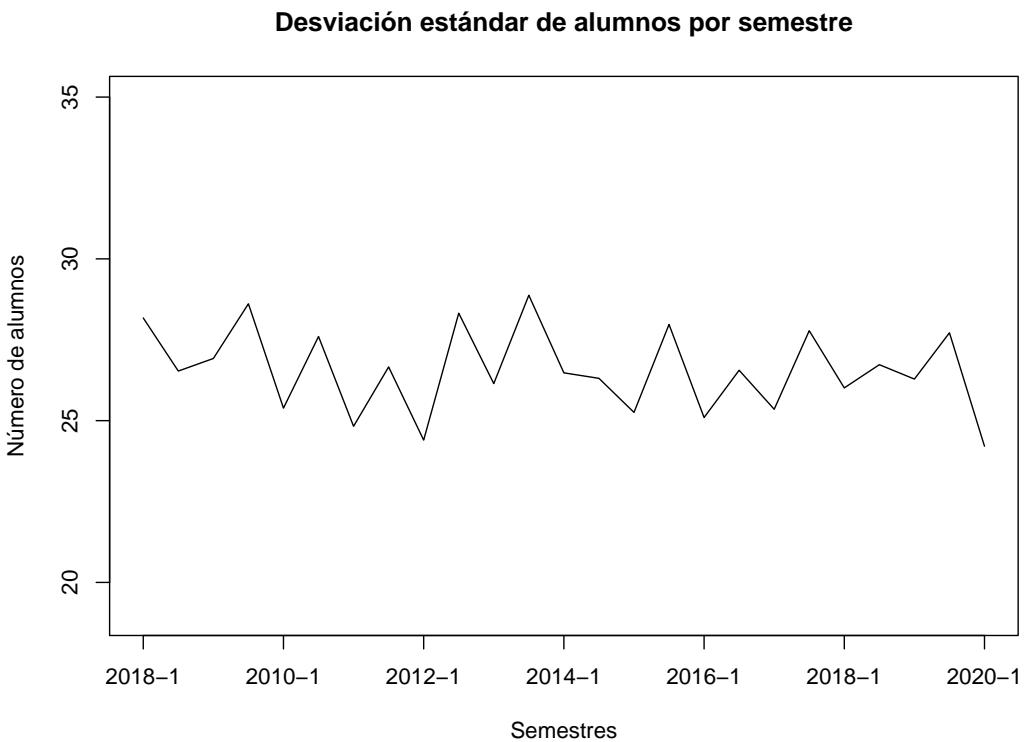


Figura 3.7: Se muestra la desviación estándar del número de alumnos por semestre. Se puede ver que el comportamiento de los datos es constante a lo largo del tiempo.

Para probar la homocedasticidad, utilizamos la prueba Breusch-Pagan. Ésta tiene como supuesto que los datos provienen de una distribución normal. Probaremos ésto con la prueba Jarque-Bera. El comando en *R* es: `jarque.bera.test(X)`. Dicha prueba tiene como hipótesis nula  $H_0$  : Los datos provienen de una distribución normal.

En la Figura 3.8 vemos el resultado de la prueba Jarque-Bera. Notamos que  $p\text{-value} = 0.40 > 0.01 = \alpha$  por lo tanto no se rechaza  $H_0$ , entonces los datos provienen de una distribución normal.

```
> jarque.bera.test(num_total_alum.ts)
```

Jarque Bera Test

```
data: num_total_alum.ts
X-squared = 1.791, df = 2, p-value = 0.4084
```

Figura 3.8: Se muestran los resultados de la prueba Jarque-Bera. Esta prueba se utiliza para probar si los datos provienen de una distribución normal.

El comando en *R* para la prueba Breusch-Pagan es: `bptest(lm(X~t))`. El ajuste del modelo lineal con la función `lm(X~t)` es con respecto al tiempo. La prueba mencionada tiene como hipótesis nula  $H_0$  : La varianza es constante.

En la Figura 3.9 se puede ver el resultado de la prueba. Vemos que  $p\text{-value} = 0.82 > 0.01 = \alpha$  por lo tanto no se rechaza  $H_0$ , entonces la varianza de los datos es constante.

```
> bptest(lm(num_total_alum.ts~t))
studentized Breusch-Pagan test

data: lm(num_total_alum.ts ~ t)
BP = 0.050991, df = 1, p-value = 0.8213
```

Figura 3.9: Se muestran los resultados de la prueba Breusch-Pagan. Esta prueba se utiliza para probar si los datos tienen varianza constante.

Con las pruebas de tendencia y de estacionalidad confirmamos que se puede utilizar el método Holt-Winters. La prueba de homocedasticidad nos ayuda a verificar que el modelo de estacionalidad que debemos utilizar es el aditivo. Con estas observaciones concluimos que el método Holt-Winters aditivo es el método adecuado para poder hacer predicciones con nuestros datos.

### 3.2. Análisis estadístico por semestres pares e impares

En la Figura 3.10 vemos la gráfica del número de alumnos separado por semestres pares e impares. Vemos con mayor claridad lo que ocurre en la Figura 3.5, los datos efectivamente tienen una tendencia creciente. Notamos que el número de alumnos de los semestres impares es mayor al número total de alumnos de los semestres pares en todos los semestres, salvo en el semestre 2018-1. En dicho semestre el número de alumnos es menor al de los semestres adyacentes, 2017-2 y 2018-2.

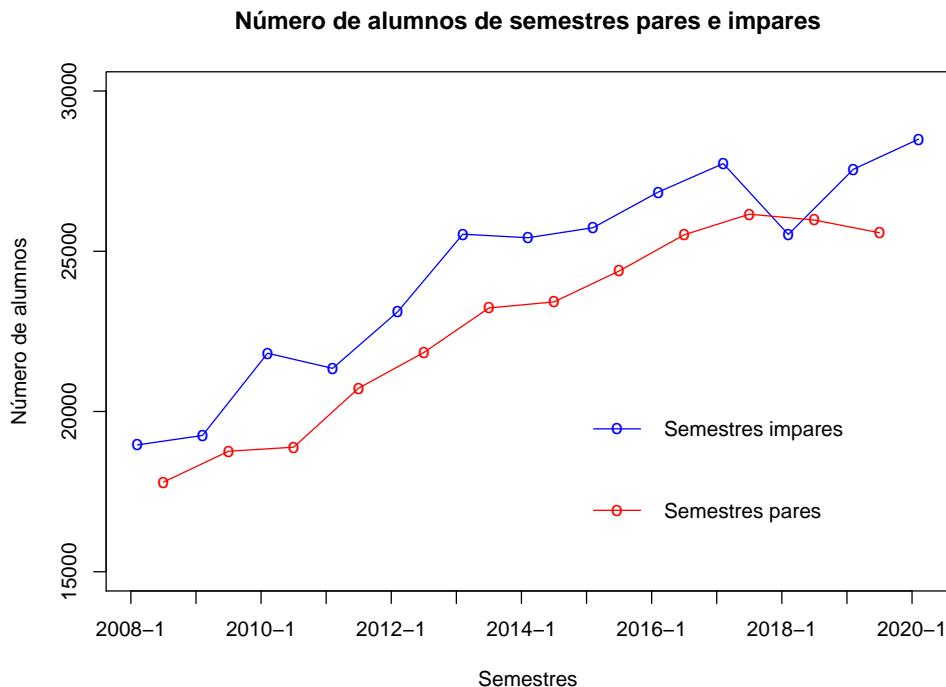


Figura 3.10: Se muestran las series de tiempo del número de alumnos en semestres pares e impares. Se observa una tendencia creciente. En general el número de alumnos de semestres impares (línea azul) es mayor al número de alumnos de semestres pares (línea roja).

En la Figura 3.11 observamos dos histogramas con el número total de alumnos de semestres pares e impares con sus respectivas densidades ajustadas. Notamos que hay una ligera diferencia entre el número de alumnos de los semestres pares con respecto al número de alumnos de los semestres impares.

Existe una mayor cantidad de grupos en los semestres pares con un menor número de alumnos, que en los semestres impares. Hay una mayor cantidad de grupos en los semestres impares que tienen entre 35 y 100 alumnos, que en los semestres pares. Tanto para los semestres pares como para los impares, el comportamiento de las densidades ajustadas es muy parecido.

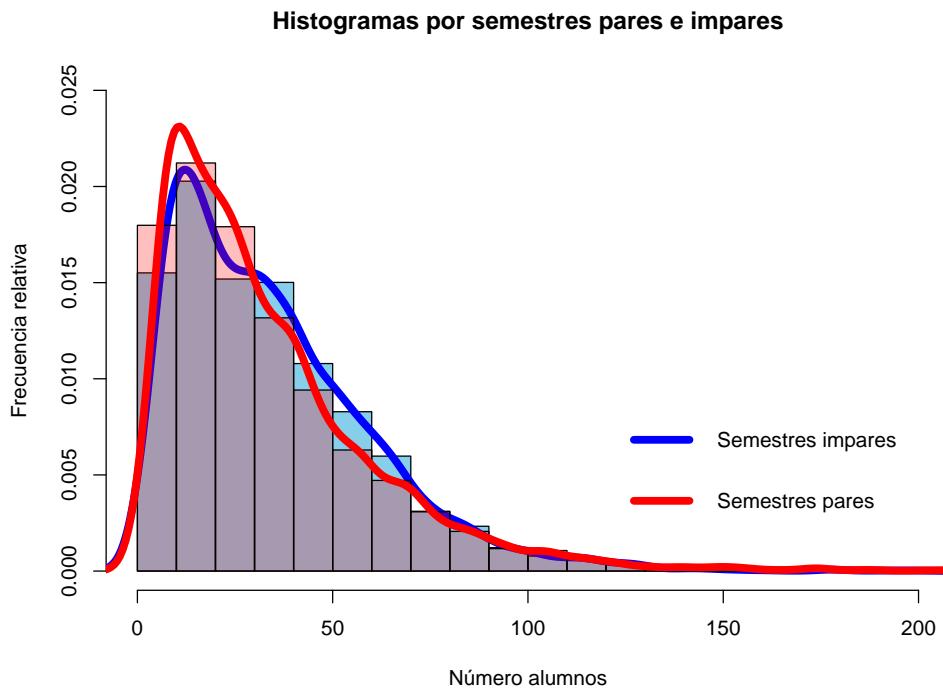


Figura 3.11: Se muestran los histogramas con el número de alumnos en semestres pares e impares. Las densidades ajustadas son muy parecidas, no importa si los datos son de semestres pares o impares.

### 3.3. Análisis estadístico por turnos matutino y vespertino

En la Figura 3.12 mostramos la gráfica del número de alumnos por turno: matutino y vespertino. Se puede observar que en todo momento el número de alumnos del turno matutino es mayor al número de alumnos del turno vespertino.

Los datos que se graficaron en los histogramas de la Figura 3.13 corresponden al número de alumnos totales por turno (matutino y vespertino) de cada semestre. Notamos que las densidades ajustadas de cada turno son completamente diferentes. Al ver la gráfica podemos concluir que hay más alumnos en el turno matutino que en el vespertino.

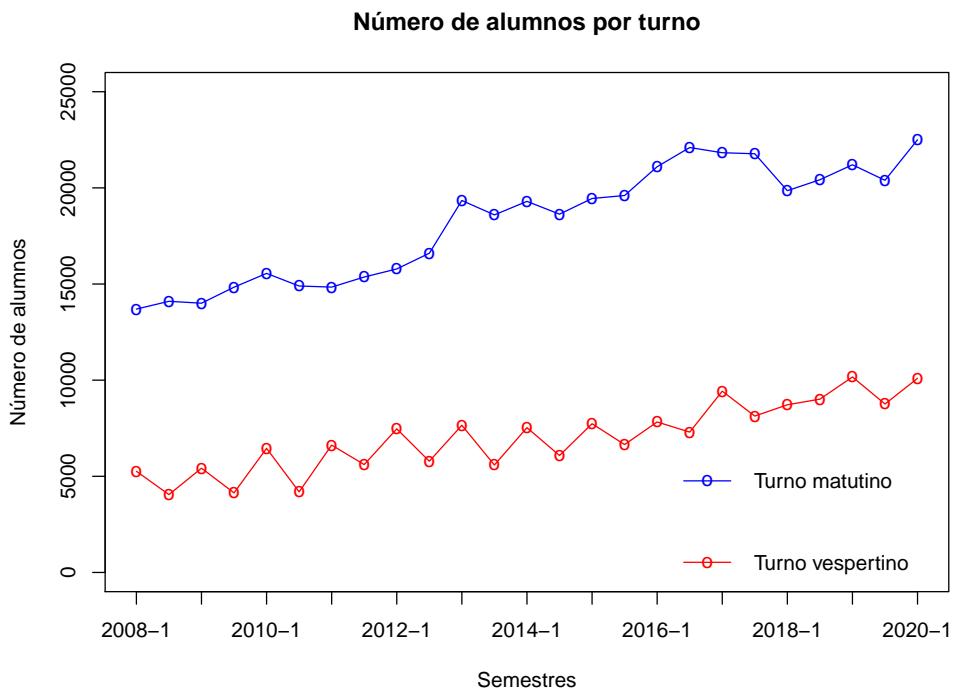


Figura 3.12: Se muestran las series de tiempo del número de alumnos por turno de todos los semestres. Se observa que el número de alumnos del turno matutino (línea azul) es siempre mayor al número de alumnos del turno vespertino (línea roja).

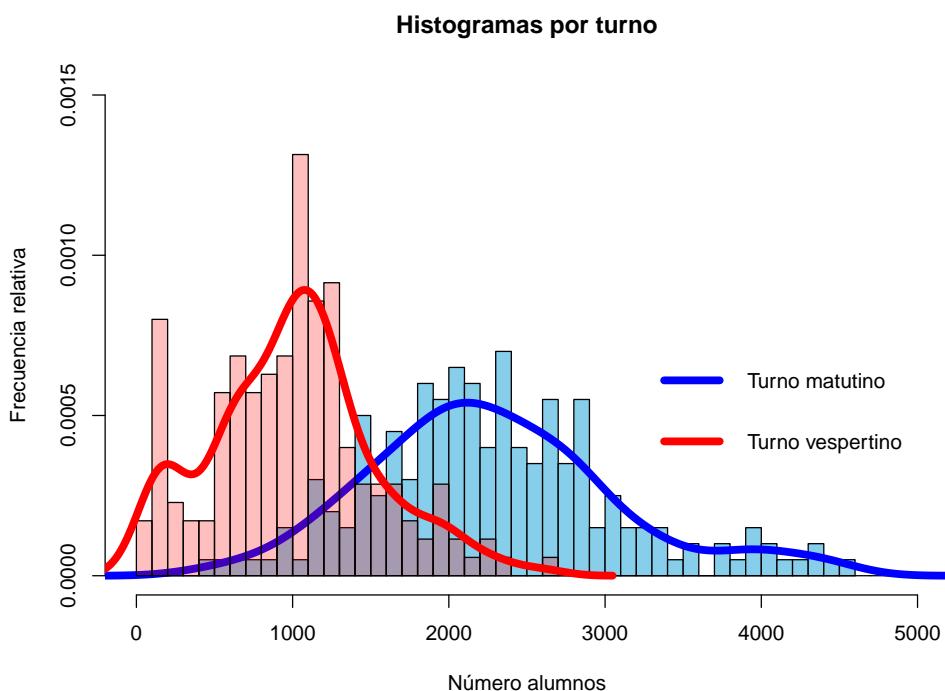


Figura 3.13: Se muestran los histogramas del número de alumnos en los turnos matutino y vespertino. Se puede concluir que hay más alumnos en el turno matutino que en el vespertino. Sus densidades ajustadas son muy diferentes.

## 3.4. Análisis estadístico por carrera

Es importante recordar que dentro de las carreras existe un tronco común. Es decir, comparten muchas de las materias impartidas en los primeros 4 semestres. Por ello muchos de los grupos de una carrera se encuentran en otra. Cabe mencionar que el número máximo de alumnos por grupo para la carrera de Ciencias de la Computación es 211 y para las otras carreras es 353.

En la Figura 3.14 vemos cuatro histogramas con el número de alumnos por grupo. Hay un histograma para cada carrera del Departamento de Matemáticas. La escala del eje Y es igual para todos los histogramas. De esta manera podemos observar que en las carreras de Actuaría, Ciencias de la Computación y Matemáticas, se tiene la mayor concentración en los grupos de entre 10 y 20 alumnos. La carrera de Matemáticas Aplicadas tiene su mayor concentración en los grupos que tienen entre 20 y 30 alumnos.

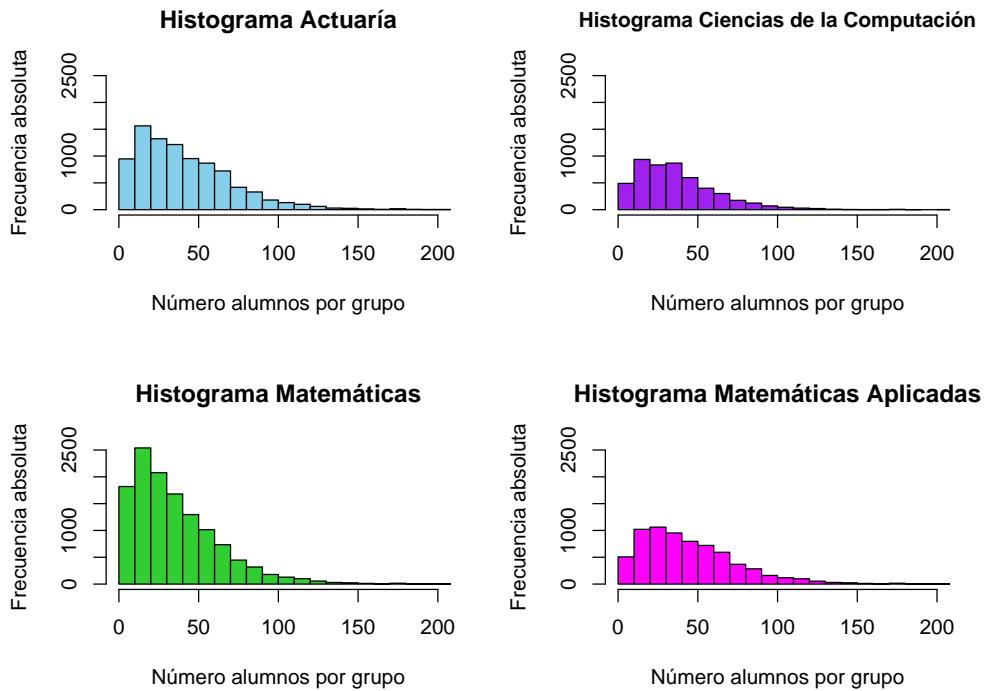


Figura 3.14: Se muestran los histogramas con el número de alumnos por grupo. Hay un histograma para cada carrera del Departamento de Matemáticas.

En la Figura 3.15 vemos las densidades ajustadas a los datos del número de alumnos por grupos para cada carrera. Al ver la densidad ajustada a los datos de la carrera de Matemáticas (línea verde) vemos que tiene una mayor concentración de grupos que tienen aproximadamente entre 10 y 30 alumnos, a diferencia de las otras carreras.

También podemos observar que en Actuaría (línea azul) y en Matemáticas Aplicadas (línea rosa) hay una mayor concentración en los grupos que tienen aproximadamente entre 50 y 75 alumnos, que en Matemáticas o en Ciencias de la Computación.

Si vemos la densidad ajustada a los datos de Ciencias de la Computación (línea morada) notamos que hay dos grandes concentraciones, una en los grupos de aproximadamente entre

20 y 30 alumnos y otra entre 40 y 50 alumnos. Con esta gráfica podemos ver con mayor claridad lo que observamos en la Figura 3.14. El comportamiento es similar para todas las carreras pero cada una tiene su propia distribución.

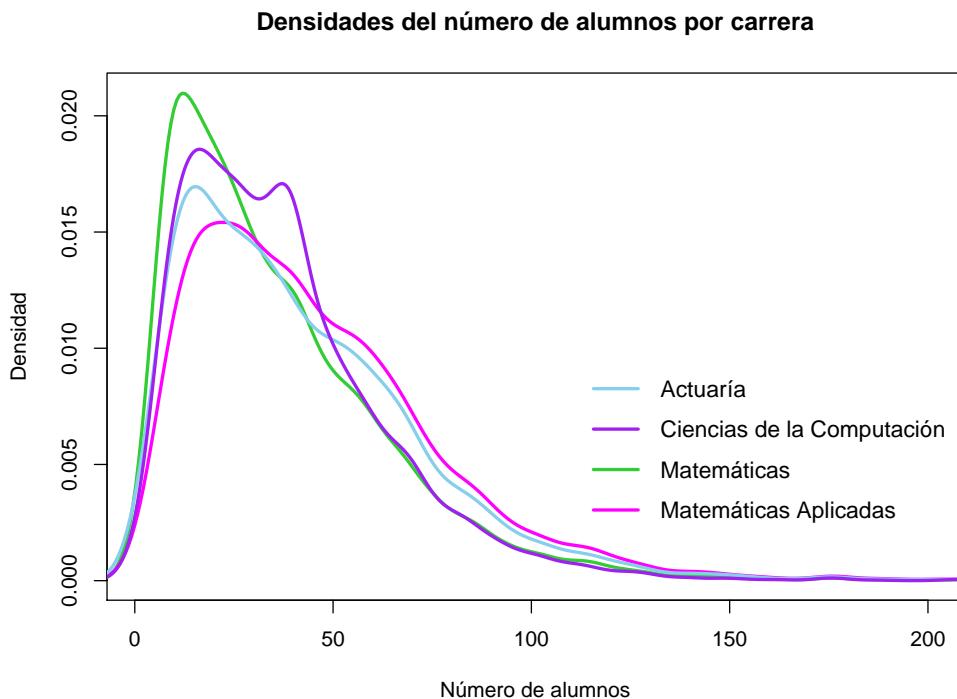


Figura 3.15: Se muestran las densidades ajustadas del número de alumnos para cada carrera en el Departamento de Matemáticas.

### 3.5. Distribución del tamaño de los grupos

En la Figura 3.16 se observa el histograma del número de alumnos por grupo de los semestres desde el 2008-1 hasta el 2020-1. Observamos el mismo comportamiento que en las Figuras 3.11, 3.14 y 3.15. La mayor frecuencia se encuentra en los grupos que tienen entre 10 y 20 alumnos.

En la Figura 3.17 vemos diferentes líneas con las densidades ajustadas a los valores del número de alumnos por grupo de cada semestre. Cada línea corresponde a un semestre. Se tomaron los datos de 25 semestres, del 2008-1 al 2020-1.

En dicha figura, las líneas de color verde corresponden a las densidades ajustadas a los datos de los semestres del 2008-1 al 2012-2. Las de color rosa corresponden a los semestres del 2013-1 al 2017-2. Las de color azul corresponden a los semestres 2018-1 al 2020-1. Notamos que el comportamiento va cambiando conforme pasa el tiempo.

Vemos que en los semestres más antiguos se tiene una concentración mayor en los grupos que tienen aproximadamente entre 10 y 30 alumnos. En los semestres más recientes la mayor concentración se tiene en los grupos con aproximadamente entre 25 y 50 alumnos. Esto lo podemos explicar con el hecho de que cada semestre incrementa el número de alumnos inscritos en la Facultad, por lo tanto el tamaño de los grupos aumenta.

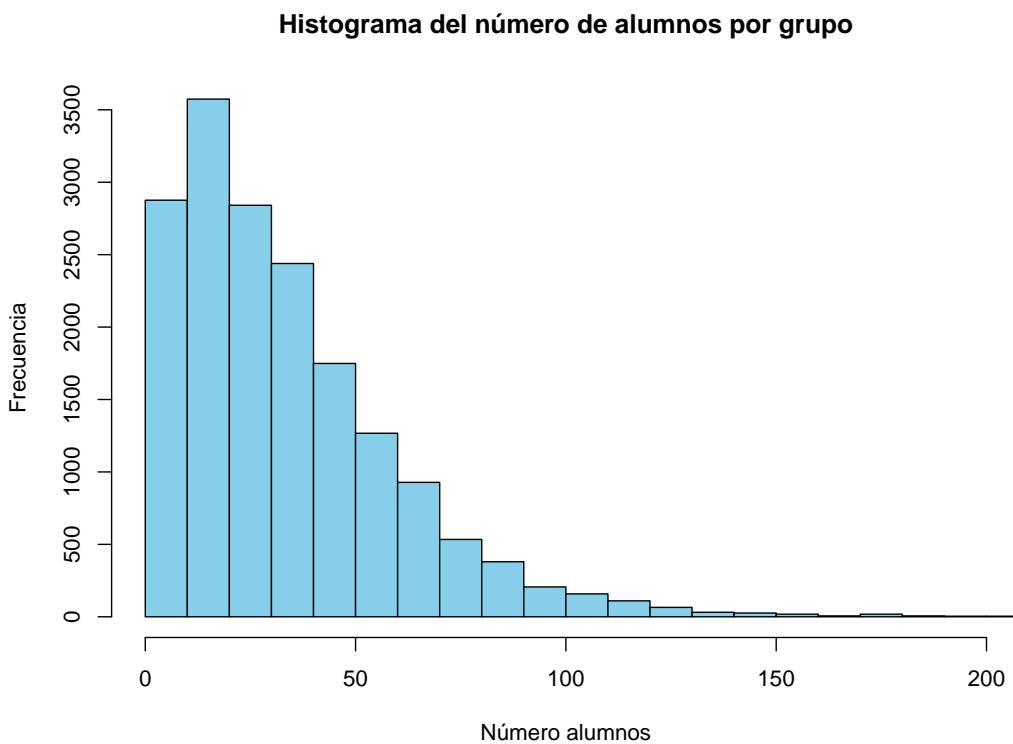


Figura 3.16: Se muestra el histograma del número de alumnos por grupo de los semestres del 2008-1 al 2020-1. Se ve la mayor concentración en los grupos que tienen entre 10 y 20 alumnos.

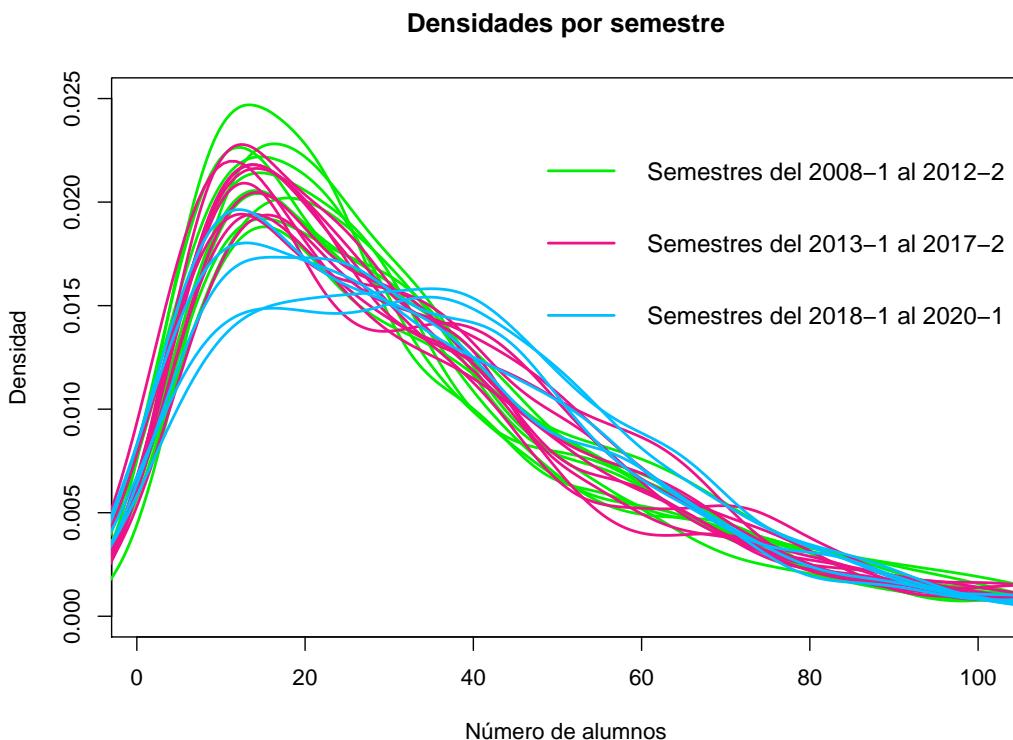


Figura 3.17: Se muestran las densidades ajustadas del número de alumnos por grupo de cada semestre. Cada línea corresponde a un semestre entre el 2008-1 y el 2020-1.

También podemos observar que conforme pasa el tiempo la media y la varianza aumentan. Es decir, en semestres antiguos se tiene una menor media y varianza. Ésto comparado con los semestres más actuales, los cuales tienen una media y varianza mayor.

En los semestres del 2013-1 al 2017-2 se tuvieron grupos con más de 350 alumnos. En los semestres más recientes el número máximo de alumnos por grupo fue alrededor de 250. Ésto lo podemos explicar por las medidas que se tomaron después del sismo del 19 de septiembre de 2017, con respecto al tamaño de los grupos. El número de alumnos inscritos no puede ser mayor al número de lugares disponibles por salón.

Viendo las Figuras 3.16 y 3.17, podríamos concluir que la distribución que mejor se ajusta al tamaño de los grupos es la distribución Poisson por la forma en la que están distribuidos los datos. Para probar esta hipótesis utilizamos la función `ks.test(X, Y)`, de *R*, para hacer la prueba Kolmogorov-Smirnov.

En la prueba se rechaza  $H_0$  cuando  $D_n > D_n^{1-\alpha}$ . Donde  $D_n^{1-\alpha}$  nos indica el valor en donde inicia la región de rechazo para un nivel de significancia de  $\alpha$  y  $n$  es el número de datos de la muestra. Tomamos como hipótesis nula  $H_0 : X \sim \text{Poisson}(\lambda)$ .

Definimos a  $X$  como el vector con el número de alumnos por grupo del semestre 2008-1 al 2020-1. Definimos a  $Y$  como un vector de números aleatorios de una distribución  $\text{Poisson}(\lambda)$ . Por el resultado B.1, del apéndice B, sabemos que el estimador máximo verosímil de  $\lambda$  para la distribución  $\text{Poisson}(\lambda)$  es la media de los datos. Con este estimador ( $\hat{\lambda} = 34.18$ ), obtuvimos los números aleatorios de  $Y$ . Utilizamos el siguiente comando en *R*: `Y<-rpois(1000,34.18)`. Tenemos que  $Y \sim \text{Poisson}(34.18)$ .

Por [10] sabemos que:

$$D_n^{1-\alpha} = \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)}{2n}} - 1.6693n^{-1} - 0.20562n^{-\frac{3}{2}} \quad (3.5)$$

En nuestro caso los valores de las variables son:  $n = 17,246$  y  $\alpha = 0.01$ . Sustituyendo en la ecuación 3.5 tenemos que  $D_{17246}^{0.99} = 0.01$ . Con la función `ks.test(X, Y)`, de *R*, obtenemos el valor de  $D_{17246} = 0.39$ .

Como  $D_{17246} = 0.39 > 0.01 = D_{17246}^{0.99}$ , entonces se rechaza  $H_0$ , por lo tanto los datos no siguen una distribución Poisson con  $\lambda = 34.18$ .

Hicimos otra prueba suponiendo que los datos tienen una distribución  $\text{Normal}(\mu, \sigma)$ . Para simular los datos de  $Y$  utilizamos los estimadores máximo verosímiles de  $\mu$  y  $\sigma$ . Estos estimadores los obtuvimos con la función `fitdistr(X, densfun="normal")`, en *R*. Los valores de los estimadores son  $\hat{\mu} = 34.18$  y  $\hat{\sigma} = 26.57$ . El resultado de la función de la prueba de Kolmogorov-Smirnov es  $D_{17246} = 0.10$ .

Como  $D_{17246} = 0.10 > 0.01 = D_{17246}^{0.99}$ , entonces se rechaza  $H_0$ , por lo tanto los datos no siguen una distribución  $\text{Normal}(34.18, 26.57)$ .

Hicimos más pruebas con otras distribuciones y en todos los casos rechazamos la hipótesis nula. Con estos resultados concluimos que el ajuste que se pudiera hacer a los datos tendría que ser en dos o más partes. Es decir, tener 2 o más distribuciones para el mismo conjunto

de datos en diferentes secciones. Un ejemplo de una posible partición de los datos es que se puede ajustar una distribución para los datos que están entre 0 y 100, y otra distribución para los datos mayores a 100. Esto debido a que a pesar de ser pocos los datos mayores a 100, si impactan en la distribución total. Un análisis con esta propuesta se puede ver en la Sección 4.7.

En la Figura 3.18 vemos únicamente los casos que expusimos en esta sección. El histograma representa las frecuencias relativas del número de alumnos por grupo para cada semestre. La línea azul es la densidad ajustada con el método kernel gaussiano, generada por la función `density()`, en R. La línea morada es la densidad de  $n$  números aleatorios con distribución  $Poisson(34.18)$ . La línea roja es la densidad de  $n$  números aleatorios con distribución  $Normal(34.18, 26.57)$ .

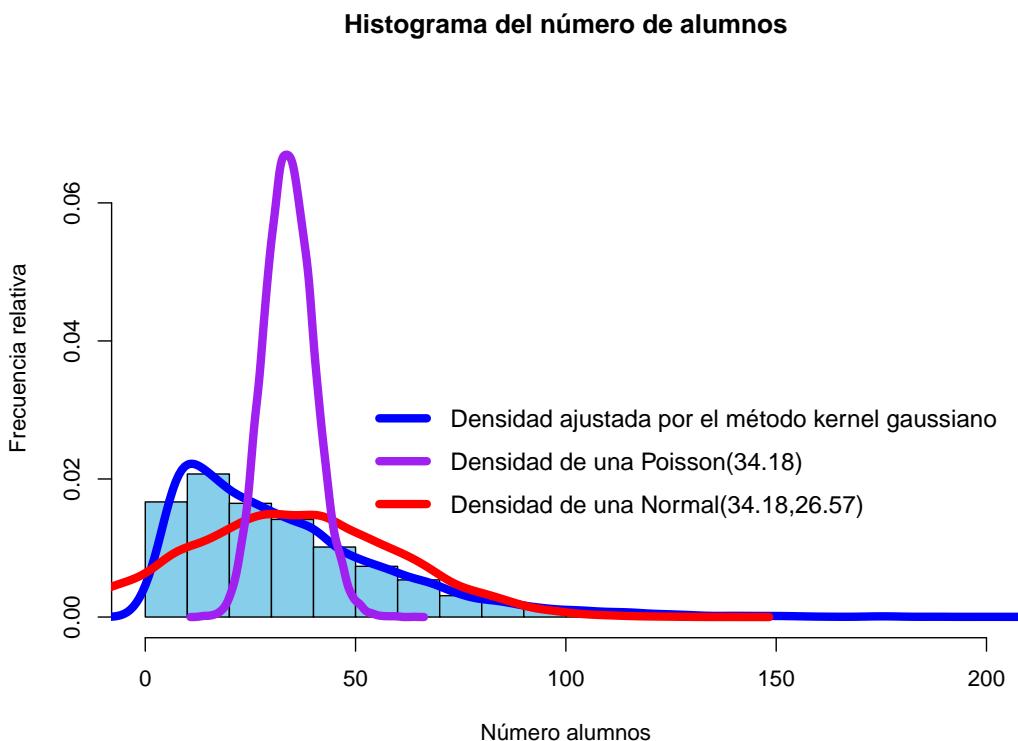


Figura 3.18: Se muestran 3 densidades ajustadas. La línea azul es la ajustada con la función “`density()`” en R. La morada es de una  $Poisson(34.18)$ . La roja de una  $Normal(34.18, 26.57)$ . Ninguna de las distribuciones propuestas se ajustan de manera adecuada a los datos.

## 3.6. Comportamientos por hora

En esta sección veremos algunas gráficas cuyo eje  $x$  corresponde a las horas en las que se imparten las clases. Se empieza por la clase de 7-8hrs y se termina con la clase de 21-22hrs. Primero mostraremos el comportamiento del promedio del número de grupos por hora y después el comportamiento del promedio del número de alumnos por hora.

En la Figura 3.19 vemos la gráfica de barras con el número promedio de grupos por hora. Tomamos la información de 25 semestres, del 2008-1 al 2020-1. Observamos una disminución

considerable del número de grupos a las 15hrs. Podemos concluir que es debido a que a esa hora, usualmente la gente sale a comer. A las 21hrs se tiene el menor número de grupos, esto se puede explicar por el hecho de que es la última clase impartida en la Facultad.

Hay un descenso leve a las 9hrs donde se pudiera suponer que la gente sale a desayunar. Desde las 7hrs se pueden encontrar clases como *Cálculo Diferencial e Integral*. Pero en general, las clases impartidas a las 7hrs y a las 8hrs suelen ser materias exclusivas para los actuarios como *Teoría del Seguro*, *Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas I y II* o *Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro*. Podemos decir que a partir de las 9 de la mañana se imparten materias de todas las carreras.

A las 10 de la mañana se tiene el número máximo de grupos. Con esta información se podría medir la capacidad que debería de tener la Facultad en cuanto al número de salones necesarios para cubrir la demanda de grupos. Si se está preparado para cubrir la demanda del pico más alto de todas las horas, entonces los demás casos están cubiertos por tener un menor número de grupos.

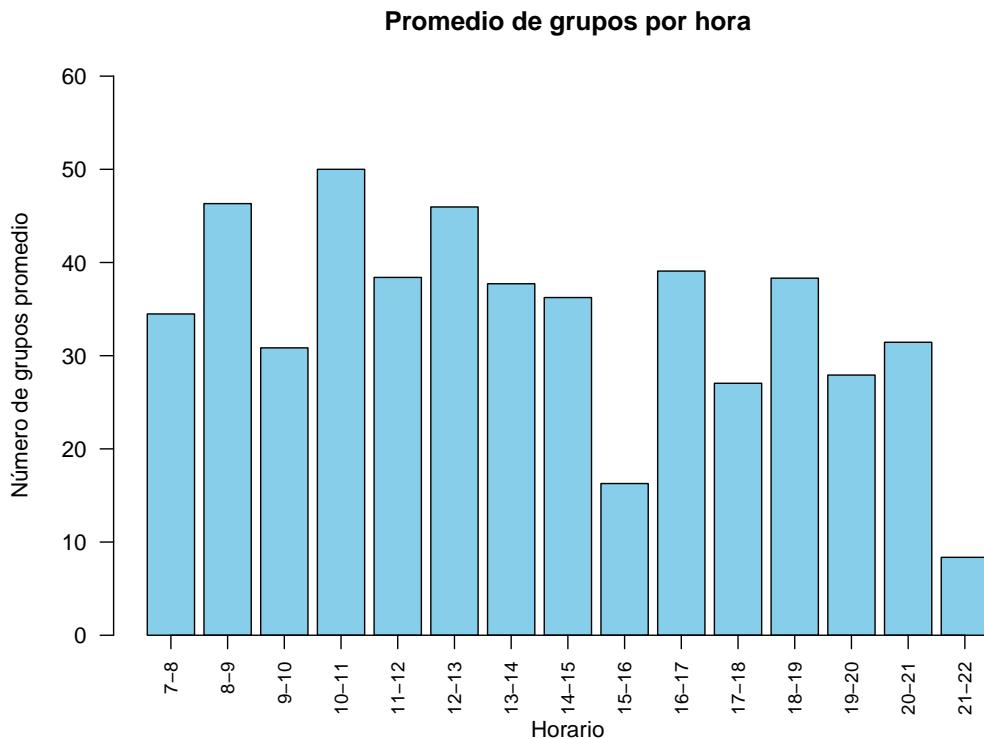


Figura 3.19: Se muestra la gráfica de barras del número promedio de grupos por hora. Se observa una disminución considerable a las 15hrs y a las 21hrs. El valor más alto se encuentra a las 10hrs.

En la Figura 3.20 se observa la gráfica de barras con el promedio del número de alumnos por hora. Notamos que el comportamiento de ésta gráfica es muy similar al de la gráfica mostrada en la Figura 3.19. El pico más alto de los datos también se tiene a las 10 de la mañana y el menor número de alumnos se encuentra a las 21hrs. También hay una disminución considerable a las 15hrs.

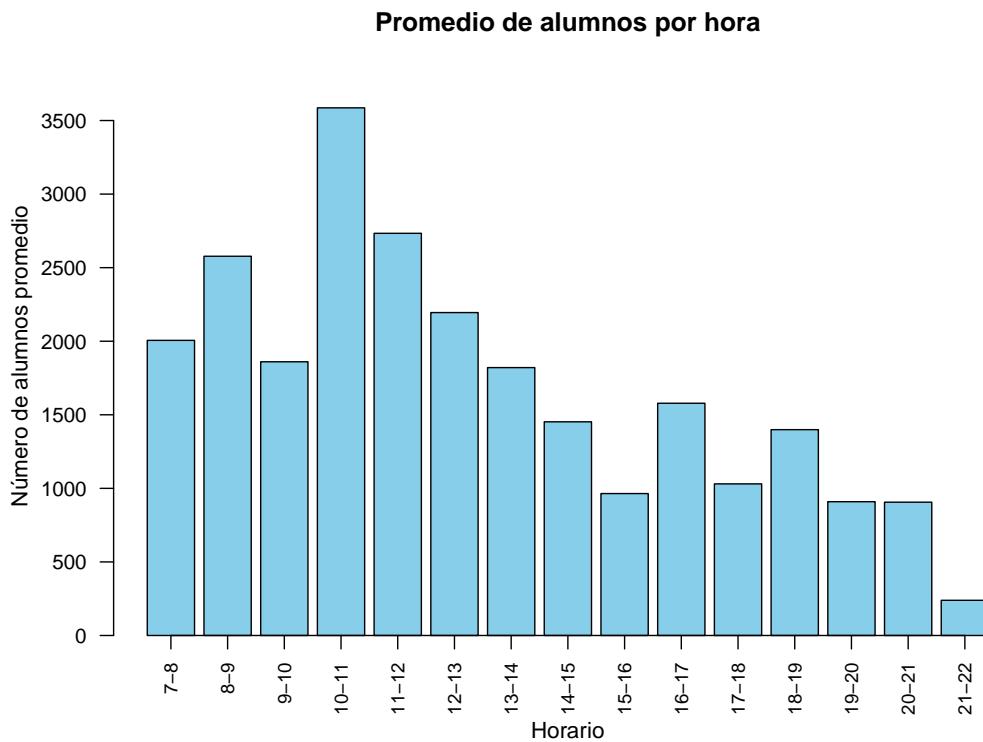


Figura 3.20: Se muestra la gráfica de barras del número promedio de alumnos por hora. Notamos una disminución de los valores a las 9hrs, a las 15hrs y a las 21hrs. El valor más alto lo encontramos a las 10hrs.

Viendo las Figuras 3.19 y 3.20 podemos concluir que existe una correlación entre el número promedio de grupos por hora y el número promedio de alumnos por hora. Por ejemplo, si no hay alumnos que tomen clases a las 15hrs entonces no tiene caso que se abran grupos a esa hora. Análogamente para las 21hrs. Por el contrario entre más alumnos haya por hora, se deben abrir más grupos a esas horas, como es el caso de las 10hrs.



# Capítulo 4

## Simulación

La simulación es un proceso que nos permite estudiar el comportamiento de un sistema complejo y difícil de examinar de manera analítica. Nos ayuda a determinar de manera empírica las probabilidades de ciertos eventos. También nos permite experimentar con diversos supuestos que podrían ser muy costosos o riesgosos de realizar físicamente, como enseñar a los pilotos a volar un avión.

Algunas áreas de aplicación son: biología, estadística, medicina, química, matemáticas, investigación de operaciones, física y ciencias sociales. Los ejemplos de su aplicación van desde simular el lanzamiento de una moneda justa, hasta la simulación de colisiones de átomos en un acelerador de partículas.

Actualmente se combinan diferentes metodologías de simulación con el software disponible, el análisis de sensibilidad y la optimización estocástica. Esto para obtener un mejor resultado al momento de simular sistemas que son cada vez más complejos como las redes neuronales.

En este trabajo utilizamos la simulación para poder realizar predicciones en base a datos históricos. Tomamos la información de los horarios de la Facultad y con ellos simulamos la demanda del número de alumnos para el siguiente semestre. Con esta demanda hicimos los esqueletos necesarios para realizar la asignación de horarios.

En *R* realizamos la función `gen_asignacion()` encargada de generar la asignación de horarios, materias y profesores. En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo que sigue dicha función. A lo largo de este capítulo explicaremos los pasos (3)-(9) mostrados en el diagrama. Cabe aclarar que los pasos (1) y (2) corresponden a las Secciones 2.2 y 2.4, respectivamente.

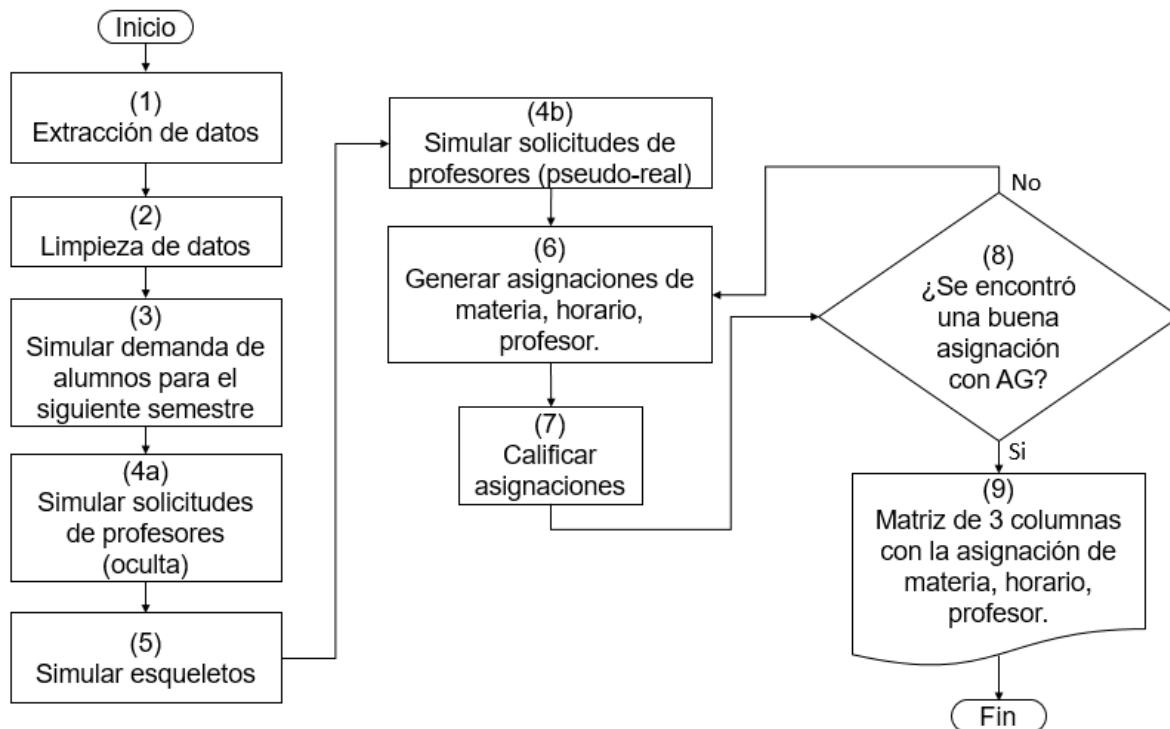


Figura 4.1: Se muestra el diagrama de flujo de la función “`gen_asignacion()`”. Se pueden ver los pasos para obtener la matriz de asignaciones.

## 4.1. Obtención de nombres de materias

Antes de iniciar las simulaciones definimos el vector `vec_nom_materias_total`. Éste contiene el nombre de las  $m = 202$  materias encontradas en la matriz `m_grande_total` de los semestres 2008-1 al 2020-1. Dicho vector no tiene nombres repetidos. De esta manera evitamos problemas como el que vimos en la Figura 2.11, de repetición de información.

Primero obtuvimos un vector con los nombres de las materias en la matriz `m_grande_total`. Aplicamos la función `unique()` de R y obtuvimos un vector de 333 materias. En este vector se pueden encontrar nombres repetidos y nombres de materias que ya no se imparten. Definimos la matriz `mat_nom_materias_total` la cual tiene 22 columnas:

- La primer columna contiene el nombre que vamos a utilizar para las simulaciones y para las asignaciones. En la mayoría de los casos elegimos el nombre más reciente de la materia. Cabe aclarar que hubo algunos casos que elegimos el nombre que lleva la materia en la carrera de Actuaría en lugar del más reciente.
- La segunda columna contiene el número de materia con respecto a la primer columna.
- Las columnas 3-22 contienen todos los posibles nombres asociados al nombre en la primer columna. Cabe aclarar que no todas estas columnas están llenas.

Revisamos caso por caso para no tener nombres repetidos. En el caso de los seminarios, los agrupamos de acuerdo a los posibles nombres que han tenido. Las materias optativas que ya no son impartidas las agrupamos en temas similares. Ésto último para conservar toda la información posible.

Finalmente las dimensiones de la matriz `mat_nom_materias_total` son  $202 \times 22$ . Con la primera columna de dicha matriz, obtuvimos el vector `vec_nom_materias_total`. Los nombres del vector son los que utilizaremos para realizar las simulaciones de esqueletos y las asignaciones de horarios.

## 4.2. Obtención de los parámetros $q_1$ y $q_2$

Los valores de  $q_1$  y  $q_2$  representan los cuantiles utilizados al calcular los intervalos de confianza. Éstos son parámetros que se introducen en la función `hw()` de *R*. Si  $q_1 = 80$  entonces se calcula el intervalo al 80 % de confianza. Si se introducen a la función los dos parámetros entonces se calculan dos intervalos, uno al  $q_1$  % de confianza y el otro al  $q_2$  % de confianza. Dicha función corresponde al método Holt-Winters aditivo.

Para seleccionar  $q_1$  y  $q_2$ , primero definimos los parámetros generales necesarios para las simulaciones:

1. Fijamos la semilla con el comando `set.seed(8654)`, en *R*.
2. Elegimos 3 semestres para simular la demanda del número de alumnos. Los seleccionamos de los semestres que ya teníamos guardados con información real. Hicimos una comparación entre nuestros datos simulados y los reales de cada semestre. Los semestres que elegimos fueron: 2019-1, 2019-2 y 2020-1.
3. Fijamos  $k = 5$  (número de semestres que se tienen como ventana de información).
4. Fijamos  $num\_sim = 10$  (número de simulaciones de la demanda de alumnos para el semestre a simular).

Después fijamos 5 materias que consideramos representativas para hacer las pruebas iniciales: *Cálculo Diferencial e Integral I, Demografía, Modelos no Paramétricos y de Regresión, Administración de Riesgos Financieros y Temas Selectos de Investigación de Operaciones*.

Tomamos 12 posibles combinaciones de valores para  $q_1$  y  $q_2$ , las cuales podemos ver en la Tabla 4.1. La letra *L* indica que se tomó la cota inferior del intervalo al  $q_1$  % de confianza. La letra *U* indica que se tomó la cota superior del intervalo al  $q_2$  % de confianza.

Con estas cotas formamos intervalos de tipo  $(Lq_1, Uq_2)$ . De estos intervalos obtuvimos el número de alumnos simulados para los 3 diferentes semestres previamente definidos y para cada una de las 5 materias elegidas.

| <b><math>q_1 \backslash q_2</math></b> | <b>80</b> | <b>85</b> | <b>90</b> | <b>99</b> |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>80</b>                              | -         | L80,U85   | L80,U90   | L80,U99   |
| <b>85</b>                              | L85,U80   | -         | L85,U90   | L85,U99   |
| <b>90</b>                              | L90,U80   | L90,U85   | -         | L90,U99   |
| <b>99</b>                              | L99,U80   | L99,U85   | L99,U90   | -         |

Tabla 4.1: Tabla que muestra todas las combinaciones de los intervalos formados con las cotas inferiores y superiores de los intervalos de confianza al  $q_1$  % y al  $q_2$  %.

Una vez hecha la simulación obtuvimos dos matrices:

1. Matriz de diferencias relativas: Esta matriz se genera al restar, los datos reales menos los simulados y después dividirlos entre los reales. Ésta operación se repite para cada materia y para cada simulación.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
2. Matriz con información por materia: Esta matriz tiene 6 columnas: *materia, intervalo, mín, media, máx y sd*. En el renglón  $i$  se tienen los datos de la matriz de diferencias relativas de la  $i$ -ésima materia para el intervalo  $(Lq_1, Uq_2)$  correspondiente. Por ejemplo, en el primer renglón de la Figura 4.2 vemos que se utilizó el intervalo  $(L80, U85)$  para obtener el número de alumnos simulados para el siguiente semestre de la materia *Cálculo Diferencial e Integral I*. Las columnas 3 y 5 corresponden al mínimo y al máximo error relativo de la materia mencionada. Las columnas 4 y 6 indican la media y la varianza de los errores relativos de todas las simulaciones hechas para *Cálculo Diferencial e Integral I*.

| Materia  | Intervalo | Min       | Media       | Max       | sd        |
|--|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Cálculo Diferencial e Integral I               | L80,U85   | -2.622222 | -0.21911543 | 0.8627586 | 0.7287619 |
| Demografía                                     | L80,U85   | -1.985714 | -0.09395821 | 0.8378378 | 0.4695739 |
| Modelos no Paramétricos y de Regresión         | L80,U85   | -6.922222 | -0.45848861 | 1.0000000 | 1.5742750 |
| Administración de Riesgos Financieros          | L80,U85   | -1.816667 | -0.03119518 | 0.6312500 | 0.3145900 |
| Temas Selectos de Investigación de Operaciones | L80,U85   | -2.300000 | -0.05121275 | 0.9384615 | 0.4202550 |
| Cálculo Diferencial e Integral I               | L80,U90   | -2.588889 | -0.25311699 | 0.7220690 | 0.7108189 |
| Demografía                                     | L80,U90   | -3.228571 | -0.20226571 | 0.7270270 | 0.6654177 |
| Modelos no Paramétricos y de Regresión         | L80,U90   | -6.744444 | -0.48396359 | 1.0000000 | 1.6007042 |
| Administración de Riesgos Financieros          | L80,U90   | -2.316667 | -0.04418860 | 0.6375000 | 0.3924680 |
| Temas Selectos de Investigación de Operaciones | L80,U90   | -2.233333 | -0.05595981 | 0.9461538 | 0.4210018 |

Figura 4.2: Se muestran los primeros 10 renglones de la tabla obtenida con información de la matriz de diferencias relativas.

Decidimos elegir  $q_1$  y  $q_2$  en base a la desviación estándar. A partir de la matriz con información por materia obtuvimos una matriz de dos columnas que se muestra en la Figura 4.3. La nueva matriz contiene en su primera columna el intervalo  $(Lq_1, Uq_2)$  correspondiente. En la segunda el promedio de la desviación estándar para cada intervalo de las 5 materias.

| Intervalo | Promedio_sd |
|-----------|-------------|
| L85,U80   | 0.6877112   |
| L90,U80   | 0.6893502   |
| L80,U85   | 0.7014912   |
| L90,U85   | 0.7218125   |
| L80,U90   | 0.7580821   |
| L85,U90   | 0.7705116   |
| L99,U90   | 0.8014339   |
| L90,U99   | 0.9032661   |
| L99,U80   | 0.9045421   |
| L99,U85   | 0.9422762   |
| L85,U99   | 0.9579213   |
| L80,U99   | 0.9615854   |

Figura 4.3: Se muestra la tabla con el promedio de la desviación estándar para 5 materias y 12 diferentes intervalos.

Los datos en la Figura 4.3 están ordenados de menor a mayor con respecto al promedio de la desviación estándar. Para la segunda prueba elegimos los primeros 6 intervalos de dicha tabla y seleccionamos otras 10 materias: *Álgebra Lineal I*, *Álgebra Superior II*, *Cómputo Evolutivo*, *Análisis Matemático IV*, *Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños*, *Fianzas y Reaseguro*, *Análisis Numérico*, *Teoría de la Medida I*, *Introducción a las Matemáticas Discretas*, *Inglés I* y *Cálculo Diferencial e Integral IV*. La tabla con el promedio de la desviación estándar de sus datos se puede ver en la Figura 4.4.

| Intervalo | Promedio_sd |
|-----------|-------------|
| L85,U90   | 0.4694684   |
| L85,U80   | 0.4805732   |
| L80,U90   | 0.4893892   |
| L90,U85   | 0.4992955   |
| L80,U85   | 0.5030579   |
| L90,U80   | 0.5167806   |

Figura 4.4: Se muestra la tabla con el promedio de la desviación estándar para 10 materias y 6 diferentes intervalos.

Para la tercera prueba elegimos, de la Figura 4.4, los intervalos que tuvieran un promedio en la desviación estándar menor a 0.5. Seleccionamos otras 10 materias: *Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo*, *Teoría del Seguro*, *Programación Entera*, *Investigación de Operaciones*, *Geometría Moderna I*, *Geometría Analítica II*, *Lógica Matemática I*, *Cálculo*

*Diferencial e Integral III, Inferencia Estadística y Manejo de Datos.* La tabla con el promedio de la desviación estándar de sus datos se puede ver en la Figura 4.5.

| Intervalo | Promedio_sd |
|-----------|-------------|
| L90,U85   | 0.4133900   |
| L80,U90   | 0.4292204   |
| L85,U80   | 0.4292348   |
| L85,U90   | 0.4410803   |

Figura 4.5: Se muestra la tabla con el promedio de la desviación estándar para 10 materias y 4 diferentes intervalos.

Podemos ver que los valores de la Figura 4.5 son muy parecidos entre sí. Debido a ésto, hicimos otra prueba con los mismos intervalos pero con 5 materias obligatorias y con muchos alumnos. Las materias que elegimos fueron: *Geometría Analítica I, Cálculo Diferencial e Integral II, Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos, Probabilidad II y Procesos Estocásticos I*. Hicimos la prueba para ver si había alguna diferencia en los datos y poder elegir un solo intervalo. La tabla con el promedio de la desviación estándar de sus datos se puede ver en la Figura 4.6.

| Intervalo | Promedio_sd |
|-----------|-------------|
| L85,U80   | 0.5829679   |
| L90,U85   | 0.6027183   |
| L80,U90   | 0.6127408   |
| L85,U90   | 0.6260881   |

Figura 4.6: Se muestra la tabla con el promedio de la desviación estándar para 5 materias y 4 diferentes intervalos.

Analizando la información de las Figuras 4.5 y 4.6, decidimos elegir los valores de  $q_1 = 85$  y  $q_2 = 80$ . En la Figura 4.7 se muestra el intervalo formado. De dicho intervalo vamos a obtener los valores para simular la demanda de alumnos del siguiente semestre, para cada materia en cada hora.

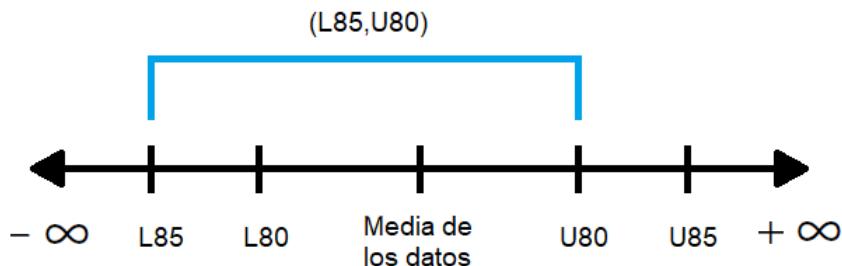


Figura 4.7: Se muestra un diagrama con el intervalo del que se va a obtener el número de alumnos para la simulación de cada materia en cada hora.

Finalmente, con los valores de  $q_1 = 85$  y  $q_2 = 80$  hicimos una prueba aleatoria (eliminando la semilla). Las materias que elegimos para dicha prueba fueron: *Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo*, *Teoría del Seguro*, *Cálculo Diferencial e Integral I, II y III*, *Investigación de Operaciones*, *Geometría Moderna I*, *Geometría Analítica II*, *Lógica Matemática I*, *Probabilidad I y II*, *Inferencia Estadística*, *Manejo de Datos*, *Matemáticas Financieras* y *Procesos Estocásticos I*. En la Figura 4.8 podemos ver los resultados de la prueba aleatoria mencionada. El promedio de la desviación estándar del error relativo para todas las materias es 0.48.

| Materia  | Intervalo | Min        | Media        | Max       | sd        |
|--|-----------|------------|--------------|-----------|-----------|
| Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | L85,U80   | -2.4053333 | -0.062628178 | 1.0000000 | 0.7625277 |
| Teoría del Seguro                              | L85,U80   | -0.7475410 | -0.007189294 | 0.9685714 | 0.2066836 |
| Cálculo Diferencial e Integral I               | L85,U80   | -1.8055556 | -0.150509219 | 0.8544828 | 0.5743739 |
| Investigación de Operaciones                   | L85,U80   | -1.5109589 | -0.113587042 | 0.5523364 | 0.4197767 |
| Geometría Moderna I                            | L85,U80   | -1.0729730 | 0.062571864  | 1.0000000 | 0.3758780 |
| Geometría Analítica II                         | L85,U80   | -1.6896552 | -0.075029650 | 1.0000000 | 0.6112092 |
| Lógica Matemática I                            | L85,U80   | -1.4857143 | 0.009737679  | 1.0000000 | 0.4441402 |
| Cálculo Diferencial e Integral III             | L85,U80   | -1.6142857 | -0.118954103 | 0.8689189 | 0.5222578 |
| Inferencia Estadística                         | L85,U80   | -1.8022222 | -0.045271946 | 0.9751515 | 0.5525782 |
| Manejo de Datos                                | L85,U80   | -0.5000000 | 0.030660747  | 0.8080000 | 0.1858422 |
| Matemáticas Financieras                        | L85,U80   | -0.8403974 | 0.030471884  | 0.8584270 | 0.2544040 |
| Cálculo Diferencial e Integral II              | L85,U80   | -3.2192308 | -0.053958329 | 1.0000000 | 0.6681179 |
| Probabilidad I                                 | L85,U80   | -1.6750000 | -0.047856672 | 0.9188034 | 0.4289253 |
| Probabilidad II                                | L85,U80   | -1.9750000 | -0.124282718 | 1.0000000 | 0.7012144 |
| Procesos Estocásticos I                        | L85,U80   | -1.8096154 | -0.109287138 | 0.7419643 | 0.5144173 |

Figura 4.8: Se muestra en cada renglón la materia y el intervalo del que se tomaron los valores para la simulación. Los datos de la tabla están basados en la matriz de diferencias relativas.

### 4.3. Obtención de nombres de profesores

En la simulación de solicitudes se eligen materias y horarios con respecto a los profesores. Definimos la matriz *mat\_nom\_prof\_total*, con 2 columnas. En ella guardamos información de cada profesor.

En la primer columna se tienen los nombres de todos los profesores que han impartido clase desde el semestre 2015-1 hasta el 2020-1. Dichos nombres los obtuvimos de la matriz *m\_grande\_2015*. Ésta es una submatriz de *m\_grande\_total* con los datos de los semestres del 2015-1 al 2020-1.

En la segunda columna de *mat\_nom\_prof\_total* se tiene un 1 si el profesor es de tiempo completo y un 0 si es de asignatura. En las siguientes subsecciones veremos cómo llenamos esta columna y cómo hicimos la limpieza de los nombres de los profesores.

#### **4.3.1. Profesores de tiempo completo**

Para llenar la segunda columna de la matriz *mat\_nom\_prof\_total* ingresamos a la página [www.matematicas.unam.mx/index.php/nosotros/profesores-de-tiempo-completo](http://www.matematicas.unam.mx/index.php/nosotros/profesores-de-tiempo-completo), del Departamento de Matemáticas. Con la aplicación *SelectorGadget* seleccionamos uno de los nombres de los profesores de tiempo completo. En la Figura 4.9 podemos ver el código CSS que utilizamos para obtener los datos en *R*. También observamos que se seleccionaron 94 profesores.

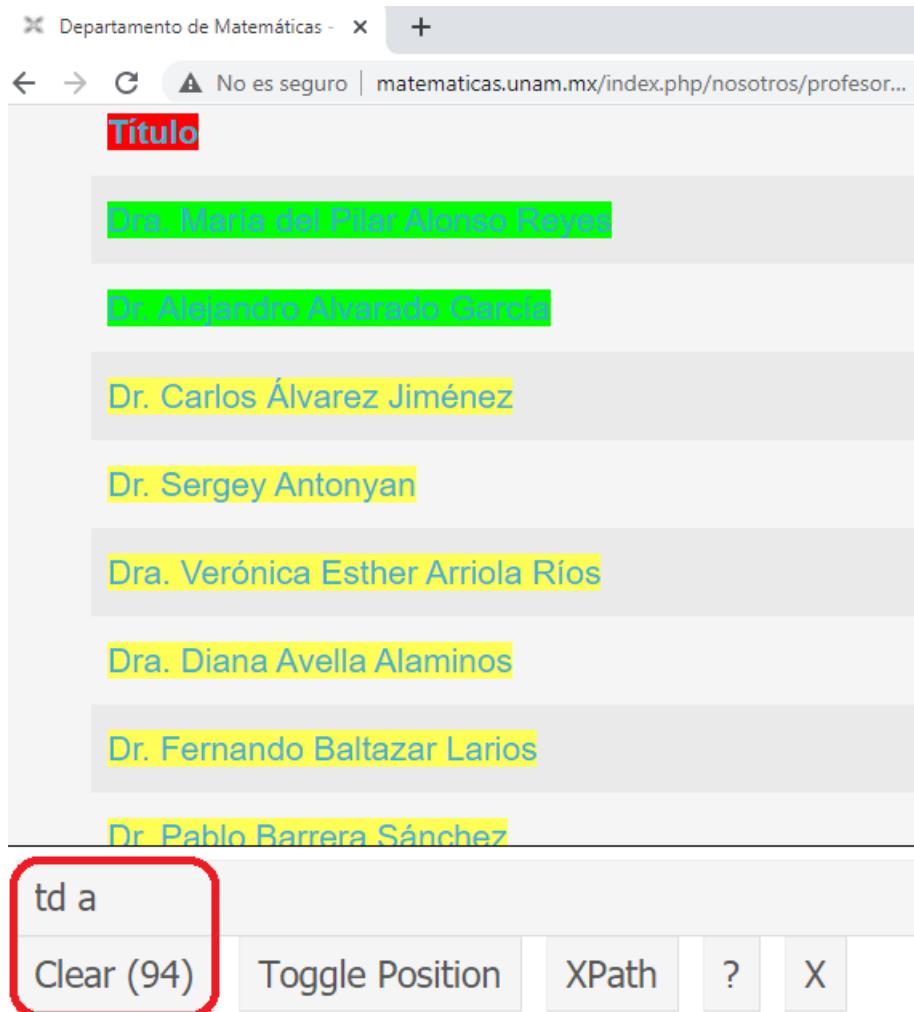


Figura 4.9: Se muestra la selección de profesores de tiempo completo con la aplicación SelectorGadget. Se puede ver el código CSS utilizado en R.

Figura 4.10: Se observan las primeras 20 entradas del vector obtenido con la aplicación SelectorGadget al dar click en el nombre de un profesor de tiempo completo.

Limpiamos los datos para obtener un vector que sólo tuviera los nombres de los profesores, sin su título. Eliminamos el título porque en los horarios publicados en las páginas de la Facultad sus nombres no tienen título. También eliminamos los espacios finales que había en algunos nombres.

De esta manera obtuvimos el vector con el nombre de los profesores de tiempo completo del Departamento de Matemáticas. Dicho vector lo comparamos con la primer columna de la matriz *mat\_nom\_prof\_total*, cuando los nombres coincidieron, pusimos un 1 en el renglón correspondiente.

Al limpiar los datos encontramos 11 nombres que analizamos de manera particular porque no aparecía el 1 en su respectivo renglón. Encontramos que no aparecía la información necesaria en la matriz *mat\_nom\_prof\_total* por diferencias en los nombres. Encontramos diferencias por acentos, por mayúsculas y por nombres incompletos. En la Tabla 4.2 vemos los nombres que aparecen en las páginas de la Facultad comparados con los que aparecen en la página del Departamento de Matemáticas.

| Nombre en páginas de la Facultad                | Nombre en página del Depto. de Matemáticas |
|---|--|
| Alejandro Ricardo Garciadiego Dantan            | Alejandro Ricardo Garciadiego Dantán       |
| Edith Corina Sáenz Valadez                      | Edith Corina Sáenz Valadéz                 |
| Emilio Esteban Lluis Puebla                     | Emilio Lluis Puebla                        |
| Guillermo Javier Francisco Sienna Loera         | Guillermo Sienna Loera                     |
| María Asunción Begoña Fernández Fernández       | Ma. Asunción Begoña Fernández Fernández    |
| María Concepción Ana Luisa Solís González-Cosío | Ana Luisa Solís González Cosío             |
| María Isabel Puga Espinosa                      | Isabel Puga Espinosa                       |
| María Lourdes Velasco Arreguí                   | María de Lourdes Velasco Arregui           |
| Mucuy-Kak del Carmen Guevara Aguirre            | Mucuy-kak del Carmen Guevara Aguirre       |
| Oscar Alfredo Palmas Velasco                    | Óscar Alfredo Palmas Velasco               |
| Úrsula Xiomara Iturrarán Viveros                | Úrsula Iturrarán Viveros                   |

Tabla 4.2: Se muestran los 11 nombres de los profesores de tiempo completo que se analizaron de manera individual. Se encontraron diferencias en acentos, mayúsculas y nombres incompletos.

### 4.3.2. Profesores de asignatura

Al llenar la matriz *mat\_nom\_prof\_total* con los nombres de los profesores vimos que la dimensión de dicha matriz es  $1387 \times 2$ . Por lo que tenemos 1387 nombres de profesores de los cuales 94 son profesores de tiempo completo. En esta subsección explicaremos cómo hicimos la limpieza de los nombres de los profesores de asignatura. Es decir los 1293 nombres que nos falta por analizar.

Lo primero que hicimos fue ordenar los nombres de los profesores de asignatura alfabéticamente. Con ellos definimos el vector *vec\_prof\_asig*. Al ordenarlos, encontramos 9 nombres que tenían un “ / ” al inicio de su nombre. Quitamos ese carácter y los espacios que tenía antes y después. Ordenamos nuevamente los nombres alfabéticamente. Después buscamos los nombres que tenían añadidos los nombres de los ayudantes. Dejamos únicamente el primer nombre. Aplicamos, al vector, la función *unique()* en *R*.

Con el proceso descrito obtuvimos un vector con 1246 nombres. Para comparar los nombres de los profesores, utilizamos la función *stringsim(nom\_prof\_1, nom\_prof\_2)*. Dicha función arroja el porcentaje de similitud entre los parámetros que recibe, en este caso dos nombres de profesores.

Para observar las posibles repeticiones guardamos en una matriz los nombres del vector *vec\_prof\_asig* y aquellos nombres con más del 60% de coincidencia. Eliminamos 117 repeticiones de nombres. Hubo algunos casos en los que los nombres repetidos eran idénticos y en otras ocasiones diferían por acentos o por guiones. En la Tabla 4.3 vemos los nombres de los profesores que eliminamos por diferencia de acentos o guiones o nombre incompleto.

| Nombre a utilizar                                   | Nombre eliminado                                    |
|---|---|
| Antonmaria Gerolamo Enrico Minzoni Alessio          | Antonmaria Minzoni Alessio                          |
| Araceli Arteaga Jiménez                             | Aracely Arteaga Jiménez                             |
| José de Jesús Carlos Quintanar Sierra               | José Jesús Carlos Quintanar Sierra                  |
| Juan Manuel Eugenio Ramírez de Arellano Niño-Rincón | Juan Manuel Eugenio Ramírez de Arellano Niño Rincón |
| Loiret Alejandria Dosal Trujillo                    | Loiret Alejandria Dosal Trujillo                    |
| María Susana Barrera Ocampo                         | Ma. Susana Barrera Ocampo                           |
| Manuel de Llano de la Garza                         | Manuel De Llano De la Garza                         |
| Mónica Alicia Clapp Jiménez-Labora                  | Mónica Alicia Clapp Jiménez Labora                  |
| Omar Antolín Camarena                               | Omar Antolin Camarena                               |
| Roberto Carrillo Lárraga                            | Roberto Carrillo Larraga                            |
| Rocío Jáuregui Renaud                               | Rocío Jauregui Renaud                               |
| Rodrigo Domínguez López                             | Rodrigo Domínguez López                             |
| Rosalío Fernando Rodríguez Zepeda                   | Rosalio Fernando Rodríguez Zepeda                   |

Tabla 4.3: Se muestran los nombres de los profesores de asignatura que se eliminaron por estar repetidos a causa de diferencias en el nombre como acentos, guiones o nombre incompleto.

Finalmente obtuvimos un vector con 1129 nombres de los profesores de asignatura. Guardamos los nombres en la matriz *mat\_nom\_prof\_total*. Dicha matriz contiene la información de 1223 profesores.

Algunas notas a considerar de esta matriz son:

- Puede haber profesores que ya no imparten clases en la Facultad.
- Puede ocurrir que no se recopile toda la información de los profesores en la Tabla 4.3 por no haber coincidencias en los nombres.

- Encontramos los nombres *Jonás Raffael Martínez Sánchez* y *Rafael Martínez Sánchez* los cuales consideramos que son nombres de personas distintas.

## 4.4. Simulación de tamaño de grupos

Definimos el tamaño de un grupo como el número de alumnos que tiene cada clase. Hicimos una función en *R* que simula el tamaño de los grupos con respecto a los profesores. Decidimos realizar de esta manera la simulación porque queremos que el número de alumnos de cada grupo dependa de los profesores y no de la distribución general que tiene el tamaño de los grupos (ver Sección 3.5).

La función realiza los siguientes pasos (para cada uno de los profesores):

1. Obtener, de *m\_grande\_2015*, la información del número de alumnos que ha tenido un profesor.
2. Tomar el mínimo (*a*) y el máximo (*b*) de esos datos.
3. Obtener un número con la función `sample(a:b, size=1)`.
4. Regresar el número obtenido en el paso anterior.

## 4.5. Simulación de solicitudes de profesores

La asignación de horarios depende de los grupos que soliciten los profesores. A partir de un esqueleto de horarios, los profesores eligen las materias y horas en las que quieren dar clase. Dado que no contamos con esa información decidimos simular la elección de materias y horarios basados en información de semestres anteriores.

Como vimos en la Figura 4.1 simulamos dos veces las solicitudes de los profesores, en el proceso de asignación. A la primera vez que simulamos las solicitudes la llamaremos *Solicitud oculta* y a la segunda la llamaremos *Solicitud pseudo-real*. La explicación de su uso lo vemos a continuación.

- Solicitud oculta: Nos ayuda para la generación de los esqueletos pero no influye directamente en la asignación final.
- Solicitud pseudo-real: Es la simulación de las posibles elecciones que los profesores harían en la vida real. Nos ayuda directamente a realizar la asignación final.

El procedimiento para ambos casos es prácticamente el mismo. Primero obtuvimos una matriz, llamada *mat\_1\_solicitud*, la cual tiene la información de la solicitud de un profesor. La matriz tiene 5 columnas (*Profesor, TC, Materia, Num\_Materia, Horario*) y 6 renglones. Los pasos que realizamos para obtener la matriz *mat\_1\_solicitud*, con la solicitud de un profesor, son los siguientes:

1. Llenar la columna *Profesor* con el nombre del profesor del cual queremos realizar la solicitud.

2. Llenar la columna *TC* dependiendo del tipo de profesor que se haya elegido en el paso anterior. Esta columna tiene un 1 en cada renglón si el profesor es de tiempo completo y un 0 si el profesor es de asignatura.
3. Obtener, de *m\_grande\_2015*, la información de las materias que ha impartido el profesor elegido. Guardar la información en el vector *materias\_profesor*. Se tienen 3 casos con respecto al número de materias que tiene dicho vector:
  - a) El número de materias es 2: Llenar los primeros 3 renglones, de la columna *Materia*, con la información de la materia 1 y los últimos 3 renglones con la información de la materia 2.
  - b) El número de materias es mayor o igual a 3: Se toma una muestra de dos materias, con la función `sample(materias_profesor, size = 2)` en R. Se llena la columna *Materia* como el caso anterior.
  - c) El número de materias es 1: Llenar la columna *Materia* con esa materia.
4. Llenar la columna *Num\_Materia* de *mat\_1\_solicitud* con los números de materia correspondientes a las elegidas en el paso anterior.
5. Obtener, de *m\_grande\_2015*, la información de las horas en las que ha dado clases el profesor elegido. Guardar la información en el vector *horas\_profesor*. Se tienen 4 casos con respecto al número de horas que se encuentran en el vector:
  - a) El número de horas es 3: Llenar los renglones 1 y 4, de la columna *Horario*, con la información de la hora 1. Llenar los renglones 2 y 5 con la información de la hora 2. Llenar los renglones 3 y 6 con la información de la hora 3.
  - b) El número de horas es mayor o igual a 4: Se toma una muestra de 3 horas, con la función `sample(horas_profesor, size = 3)` en R. Se llena la columna *Horario* como el caso anterior.
  - c) El número de horas es 2: Llenar los renglones 1,2,4 y 5, de la columna *Horario*, con la información de la hora 1. Llenar los renglones 3 y 6 con la información de la hora 2.
  - d) El número de horas es 1: Llenar la columna *Horario* con esa hora.

En la Figura 4.11 vemos un ejemplo de la matriz *mat\_1\_solicitud*.

| Profesor                       | TC | Materia  | Num_Materia | Horario |
|--------------------------------|----|--|-------------|---------|
| 1 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | 57          | 9       |
| 2 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | 57          | 10      |
| 3 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | 57          | 11      |
| 4 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | 123         | 9       |
| 5 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | 123         | 10      |
| 6 Margarita Elvira Chávez Cano | 1  | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | 123         | 11      |

Figura 4.11: Se observa un ejemplo de la matriz *mat\_1\_solicitud* para un profesor de tiempo completo.

El proceso se repite para cada uno de los profesores en la matriz *mat\_nom\_prof\_total* obtenida en la Sección 4.3. La matriz formada con las solicitudes de todos los profesores la llamamos *mat\_solicitudes*. A ella le quitamos los renglones repetidos. Con estos pasos realizamos la *solicitud oculta*. Ésta nos sirve para poder simular adecuadamente los esqueletos.

Para realizar la *solicitud pseudo-real* hacemos una comparación del esqueleto generado y la matriz *mat\_solicitudes*. Cabe señalar que la *solicitud pseudo-real* depende del esqueleto simulado y la *solicitud oculta* no.

## 4.6. Simulación de la demanda de alumnos

La demanda del número de alumnos para el siguiente semestre la hicimos por materia y por hora. Para poder realizar la simulación lo primero que hicimos fue acomodar la información por semestres y por hora. El procedimiento que seguimos es el siguiente:

1. Definir el semestre del cual se quiere obtener la simulación (*sem\_sig*).
2. Definir el número de semestres que se quieren como ventana de información (*k*).
3. Tomar una submatriz de *m\_grande\_total* con la información de una materia para los semestres en la ventana de información.
4. Para cada semestre dentro de la ventana de información se suma el número de alumnos en cada hora.
5. Se obtiene una matriz de  $t \times k$  como la que se puede ver en la Figura 4.12. Recordemos que  $t = 15$  y representa el número de horas en las que se imparten clases.

|       | 20181 | 20182 | 20191 | 20192 | 20201 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7-8   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 8-9   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9-10  | 0     | 0     | 71    | 0     | 52    |
| 10-11 | 198   | 0     | 75    | 0     | 144   |
| 11-12 | 0     | 44    | 0     | 9     | 0     |
| 12-13 | 0     | 75    | 0     | 97    | 0     |
| 13-14 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 14-15 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 15-16 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 16-17 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 17-18 | 0     | 52    | 0     | 40    | 47    |
| 18-19 | 0     | 0     | 0     | 0     | 88    |
| 19-20 | 78    | 0     | 63    | 0     | 0     |
| 20-21 | 0     | 53    | 79    | 69    | 0     |
| 21-22 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Figura 4.12: Se puede ver la información del número de alumnos reales de la materia “Modelos de Supervivencia y Series de Tiempo” por semestre y por hora.

Con el procedimiento descrito pudimos generar vectores por hora. Aplicamos la función *hw()* en *R* para obtener la demanda de alumnos esperados para el siguiente semestre. En la

Figura 4.13 vemos la matriz vista en la Figura 4.12 junto con el vector de alumnos simulados (señalado en rojo). El vector contiene la demanda de alumnos simulados para el semestre 2020-2 de la materia *Modelos de Supervivencia y Series de Tiempo*.

Notamos que el valor de la demanda de alumnos es cero cuando en todos los semestres de alguna hora no hay datos. En el ejemplo, es el caso de las 7hrs, 8hrs, 13hrs, 14hrs, 15hrs, 16hrs y 21hrs.

Observando los datos de las 10hrs. vemos que en los semestres pares no hay alumnos, por lo que en la simulación se obtiene únicamente un alumno. Si vemos los datos de las 17hrs vemos que de los 5 semestres en la ventana se tienen alumnos en los semestres pares y en un semestre impar, el número de alumnos simulados para esa hora son 31 alumnos.

Con estos ejemplos podemos ver de manera tangible que el modelo respeta la estacionalidad semestral que tienen los datos.

|       | 20181 | 20182 | 20191 | 20192 | 20201 | 20202 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7-8   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 8-9   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9-10  | 0     | 0     | 71    | 0     | 52    | 61    |
| 10-11 | 198   | 0     | 75    | 0     | 144   | 1     |
| 11-12 | 0     | 44    | 0     | 9     | 0     | 8     |
| 12-13 | 0     | 75    | 0     | 97    | 0     | 122   |
| 13-14 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 14-15 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 15-16 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 16-17 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 17-18 | 0     | 52    | 0     | 40    | 47    | 31    |
| 18-19 | 0     | 0     | 0     | 0     | 88    | 29    |
| 19-20 | 78    | 0     | 63    | 0     | 0     | 6     |
| 20-21 | 0     | 53    | 79    | 69    | 0     | 132   |
| 21-22 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Figura 4.13: En esta figura se señala en rojo el vector con la demanda simulada para el 2020-2 de la materia “Modelos de Supervivencia y Series de Tiempo”.

Obtuvimos vectores con la demanda simulada para cada una de las materias y formamos una matriz de  $t \times m$ , llamada *mat\_demandas\_alumnos*. Recordemos que  $m$  es el número de materias que se van a impartir. En la Figura 4.14 podemos ver un ejemplo de cómo se ve la matriz formada.

Analicemos 2 pares de grupos, primero veamos la columna de *Álgebra Superior II* (2) y la de *Geometría Analítica I* (4). Ambas son materias obligatorias para Actuaría, Matemáticas y Matemáticas Aplicadas. La primera corresponde a semestres pares y la segunda a semestres impares. Notamos que para *Geometría Analítica I*, se tienen alumnos prácticamente en cada hora, pero el número no es muy grande. Para *Álgebra Superior II* hay varias horas con cero alumnos simulados pero hay dos grandes cantidades, una a las 9hrs con 832 alumnos y la otra a las 18hrs con 224 alumnos. Con esta comparación podemos exemplificar la diferencia entre una materia que corresponde a semestres pares y una de semestres impares.

Ahora analicemos las columnas de *Seminario de Topología A* (3) y *Probabilidad II* (6). La primera es una materia optativa para Matemáticas. La segunda es una materia obligatoria para Actuaría, correspondiente a semestres pares y optativa para Ciencias de la Computación, Matemáticas y Matemáticas Aplicadas. El número total de alumnos simulados para *Seminario de Topología A* es menor a 20, en cambio para *Probabilidad II* se tiene una gran cantidad de alumnos a las 8hrs, 9hrs y 10hrs. Considerando los valores que se tienen en el turno vespertino para *Probabilidad II*, notamos que a las 19hrs también hay una gran cantidad de alumnos. Con esta comparación podemos exemplificar la diferencia entre una materia obligatoria y una optativa, así como la diferencia entre el turno matutino y vespertino.

|       | Topología I | Álgebra Superior II | Seminario de Topología A | Geometría Analítica I | Geometría Moderna I | Probabilidad II |  |
|-------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|--|
| 7-8   | 0           | 16                  | 0                        | 37                    | 0                   | 0               |  |
| 8-9   | 2           | 59                  | 0                        | 39                    | 53                  | 264             |  |
| 9-10  | 0           | 832                 | 0                        | 38                    | 55                  | 160             |  |
| 10-11 | 15          | 0                   | 1                        | 16                    | 0                   | 187             |  |
| 11-12 | 56          | 0                   | 2                        | 0                     | 0                   | 5               |  |
| 12-13 | 0           | 0                   | 1                        | 12                    | 6                   | 0               |  |
| 13-14 | 2           | 0                   | 5                        | 30                    | 19                  | 0               |  |
| 14-15 | 32          | 8                   | 0                        | 107                   | 86                  | 0               |  |
| 15-16 | 20          | 7                   | 0                        | 43                    | 1                   | 0               |  |
| 16-17 | 0           | 0                   | 0                        | 0                     | 36                  | 0               |  |
| 17-18 | 1           | 0                   | 10                       | 27                    | 0                   | 8               |  |
| 18-19 | 44          | 224                 | 0                        | 187                   | 0                   | 9               |  |
| 19-20 | 0           | 0                   | 0                        | 45                    | 0                   | 85              |  |
| 20-21 | 0           | 9                   | 0                        | 10                    | 16                  | 0               |  |
| 21-22 | 0           | 6                   | 0                        | 16                    | 0                   | 0               |  |

Figura 4.14: Se muestra una submatriz de “mat\_demandas\_alumnos”. Los vectores contienen el número de alumnos simulados para el semestre 2020-2 por hora de algunas materias.

## 4.7. Modelo de Mezcla Gaussiana

El modelo de Mezcla Gaussiana también es llamado modelo de mezcla de normales. En él se tienen dos o más distribuciones normales. Se hace una combinación lineal de ellas y se obtiene una nueva distribución de probabilidad.

En *R* se puede generar dicha distribución con la función *normalmixEM()*. La función regresa un objeto de tipo *mixEM* el cual contiene un modelo de una mezcla de distribuciones normales obtenidas por el algoritmo de maximización de la esperanza (*EM - expectation maximization algorithm*).

Do Chuong y Batzoglou nos indican, en su artículo *What is the expectation maximization algorithm?* [4], que el algoritmo EM es una generalización natural de la estimación por máxima verosimilitud. Ésto para el caso en donde se tiene información incompleta. Recordemos que la máxima verosimilitud se utiliza para encontrar la mejor manera de ajustar una distribución

a los datos.

En el algoritmo EM, los parámetros iniciales se toman de los datos reales y se define una distribución *a priori*. Con ellos se obtienen los parámetros de una distribución *a posteriori*. Éstos se convierten en los parámetros iniciales para la siguiente iteración. Este proceso lo realiza la función `normalmixEM()` hasta encontrar el modelo de mezcla de normales.

Los principales parámetros que recibe la función `normalmixEM()` son:

- *x*: Vector con los datos a los que se les quiere aplicar el modelo.
- *mu*: Vector con las medias iniciales para el algoritmo EM.
- *sigma*: Vector con las desviaciones estándar iniciales del modelo.
- *k*: Número de distribuciones normales que se ajustan a los datos.

Cabe mencionar que el objeto de tipo *mixEM* contiene los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  finales. Éstos nos sirven para simular números aleatorios con una distribución normal. Dicha distribución tiene *k* medias, así como *k* desviaciones estándar.

En la Figura 4.15 se puede ver el histograma con el número de alumnos esperados por hora. Los datos corresponden a una matriz *mat\_demandas\_alumnos* (ver Sección 4.6). Con el comando `mixmdl_1_D <- normalmixEM(wait_alumnos, k = 4)` guardamos el modelo inicial. La línea azul de dicha figura corresponde a la densidad ajustada de 1000 números aleatorios con una distribución normal con 4 medias. El comando para obtener la densidad es: `density(rnorm(1000, mean = mixmdl_1_D$mu, sd = mixmdl_1_D$sigma))`. Se tomaron los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  arrojados por el modelo *mixmdl\_1\_D*.

En la Figura 4.16 se puede observar el histograma con el número de alumnos esperados por hora. Los datos corresponden a 5 matrices *mat\_demandas\_alumnos*. Con el comando `mixmdl_D <- normalmixEM(wait_alumnos_final, mixmdl_1_D$mu)` guardamos el modelo final. En este caso la función recibió los datos del modelo inicial. Los valores de  $\mu$  son: 7.49, 10.30, 13.78 y 17.23. Para obtener la densidad ajustada, mostrada en la figura (línea azul), utilizamos los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  arrojados por el modelo *mixmdl\_D*.

Notamos que la densidad se ajusta mejor a los datos. Ésto debido a que para este caso se tiene más información y los valores iniciales son mejores. Se puede ver el pico de las 10hrs, también se observa que se toman en cuenta los picos de las 14hrs, 16hrs y 18hrs.

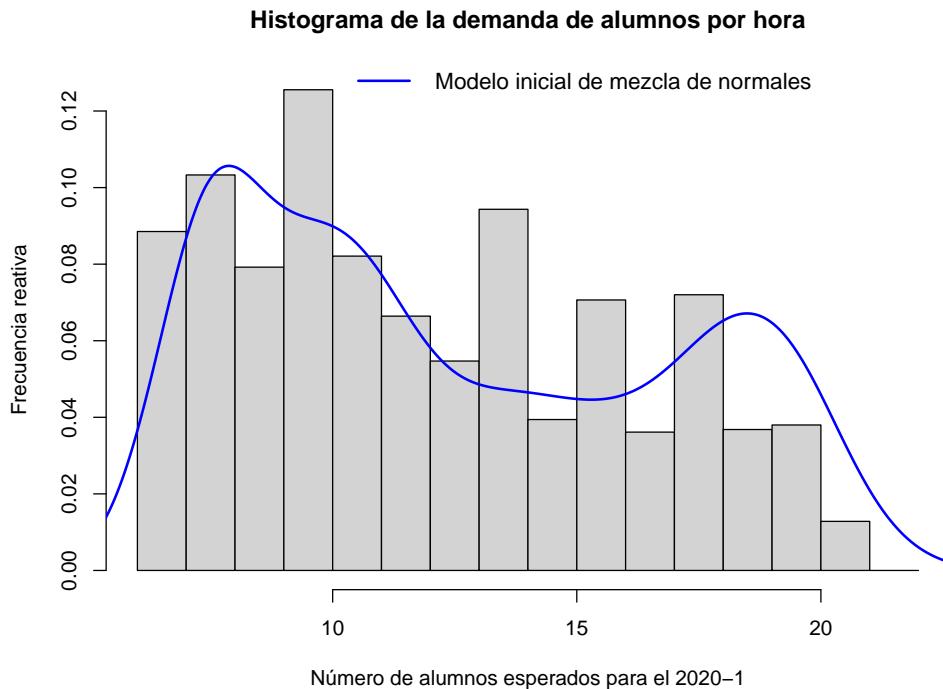


Figura 4.15: Se muestra el histograma del número de alumnos esperados por hora. La línea azul corresponde a la densidad ajustada de 1000 números aleatorios con la distribución obtenida con el modelo inicial de mezcla de normales.

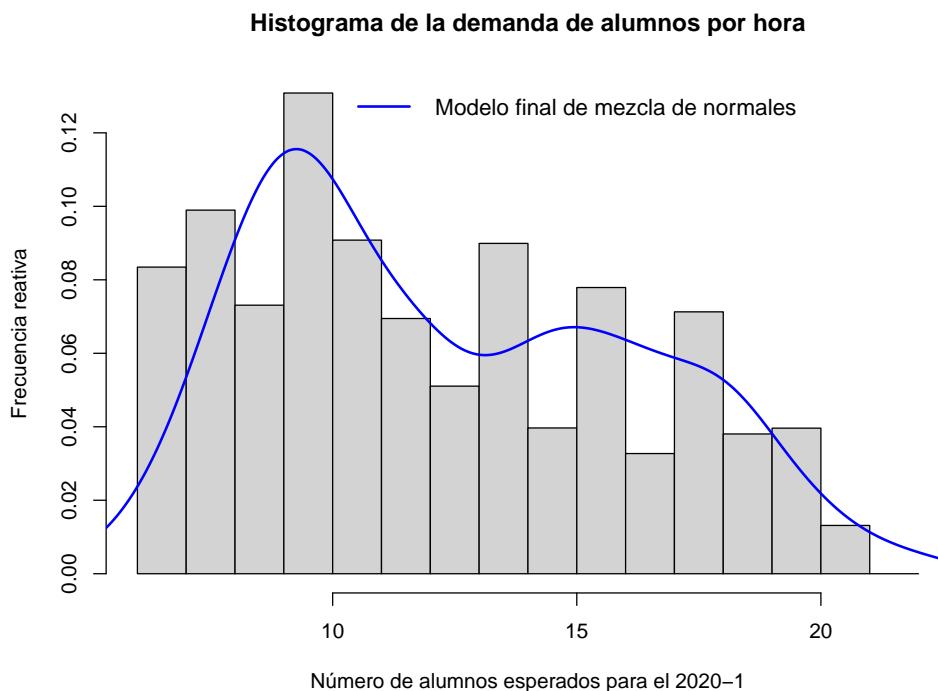


Figura 4.16: Se muestra el histograma del número de alumnos esperados por hora. La línea azul corresponde a la densidad ajustada de 1000 números aleatorios con la distribución obtenida con el modelo final de mezcla de normales.

El modelo de mezcla de normales lo utilizamos para simular los esqueletos de los horarios. En las siguientes secciones veremos cómo aplicamos la función `normalmixEM()` para obtener la matriz `mat_esqueleto`.

## 4.8. Obtención de $D'$ y $D_0$

Los esqueletos que vamos a simular dependen de la demanda de alumnos. En esta sección vamos a mostrar 4 diferentes metodologías que probamos para poder simular adecuadamente los esqueletos. Ésto basándonos en el número de alumnos simulados para el siguiente semestre.

Definimos las siguientes matrices:

- $D'$  : Matriz de  $t \times m$ , con la demanda simulada por alguna de las 4 metodologías.
- $D^0$  : Matriz de  $t \times m$ , con la cual se va a comparar  $D'$  para calificarla. Esta matriz se obtiene haciendo el promedio entre una matriz `mat_demanda_alumnos` (ver Sección 4.6) y una matriz de demanda de alumnos, obtenida con el modelo de mezcla de normales (ver Sección 4.7).

La calificación de las metodologías depende de la diferencia relativa entre  $D^0$  y  $D'$ . Los pasos que seguimos para obtener las calificaciones son:

1. Definir la matriz  $C$ , de  $t \times m$ . Esta matriz va a guardar las calificaciones por grupo de  $D'$ .
2. Para cada  $C_{h,j}$  guardar el valor de  $\frac{D_{h,j}^0 - D'_{h,j}}{D_{h,j}^0}$ .
3. Si  $D_{h,j}^0 = 0$  entonces  $C_{h,j} = 1$  si faltan alumnos y  $C_{h,j} = -1$  si sobran alumnos, es decir:  

$$C_{h,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } D_{h,j}^0 > D'_{h,j} \\ -1 & \text{si } D_{h,j}^0 < D'_{h,j} \\ 0 & \text{e.o.c.} \end{cases}$$
4. Definir el vector `vec_calif_x_materia` con el promedio por columna de  $C$ . Este vector guarda las calificaciones por materia de  $D'$ .

Para cada metodología, realizamos 10 simulaciones y calificamos las matrices  $D'$  generadas. Con este procedimiento obtuvimos 4 matrices de 10 renglones y  $m$  columnas. Graficamos cada matriz con la función `matplot()` en *R*. Cada gráfica contiene  $m$  líneas con 10 puntos cada una. A continuación mostramos las 4 gráficas.

En la Figura 4.17 vemos las calificaciones por materia de la metodología A. Notamos que se encuentran entre -5 y 1. Ésto quiere decir que en promedio con este método sobra hasta un 500 % de alumnos y falta casi un 100 % al hacer la simulación.

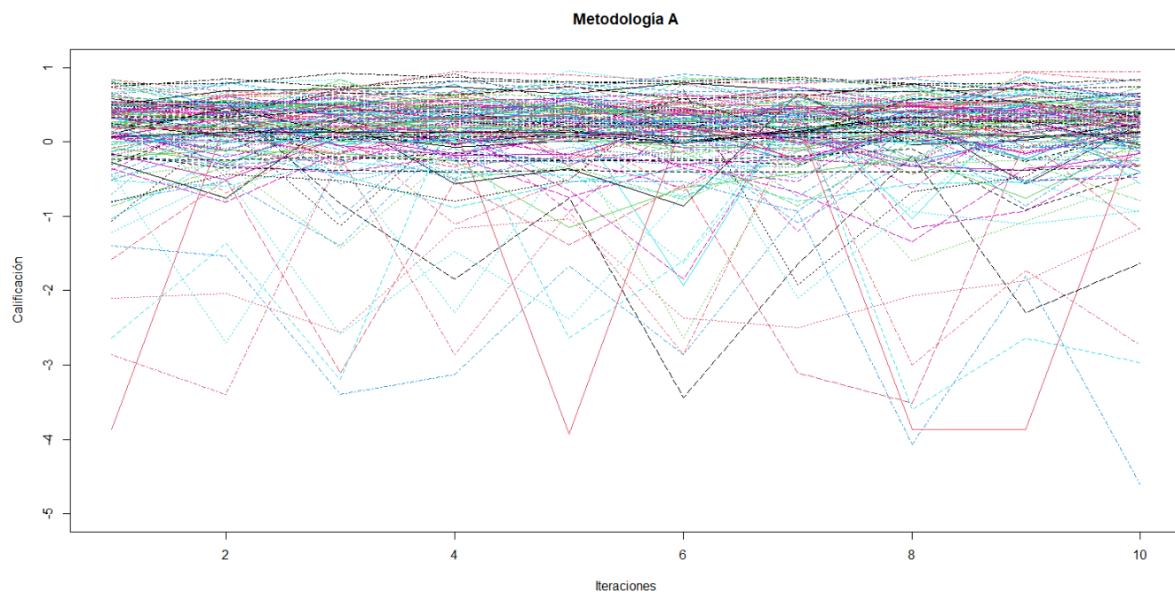


Figura 4.17: Se muestran las calificaciones por materia de la metodología A.

En la Figura 4.18 vemos las calificaciones por materia de la metodología B. Notamos que se encuentran entre -0.5 y 0.8. Ésto quiere decir que en promedio con este método sobra hasta un 50 % de alumnos y falta casi un 80 % al hacer la simulación.

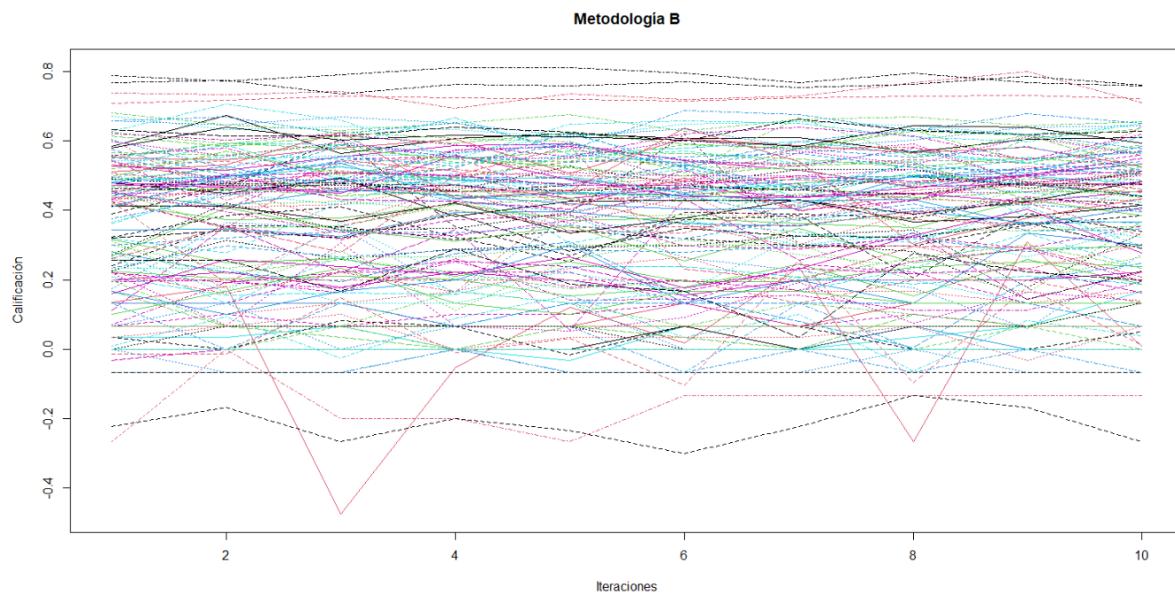


Figura 4.18: Se muestran las calificaciones por materia de la metodología B.

En la Figura 4.19 vemos las calificaciones por materia de la metodología C. Notamos que, al igual que en la metodología B, las calificaciones se encuentran entre -0.5 y 0.8. En este caso observamos que hay una mayor concentración de materias (líneas) entre 0.5 y 0.8. Ésto comparado con el método B que tiene una mayor concentración entre 0.4 y 0.6.

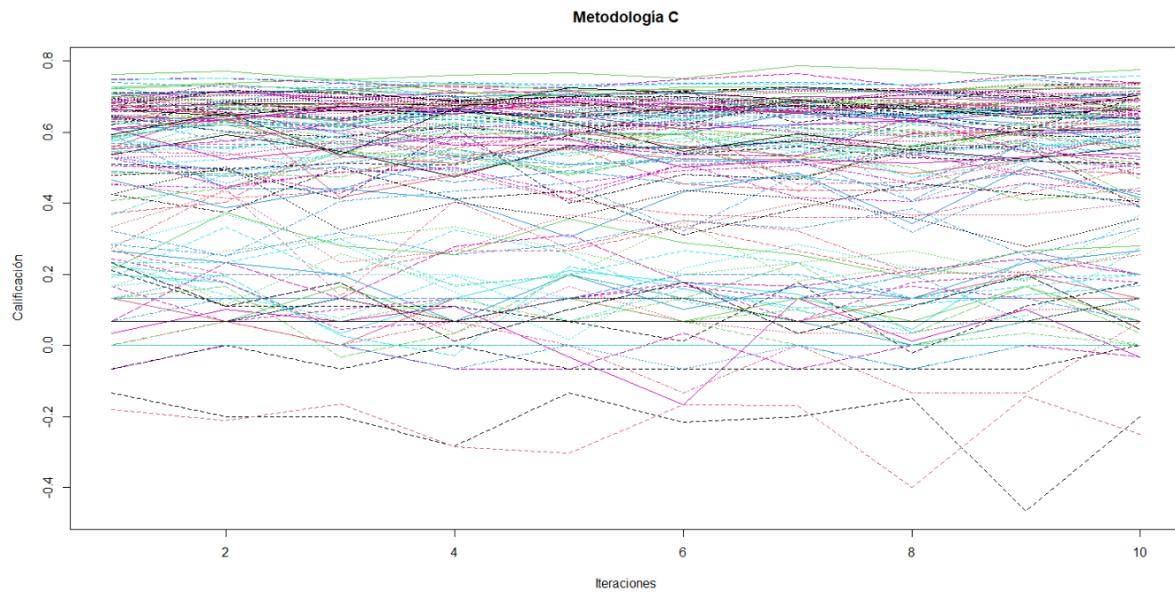


Figura 4.19: Se muestran las calificaciones por materia de la metodología C.

En la Figura 4.20 vemos las calificaciones por materia de la metodología D. Notamos que se encuentran entre -6 y 0.4. Ésto quiere decir que en promedio con este método sobra hasta un 600 % de alumnos y falta casi un 40 % al hacer la simulación. Podemos observar que sólo una materia tiene calificaciones por debajo de -3. En general todas se concentran entre -2.5 y 0.4.

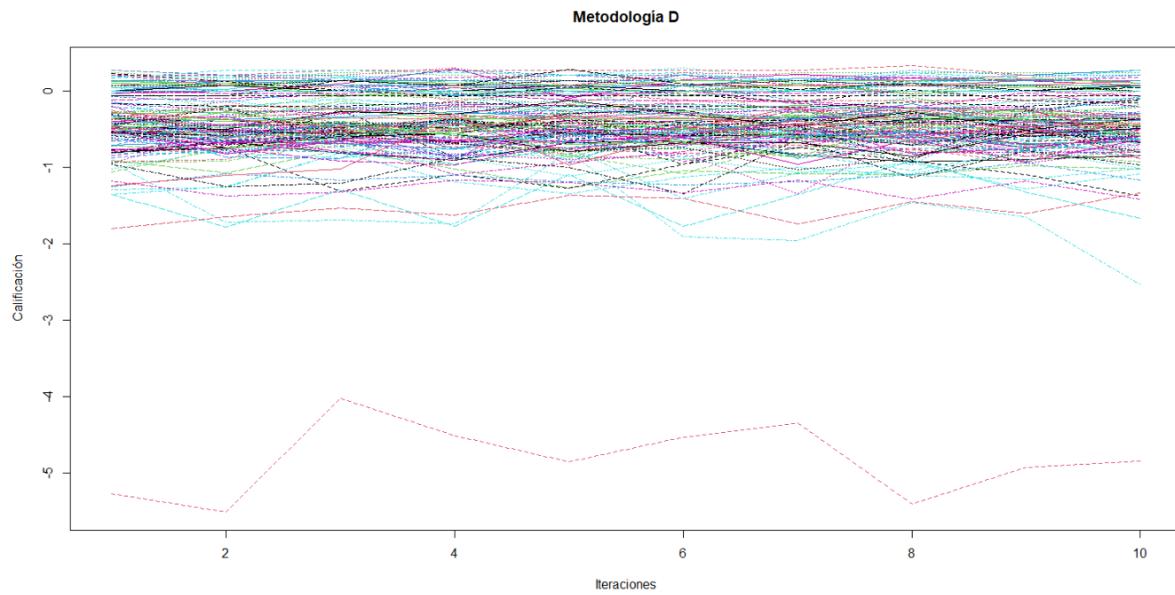


Figura 4.20: Se muestran las calificaciones por materia de la metodología D.

Decidimos analizar las metodologías B y C ya que son las que muestran las mejores calificaciones. Para ello graficamos las matrices de calificaciones con la función `heatmap()` en R. Cabe aclarar que las matrices de calificaciones están ordenadas de menor a mayor por renglones. En la Figura 4.21 vemos el correspondiente a la metodología B. En la Figura 4.22 vemos el `heatmap` referente a la metodología C.

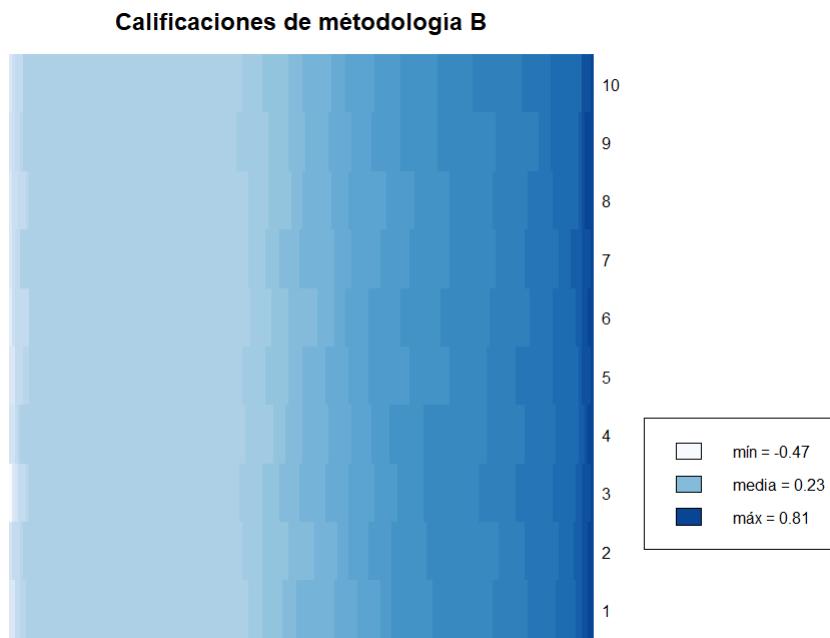


Figura 4.21: Se muestra el heatmap de las calificaciones por materia de la metodología B.

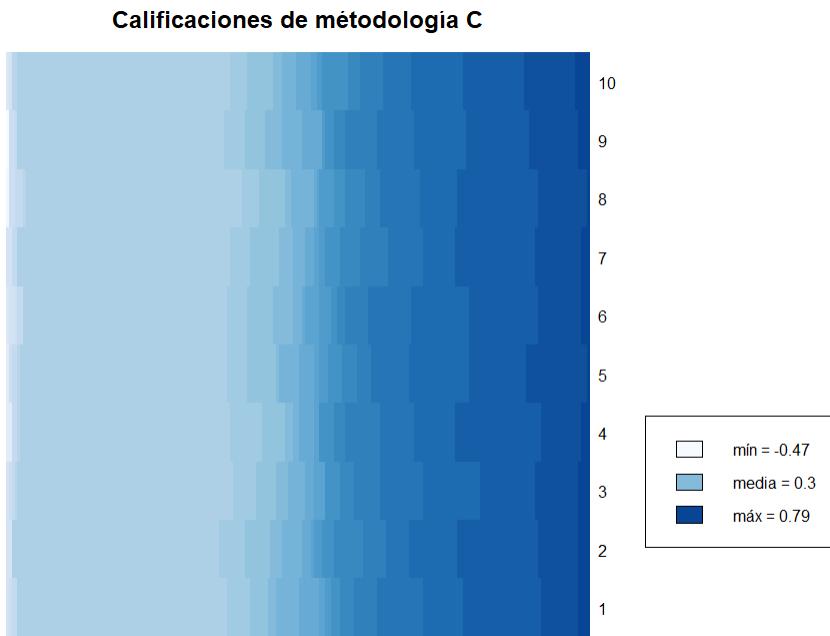


Figura 4.22: Se muestra el heatmap de las calificaciones por materia de la metodología C.

Para elegir entre las dos metodologías, tomamos en cuenta que el error relativo estuviera más cercano a cero. Al ver ambos *heatmaps* observamos que el correspondiente al método *B* es más claro que el del método *C*. Por lo que elegimos la metodología *B* para simular los esqueletos.

En la metodología *B* la matriz  $D'$  es una matriz *mat\_demandas\_alumnos*. Es por ello que se genera con el procedimiento descrito en la Sección 4.6. La matriz *mat\_esqueleto* se genera con el modelo de mezcla de Normales visto en la Sección 4.7. En las siguientes secciones se describe a detalle el procedimiento que seguimos para obtener la matriz *mat\_esqueleto*.

## 4.9. Simulación de esqueletos

Para simular la matriz *mat\_esqueleto*, con el modelo de mezcla de normales, necesitamos simular la información de varios esqueletos. Para ello vamos a considerar que ya se generaron las matrices  $D'$  (ver Sección 4.6) y *mat\_solicitudes* (ver Sección 4.5). El proceso que seguimos para obtener un esqueleto es el siguiente:

1. Elegir un profesor de tiempo completo al azar.
2. Elegir al azar un horario y una materia que haya solicitado el profesor elegido en el paso anterior. Con estos datos obtenemos las coordenadas  $(h, j)$  para las matrices  $D'$  y *mat\_esqueleto*.
3. Verificar que a esa materia en esa hora aún le sobran alumnos, en la entrada  $(h, j)$  de  $D'$ .
4. Simular el número de alumnos para ese grupo (ver Sección 4.4).
5. Restar el número de alumnos simulados en el paso anterior, de la materia y hora elegidas, en la entrada  $(h, j)$  de  $D'$ .
6. Ese profesor ya no puede impartir clases a esa hora. Retirar renglones correspondientes de *mat\_solicitudes*.
7. Repetir los pasos de 1 a 6 hasta que se terminen los profesores.
8. Una vez que se terminen los profesores de tiempo completo, hacer los pasos de 1 a 7 con los profesores de asignatura.

Algunas notas a considerar del procedimiento son:

- Los profesores de tiempo completo deben cumplir con sus horas, por contrato.
- Los profesores sólo pueden tener asignadas a lo más 2 materias.
- Las condiciones de paro del proceso son:
  - a) Ya se cubrió toda la demanda
  - b) Ya no hay más profesores
  - c) Llegar a una cota predefinida para que el ciclo no se haga infinito o tarde mucho en cumplir las condiciones anteriores.

## 4.10. Obtención de *mat\_esqueleto*

La matriz *mat\_esqueleto* tiene  $t$  renglones y  $m$  columnas. En la entrada  $(h, j)$  tiene el número de grupos simulados para la hora  $h$  y la materia  $j$ . Dicha matriz depende de la demanda de alumnos y de las solicitudes de los profesores.

Los pasos que seguimos para obtener la matriz son:

1. Definir  $n\_rep$ , el número de veces que se va a generar la matriz  $D'_n$  con la demanda de alumnos para el siguiente semestre.

2. Simular  $D'_1$  con la función *gen\_mat\_demandas\_alumnos*. Los pasos de esta función se describen en la Sección 4.6.
3. Definir la matriz *prom\_D* igual a  $D'_1$ . La matriz *prom\_D* guardará el promedio del número de alumnos simulados.
4. Simular *mat\_solicitudes* con la función *gen\_solicitudes*. El procedimiento de esta función está descrito en la Sección 4.5.
5. Simular un esqueleto inicial con la función *gen\_esqueleto*. Los pasos de esta función se pueden ver en la Sección 4.9.
6. Guardar el número de grupos por materia.
7. Convertir y guardar los datos del esqueleto inicial para obtener la distribución por horas. Los datos se guardan en el vector *wait\_mat\_esqueleto*.
8. Graficar los datos del esqueleto inicial para ver su distribución. Con esta gráfica encontrar el número de medias inicial, en nuestro caso  $k = 4$  (ver Figura 4.23).
9. Definir el modelo inicial *mixmdl\_1\_esqueleto* con el siguiente comando en R:

```
normalmixEM(wait_mat_esqueleto, k = 4).
```

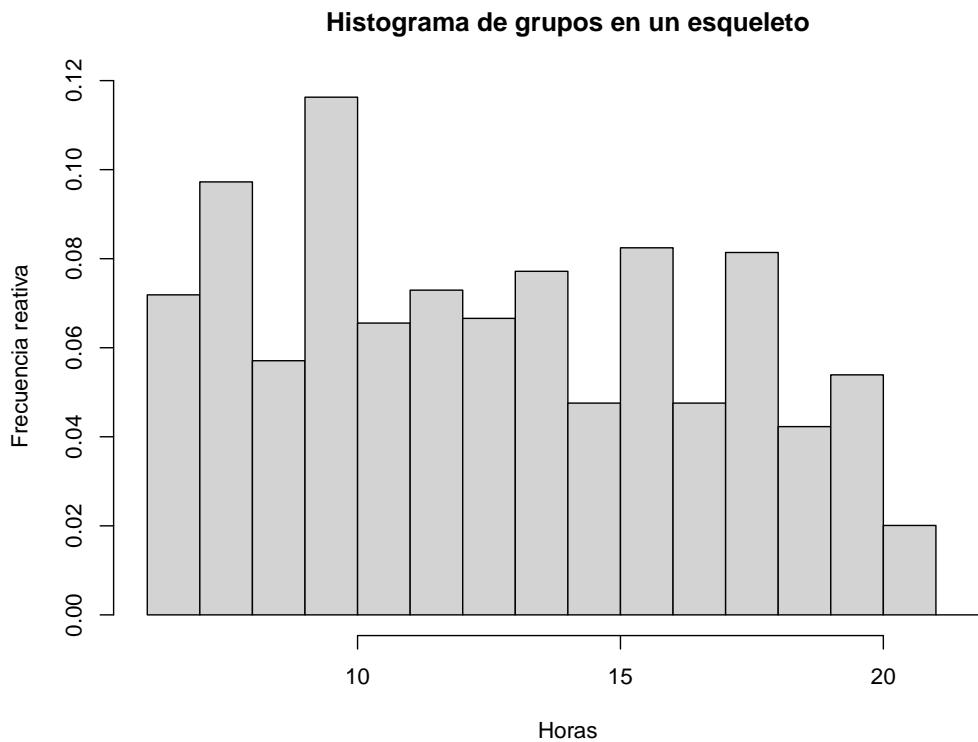


Figura 4.23: Se muestra el histograma con el número de grupos por hora en el esqueleto inicial.

Pasos a repetir ( $n = 2, \dots, n_{rep}$ ):

1. Obtener  $D'_n$  con la función *gen\_mat\_demandas\_alumnos*.

2. Definir  $prom\_D = prom\_D + D'_n$ .
3. Simular  $mat\_solicitudes$  con la función  $gen\_solicitudes$ .
4. Simular un esqueleto con la función  $gen\_esqueleto$ .
5. Guardar el número de grupos por materia.
6. Convertir y guardar los datos del esqueleto en el vector  $wait\_mat\_esqueleto$ .

Pasos finales:

1. Calcular el promedio de grupos por materia. Para ello, aplicar las siguientes funciones de  $R$ , a la matriz  $prom\_D$ : `ceiling(colMeans((prom_D)))`
2. Definir el modelo final  $mixmdl\_esqueleto$  con el siguiente comando en  $R$ :

```
normalmixEM(wait_mat_esqueleto,k = 4,mean=mixmdl_1_esqueleto$mu).
```

En la Figura 4.24, se puede ver el histograma con todos los datos de los esqueletos simulados. La línea azul representa la distribución ajustada por el modelo final  $mixmdl\_esqueleto$ .

3. Generar la matriz  $mat\_esqueleto$  en base al promedio obtenido y a la distribución del modelo final. Por ejemplo, si se tiene una materia con 5 grupos simulados, entonces se simulan 5 números aleatorios con distribución Normal. El comando en  $R$  es: `round(rnorm(5,mixmdl_esqueleto$mu,mixmdl_esqueleto$sigma))`

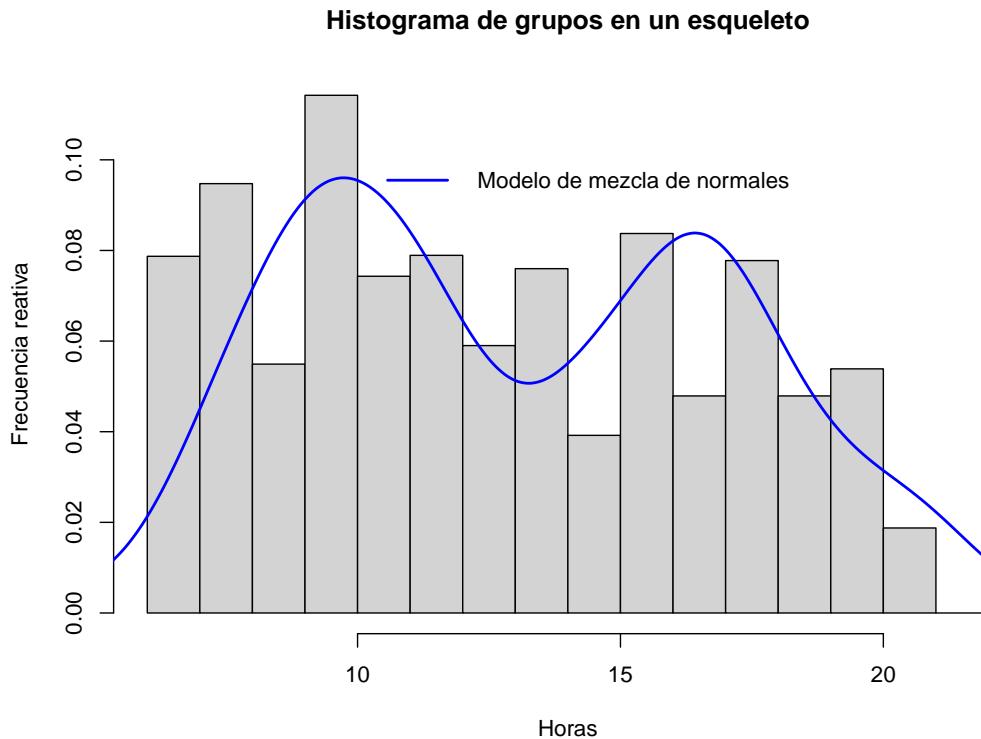


Figura 4.24: Se muestra el histograma con el número de grupos por hora de todos los esqueletos simulados. La línea azul representa la distribución ajustada por el modelo final.

En la Figura 4.25 vemos un ejemplo de una submatriz de *mat\_esqueleto* para el semestre 2020-2. Observemos las últimas 4 columnas que corresponden a las materias de *Cálculo Diferencial e Integral I, II, III y IV*. Notamos que el número de grupos simulados para *Cálculo Diferencial e Integral II* es mayor a al número de grupos de *Cálculo Diferencial e Integral I*. Ésto se debe al comportamiento descrito en la Sección 3.2 y el semestre 2020-2 es par. Para *Cálculo Diferencial e Integral III y IV* el número de grupos simulados es prácticamente igual.

| Inferencia Estadística | Investigación de Operaciones | Teoría de Redes | Cálculo de las Variaciones | Cálculo Diferencial e Integral IV | Cálculo Diferencial e Integral I | Cálculo Diferencial e Integral II | Cálculo Diferencial e Integral III |
|------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 7-8                    | 1                            | 1               | 1                          | 1                                 | 4                                | 2                                 | 3                                  |
| 8-9                    | 2                            | 3               | 0                          | 0                                 | 1                                | 2                                 | 4                                  |
| 9-10                   | 3                            | 0               | 0                          | 0                                 | 1                                | 1                                 | 3                                  |
| 10-11                  | 0                            | 2               | 0                          | 0                                 | 2                                | 2                                 | 4                                  |
| 11-12                  | 0                            | 0               | 1                          | 0                                 | 2                                | 2                                 | 1                                  |
| 12-13                  | 1                            | 1               | 1                          | 0                                 | 2                                | 0                                 | 3                                  |
| 13-14                  | 0                            | 1               | 0                          | 0                                 | 2                                | 0                                 | 0                                  |
| 14-15                  | 0                            | 0               | 0                          | 0                                 | 1                                | 1                                 | 0                                  |
| 15-16                  | 1                            | 0               | 0                          | 0                                 | 0                                | 1                                 | 2                                  |
| 16-17                  | 0                            | 1               | 0                          | 0                                 | 0                                | 0                                 | 2                                  |
| 17-18                  | 0                            | 0               | 0                          | 0                                 | 1                                | 0                                 | 2                                  |
| 18-19                  | 1                            | 1               | 0                          | 0                                 | 1                                | 0                                 | 3                                  |
| 19-20                  | 0                            | 1               | 1                          | 0                                 | 0                                | 0                                 | 0                                  |
| 20-21                  | 0                            | 0               | 0                          | 0                                 | 0                                | 2                                 | 0                                  |
| 21-22                  | 1                            | 0               | 0                          | 0                                 | 1                                | 0                                 | 0                                  |

Figura 4.25: Se muestra una submatriz de “mat\_esqueleto” para el semestre 2020-2. En la entrada  $(h,j)$  se observa el número de alumnos simulados para la hora  $h$  y la materia  $j$ .



# Capítulo 5

## Algoritmo Genético

El Algoritmo Genético (AG) es un método de computación evolutiva o *machine learning*, basado en la teoría sintética de la evolución. Dicha teoría, a grandes rasgos, combina el mecanismo de la selección natural de Darwin con la genética de Mendel. Nos indica que el individuo más apto sobrevive, por lo que entre mejores sean los padres, mejor es la descendencia.

Actualmente el AG se utiliza para resolver problemas de búsqueda y optimización. Las áreas de aplicación son por ejemplo: economía, finanzas, medicina, ciencias sociales, investigación de operaciones, hidráulica, aeronáutica y química. Algunos ejemplos dentro de estas áreas son: diseño de redes de agua potable, optimización de portafolios de inversión, el problema del agente viajero y asignar asientos en un evento.

Los pasos del AG son los siguientes:

1. Selección: Se define una población de tamaño  $n$ . El valor de aptitud o adaptabilidad, de cada elemento en la población, se asigna al evaluar su utilidad en la función objetivo. Entre mejor sea el elemento, más alto será su valor de adaptabilidad. Se eligen 2 elementos de la población, llamados padres. La selección de los padres depende de qué tan aptos sean. Con dichos padres se va a formar un hijo.
2. Cruce: Con cierta probabilidad se toma información de los padres. Dicha información la llamaremos genes.
3. Mutación: Cada gen agregado al hijo tiene una probabilidad pequeña de mutar.
4. Reemplazamiento: Se repiten los 3 pasos anteriores hasta formar  $n$  hijos y poder reemplazar la población.

Con este proceso se obtiene una generación. El número de generaciones así como el tamaño de la población se fijan antes de iniciar con el algoritmo. En la Figura 5.1 podemos ver el diagrama de los pasos mencionados.

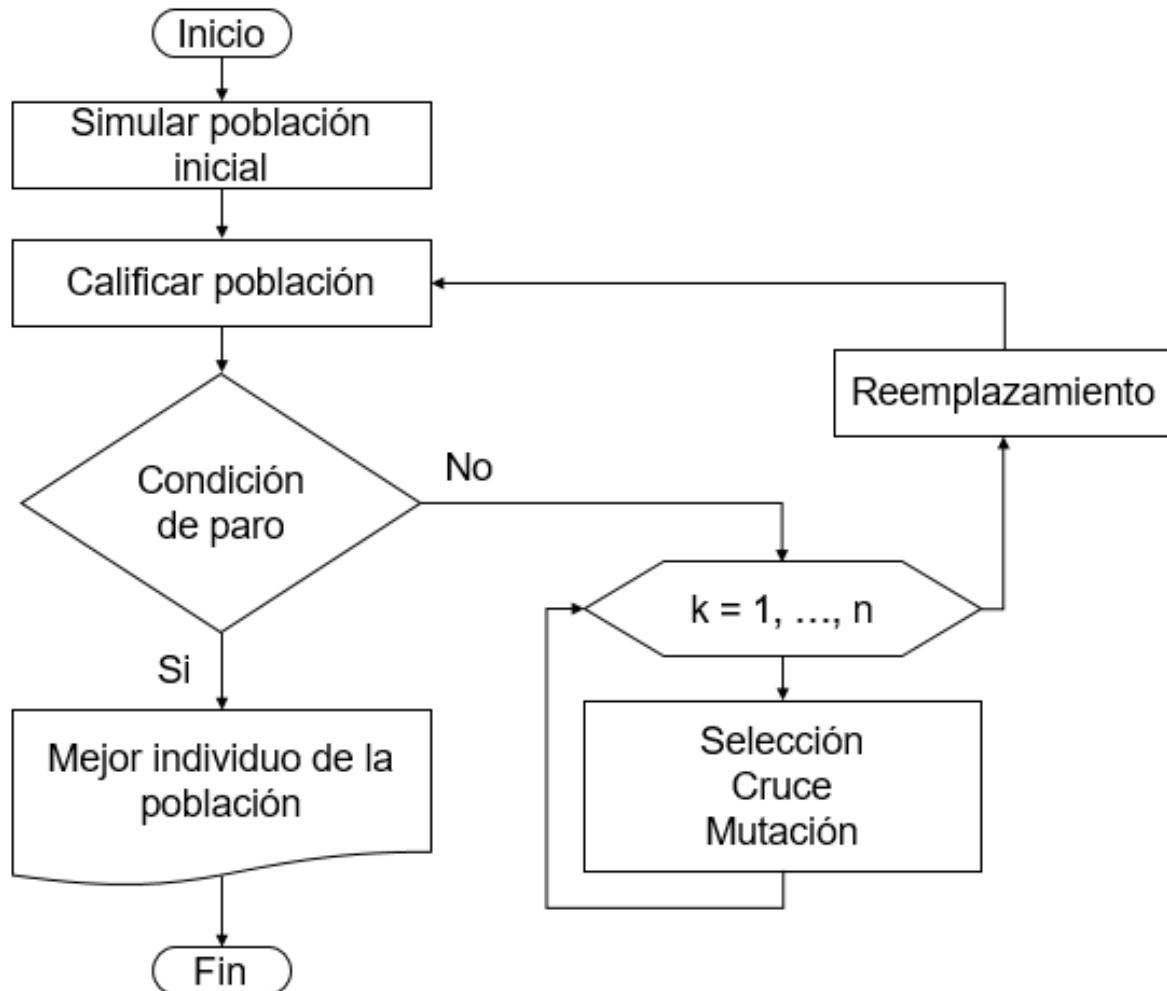


Figura 5.1: Se muestra el diagrama de flujo que se sigue en el Algoritmo Genético.

En la siguiente sección explicaremos cómo encontramos una buena asignación utilizando el AG. Cabe mencionar que Reeves y Rowe en su libro *Genetic Algorithms: Principles and Perspectives* [12], nos indican que se puede generar una nueva población haciendo el cruce y la mutación o utilizando sólo una de ellas. En nuestro caso, la estrategia que seguimos fue utilizar ambas.

## 5.1. Algoritmo Genético aplicado a los horarios

El objetivo principal de este proyecto es obtener una matriz con la asignación final de materias, profesores y horas. Para ello haremos uso del AG. A continuación vamos a definir los términos que utilizaremos:

- Asignación: Matriz de 3 columnas con la información de materias, profesores y horarios.
- Población: Conjunto de  $n$  asignaciones.
- Padre: Asignación seleccionada, de la población, para formar un hijo.

- Gen: Vector de 3 entradas (Materia, Profesor, Horario) con la información extraída de una asignación.
- Hijo: Asignación formada a partir de los genes de 2 padres.
- Probabilidad de mutación: Debe de ser un valor pequeño.
- Generación: Se tiene una generación cuando se han creado  $n$  hijos y se puede reemplazar la población.

Los pasos que seguimos para obtener la asignación final son:

### 1. Generar una población inicial

Se generan  $n$  asignaciones a partir del esqueleto simulado (ver Sección 4.10) y de las solicitudes pseudo-reales simuladas (ver Sección 4.5).

Para cada asignación, comparamos el número de solicitudes con el número de grupos simulados en el esqueleto. Ésto por materia y por hora. Se tienen dos casos:

- a) El número de solicitudes es mayor al número de grupos simulados. En este caso se asignan los grupos tomados de una muestra aleatoria de las solicitudes. El tamaño de la muestra es igual al número de grupos simulados para la materia y hora correspondientes.
- b) El número de solicitudes es menor o igual al número de grupos simulados. Se asignan todos los grupos en la solicitud, para la materia y hora correspondientes.

De esta manera se asignan todos los posibles grupos que se hayan solicitado. Se debe de considerar lo siguiente:

- Un profesor no puede impartir diferentes materias a la misma hora.
- Un profesor no puede impartir la misma materia en diferentes horarios.
- Un profesor no puede tener más de  $num\_max\_asig$  materias asignadas.

### 2. Calificar cada asignación de la población

Cada asignación tiene 2 tipos de calificaciones:

- a) Por gen: Se califica cada gen de la asignación. Se premia con +5 si el profesor asignado es de tiempo completo. Se penaliza con -1 por cada asignación que pudo haber tenido un profesor de tiempo completo y tiene un profesor de asignatura. Para tener una calificación diferente para cada grupo, sumamos a cada gen una  $\epsilon \in [0, 0.1]$ .
- b) Global: Se califica la asignación completa. Se penaliza con -1 por cada grupo en el esqueleto sin profesor. Se penaliza con -10 por cada materia pedida por algún profesor de tiempo completo y no se le asignó. Se suma el promedio de las calificaciones por gen.

Nota: Si el número máximo de asignaciones es 2 y un profesor pidió 3 o más materias pero sólo se le asignó 1, entonces se penaliza una materia. Si se le asignaron, 2 no hay penalización.

### 3. Ordenar de acuerdo a la calificación

Los genes de cada asignación se ordenan de menor a mayor calificación. Se quiere elegir con mayor probabilidad los genes con mejor calificación.

Las asignaciones se ordenan de menor a mayor calificación. Se desea elegir con mayor probabilidad las asignaciones con mejor calificación.

### 4. Elegir 2 padres

Los padres se eligen con probabilidad:  $\mathbb{P}(\text{elegir la asignación } i \text{ ya ordenada}) = \frac{2i}{n(n+1)}$ , donde  $i$  es la posición de la asignación con respecto a su calificación.

### 5. Elegir un gen

Primero se elige al azar un parente (ambos tienen probabilidad 0.5). Una vez que se eligió un parente, seleccionar un gen:  $\mathbb{P}(\text{elegir el gen } i \text{ ya ordenado}) = \frac{2i}{g(g+1)}$ , donde  $i$  es la posición del gen en la asignación con respecto a su calificación y  $g$  es el número de genes que tiene la asignación.

### 6. Mutación

Se simula un número aleatorio, si ese número es menor a la probabilidad de mutación, entonces el gen tiene una mutación. Si un gen muta, se elige un gen de las solicitudes pseudo-reales y se intercambia por el gen previamente seleccionado.

### 7. Agregar gen

Una vez seleccionado el gen, éste se agrega al hijo.

### 8. Ajustar información

Se quita la información a los padres, del profesor en el gen elegido:

- A esa hora y con esa materia para evitar que se elijan genes repetidos para el hijo. Esto puede ocurrir por ejemplo cuando ambos padres tienen el mismo gen.
- A esa hora porque los profesores no pueden impartir más de una clase a la misma hora.
- Con esa materia porque no se les puede asignar la misma materia en diferentes horarios.
- Cualquier materia a cualquier hora cuando el profesor ya tiene el número máximo de materias asignadas.

### 9. Repetir 5 - 8

Repetir los pasos 5 al 8 hasta que uno de los padres se quede sin genes.

### 10. Añadir genes

Agregar al hijo los genes del parente que aún tiene información.

Con el algoritmo utilizado en la generación de la población inicial, agregar los grupos que falta por asignar de *mat\_esqueleto*.

**11. Repetir 4 - 10**

Repetir los pasos 4 al 10  $n$  veces para poder formar una generación.

**12. Reemplazar población**

Reemplazar a la población con la que se formó la generación.

**13. Repetir 2 - 12**

Repetir los pasos 2 al 12 hasta completar el número de generaciones deseadas.

**14. Asignación final**

Definir la asignación final como el hijo mejor calificado de la última generación.

Algunas notas que se deben de considerar en la asignación final:

- Algunos profesores se les asignaron 2 cálculos
- Hay profesores que ya no imparten clases en la Facultad (nota en la sección de los profesores)
- No se asignaron todos los grupos simulados en el esqueleto. Ésto porque:
  - a) No hay solicitudes de esas materias a esas horas.
  - b) Se asignaron otras materias a los profesores en esas horas.
- Es posible que la asignación final no sea la mejor calificada de todas las generaciones.

## 5.2. Resultados del Algoritmo Genético

Hicimos algunas pruebas con el AG para definir los parámetros de la asignación final. En la Tabla 5.1 se puede ver un resumen con los resultados de dichas pruebas. En la primer columna vemos el número de generaciones, para cada prueba. En la segunda columna se encuentra el tamaño de la población, para cada generación. En la tercera columna se observa la calificación del mejor elemento de todas las generaciones. En la cuarta columna se muestra el número de genes de la asignación final. Finalmente en la quinta columna se puede ver la calificación de la asignación final de cada prueba.

En las últimas 2 pruebas la asignación final no tuvo la mejor calificación de todas las asignaciones generadas. Ésto puede ocurrir porque el AG explora diferentes posibilidades y no necesariamente son siempre mejores que las anteriores.

Al observar la última columna notamos que al incrementar el tamaño de la población o el número de generaciones la calificación de la asignación final es cada vez mejor. Si comparamos la prueba 1 con la 2 vemos que hay una diferencia de 11.82 puntos, en la calificación. Se incrementaron 10 elementos a la población de 5 a 15 elementos. Si ahora comparamos la prueba 1 con la 3 notamos que la diferencia es de 65.24 puntos, en la calificación. En este caso se incrementó el número de generaciones de 3 a 6.

Con estas observaciones concluimos que hay un mayor incremento en la calificación cuando se aumenta el número de generaciones que el tamaño de la población.

| Generaciones | Población | Mejor calif. | Genes asig. final | Calif. asig. final |
|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------------------|
| 3            | 5         | -599.43      | 677               | -599.43            |
| 3            | 15        | -587.61      | 672               | -587.61            |
| 6            | 5         | -534.19      | 679               | -534.19            |
| 6            | 10        | -527.56      | 694               | -527.56            |
| 8            | 8         | -510.52      | 682               | -510.52            |
| 10           | 5         | -521.78      | 683               | -530.79            |
| 10           | 10        | -514.41      | 682               | -515.85            |

Tabla 5.1: Se muestran los datos de las pruebas del Algoritmo Genético. Se observa una mejora en la calificación cuando se incrementa el número de generaciones o el tamaño de la población.

A continuación presentaremos los resultados obtenidos con el AG correspondientes a la prueba con 8 generaciones y 8 elementos por cada población. En esta prueba obtuvimos la mejor calificación en la asignación final de todas las pruebas realizadas. El número de genes varía dependiendo de cada asignación, en este caso se encuentra entre 650 y 690.

En la Figura 5.2 vemos las calificaciones de la mejor asignación por generación. Observamos que la mejora en la calificación es considerable de la población inicial a la segunda generación. Notamos que la calificación del mejor elemento de la generación 6 es menor al de la generación 5.

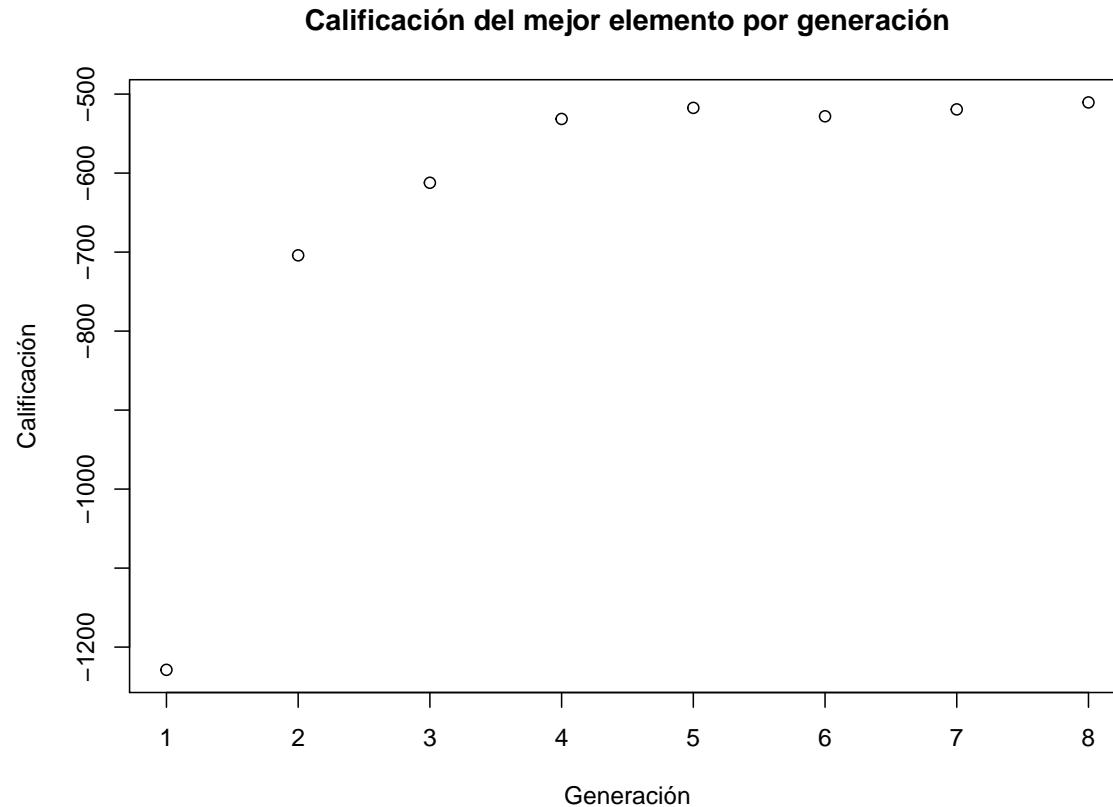


Figura 5.2: Se muestran las calificaciones de la mejor asignación por generación. Se observa una mejora considerable en la calificación de la generación 1 a la 2.

En la Figura 5.3 observamos las gráficas de caja de las calificaciones de las asignaciones, para cada generación. Hay una mejora considerable en las calificaciones de la generación 1 a 2. Los puntos representan las calificaciones de cada asignación por generación.

Notamos que las calificaciones de las asignaciones en la generación 6, son muy parecidas. A diferencia de las calificaciones en la generación 3, las cuales varían más.

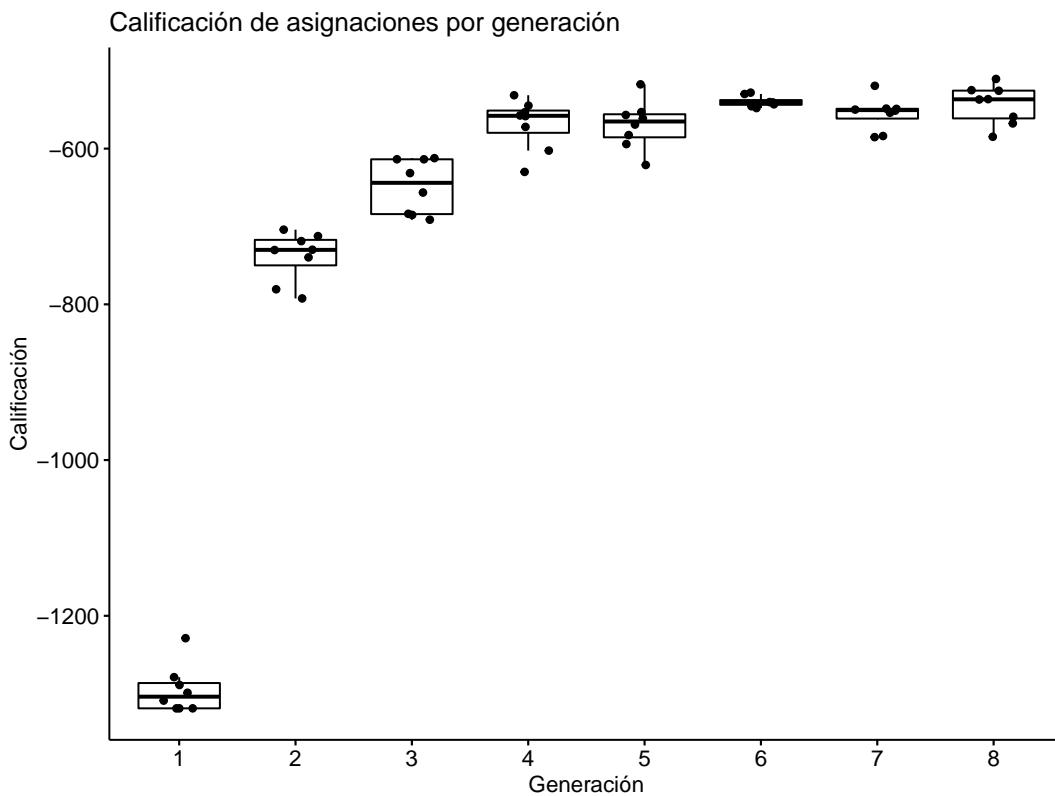


Figura 5.3: Se muestran las gráficas de caja de las calificaciones de las asignaciones por generación. Se observa una mejora considerable en la calificación de la generación 1 a la 2.

En la Figura 5.4 se puede ver el promedio de las calificaciones de las asignaciones por generación. Al igual que en las Figuras 5.2 y 5.3 se observa una mejora considerable en la calificación de la generación 1 a la 2.

Podemos observar que el promedio de las calificaciones de la generación 7 es menor que el promedio de las calificaciones de la generación 6.

En la Figura 5.5 se ve la varianza de las calificaciones de las asignaciones por generación. El valor más pequeño se observa en la generación 6. Al ver la Figura 5.3 en dicha generación, notamos que los puntos tienen valores muy similares.

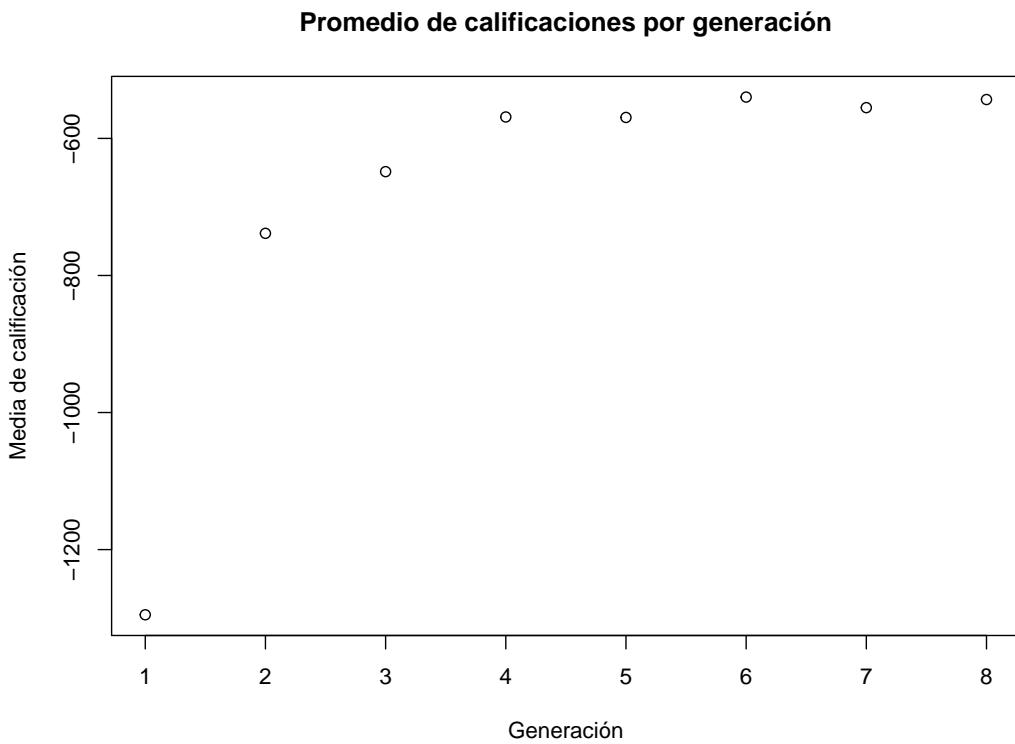


Figura 5.4: Se muestra el promedio de las calificaciones de las asignaciones por generación. Se observa una mejora considerable en la calificación de la generación 1 a la 2.

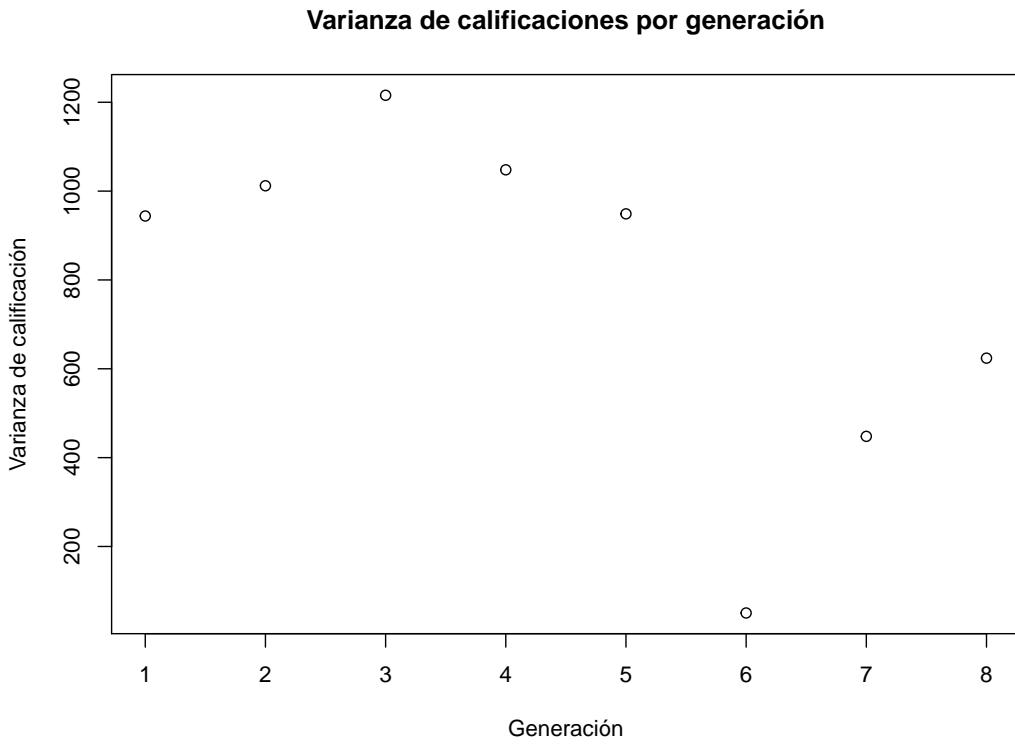


Figura 5.5: Se muestra la varianza de las calificaciones de las asignaciones por generación. Se observa una disminución considerable de la generación 3 a la 4.

En la Figura 5.6 podemos ver las gráficas de caja del número de genes en las asignaciones por generación. Se observa que los valores tienden a ser cada vez mayores. Los puntos representan el número de genes de cada asignación por generación. Notamos que la media de la generación 2 es considerablemente mayor que la media de la generación 1.

También podemos observar que el promedio del número de genes en las generaciones 7 y 8 es menor al promedio del número de genes en la generación 6. En las generaciones 4 y 7, el número de genes varía mucho.

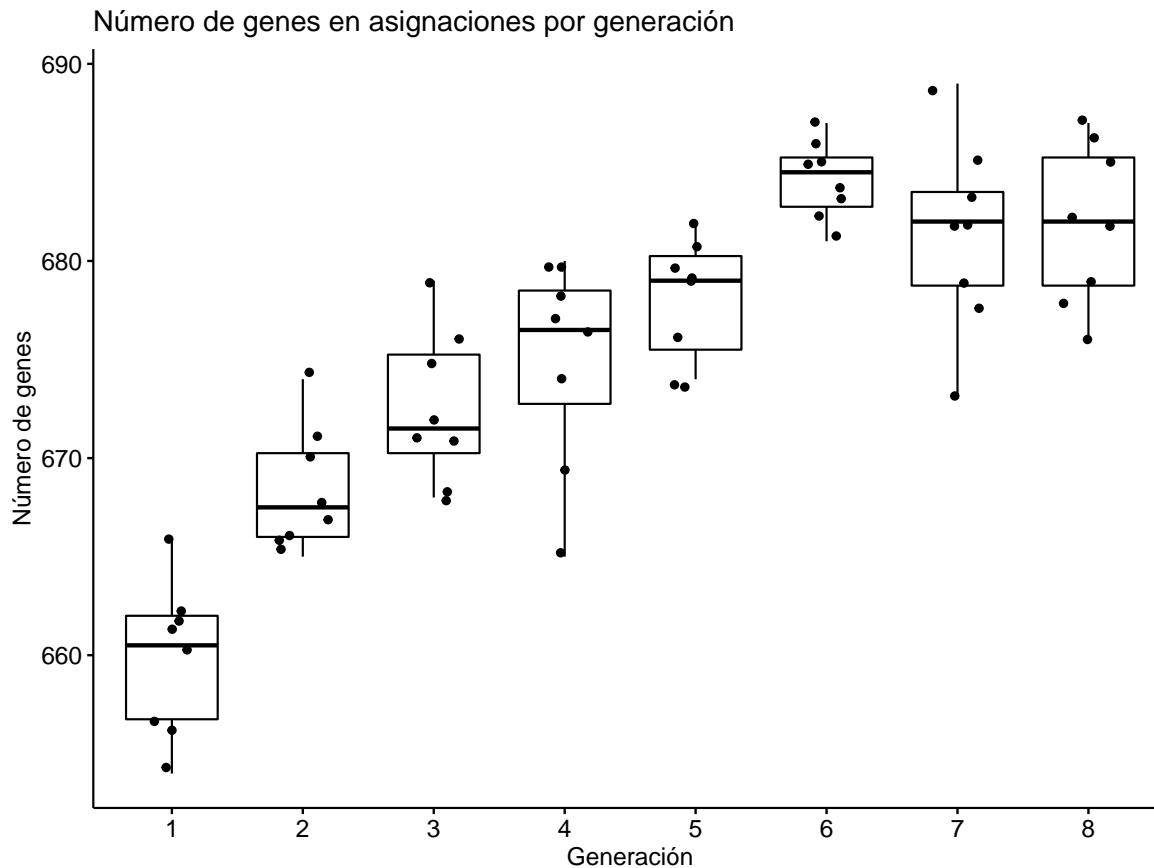


Figura 5.6: Se muestran las gráficas de caja del número de genes en asignaciones por generación. Se observa que los valores tienen una tendencia no decreciente.

Sabemos que la asignación final es el mejor elemento de la última generación. En la Tabla 5.2 presentamos una submatriz de la asignación final. Cabe aclarar que los datos se ordenaron con respecto a la materia (en orden alfabético) y por hora (de menor a mayor). La matriz completa se puede ver en el Apéndice D.

Dicha matriz tiene 682 grupos asignados, cada uno con materia, profesor y horario correspondiente. En el semestre 2020-1 se tuvieron 747 grupos reales. Se simularon 1091 grupos en *mat\_esqueleto*.

|     | Materia  | Profesor                                  | Horario |
|-----|--|---|---------|
| 1   | Administración Actuarial del Riesgo            | Fernando Pérez Márquez                    | 7       |
| 133 | Cálculo Diferencial e Integral I               | Elena de Oteyza de Oteyza                 | 7       |
| 156 | Cálculo Diferencial e Integral II              | Héctor Méndez Lango                       | 11      |
| 353 | Inferencia Estadística                         | Martha Angélica Montes Fonseca            | 18      |
| 401 | Manejo de Datos                                | José Alfredo Cobián Campos                | 13      |
| 418 | Matemáticas Financieras                        | Irma Rocío Zavala Sierra                  | 7       |
| 498 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Margarita Elvira Chávez Cano              | 10      |
| 505 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Jaime Vázquez Alamilla                    | 8       |
| 510 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Lizbeth Naranjo Albarrán                  | 11      |
| 534 | Probabilidad I                                 | María Asunción Begoña Fernández Fernández | 10      |
| 539 | Probabilidad II                                | Daniel Alejandro Zurita Gutiérrez         | 8       |
| 561 | Procesos Estocásticos I                        | Arrigo Coen Coria                         | 10      |
| 567 | Productos Financieros Derivados                | Jesús Agustín Cano Garcés                 | 10      |
| 679 | Variable Compleja I                            | Micho Durdevich Lucic                     | 16      |
| 682 | Variable Compleja I                            | Jesús Manuel Mayorquín García             | 19      |

Tabla 5.2: Se muestra una submatriz de la asignación final. Cada renglón tiene la información de un grupo con una materia, profesor y horario asignado.

A continuación presentamos algunos porcentajes que nos permiten hacer diferentes comparaciones. Las materias optativas y obligatorias que se mencionan, se consideran con respecto a la carrera de Actuaría.

$$\begin{aligned}
 \frac{682}{1091} &= 62.51\% \text{ grupos asignados} \\
 \frac{241 + 18}{1091} &= 23.73\% \text{ grupos de optativas e inglés sin asignación} \\
 \frac{150}{1091} &= 13.74\% \text{ grupos de obligatorias sin asignación} \\
 \frac{682}{747} &= 91.29\% \text{ grupos asignados comparados con el 2020-1}
 \end{aligned}$$

Notamos que casi una cuarta parte de los grupos simulados en *mat\_esqueleto* corresponde a materias optativas y de inglés. Ésto ocurre por dos principales motivos:

1. No hay solicitudes en *mat\_solicitudes* de los grupos no asignados. Existen materias optativas que no se imparten todos los semestres. Por ello hay ocasiones en las que no se simula la solicitud.
2. Se les asigna otra materia a esa hora a los profesores que hayan solicitado alguna optativa. Usualmente se les asigna una obligatoria a la hora en la que solicitaron la optativa.

La principal razón por la que se tiene alrededor de un 10% de materias obligatorias sin asignar es por la forma en la que definimos *mat\_esqueleto*. El modelo de mezcla de normales nos permite que los grupos se distribuyan a lo largo de las horas sin tener picos demasiado altos. Ésto se basa en el supuesto de que los alumnos tienen la misma preferencia por una materia a cierta hora, o a la hora anterior o a la siguiente. Es decir, si un alumno elige *Probabilidad I* a las 10hrs, le es indistinto si la toma a las 9hrs, a las 10hrs o a las 11hrs.

Este fenómeno se observa con mayor claridad en las materias con horarios muy específicos como *Teoría del Seguro*, *Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños*, *Fianzas y Reaseguro* o *Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas I*. En el caso de *Teoría del Seguro* se simularon 4 grupos en *mat\_esqueleto*, a las 8, 10, 13 y 19hrs. Las solicitudes simuladas se pueden ver en la Figura 5.7. Notamos que sólo hay solicitudes a las 8 y a las 19hrs. Con estos datos el algoritmo sólo puede asignar dos grupos, uno a las 8hrs y el otro a las 19hrs.

| Profesor                                  | TC | Materia           | Num_Materia | Horario |
|---|----|-------------------|-------------|---------|
| Agustín Peralta Cuellar                   | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Alfonso Parrao Guzman                     | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 19      |
| Alfonso Parrao Guzman                     | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Arturo Roldán López                       | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 19      |
| David López Hernández                     | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Erik Alexander Castro Loyo                | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 19      |
| Jose Gabriel Cardenas Salmeron            | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Karen Lanzguerrero Obeid                  | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Karina Vargas Cruz                        | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| María Patricia Luna Díaz                  | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Mauricio Gabriel Arredondo Fernández Cano | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Pedro Aguilar Beltrán                     | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Ricardo Villegas Azcorra                  | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |
| Samadhi Cervantes Torres                  | 0  | Teoría del Seguro | 59          | 8       |

Figura 5.7: Se muestran las solicitudes simuladas de la materia “Teoría del Seguro” para el semestre 2020-2.

Por estas razones el algoritmo asigna alrededor del 60% de los grupos simulados. Para aumentar este porcentaje realizamos el siguiente procedimiento:

1. Simular *mat\_esqueleto* (ver Sección 4.10).
2. Simular solicitudes pseudo-reales (ver Sección 4.5).
3. Crear un archivo *xlsx* con 3 hojas:
  - Horario: Contiene una asignación predefinida con los grupos que se desean tener en la asignación final.
  - Materias: Contiene el nombre de las materias del vector *vec\_nom\_materias\_total* (ver Sección 4.1).

- Profesores: Contiene la matriz *mat\_nom\_prof\_total*, con la información de cada profesor (ver Sección 4.3).
4. Leer la hoja *Horario* del archivo creado con la función `read_excel`, en *R*.
  5. Eliminar la información de las solicitudes correspondiente a la asignación predefinida. Se eliminan los grupos a esa hora o con esa materia.
  6. Eliminar los grupos de la asignación predefinida en *mat\_esqueleto*.
  7. Realizar el AG con las nuevas matrices de esqueleto y de solicitudes.
  8. Agregar los grupos de la asignación predefinida a los grupos de la asignación obtenida con el AG.

De esta manera se pueden definir manualmente grupos difíciles de asignar con el AG. Pueden ser materias optativas u obligatorias. Dado que se elimina la información en las solicitudes antes de realizar el AG, no se tienen grupos repetidos en la última asignación.

Cabe aclarar que en el archivo *xlsx*, las hojas *Materias* y *Profesores* nos sirven de guía para llenar de manera adecuada la hoja *Horario*. Evitando los problemas vistos en las Secciones 4.1 y 4.3 de falta de acentos, nombres incompletos, entre otros.

# Capítulo 6

## Conclusiones

- La división que se hizo de los datos es estadísticamente adecuada.
- Se encontró que el AG es una buena opción para solucionar este problema de maximización.
- Este trabajo apoya las necesidades de los alumnos de la Facultad.
- El algoritmo propuesto puede ser aplicado en otras escuelas o facultades que cuenten con características similares a las de la Facultad. También puede ser utilizado para resolver problemas generales de asignación de recursos.
- En particular, para las carreras de la Facultad que no pertenecen al Departamento de Matemáticas, el programa realizado se puede ajustar. Se debe de considerar lo siguiente, (cada inciso tiene un ejemplo):
  - a) Las materias impartidas en los laboratorios duran 2 o más horas: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20191/1081/830>.
  - b) No todas las materias se imparten todos los días: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20192/1439/1419>.
  - c) Existen materias que no duran horas enteras: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20192/1081/104>.
  - d) Hay materias que no inician en horas enteras: <http://www.fciencias.unam.mx/docencia/horarios/20172/181/1601>.



# Apéndice A

## Materias agrupadas

Vemos las materias que se actualizaron o cambiaron de nombre. Las negritas son los nombres y número de materia que tenían cuando el vector tenía 335 materias.

- Administración **(1)** -> Administración Actuarial (148) -> **Administración Actuarial del Riesgo** (288)
- Seminario de Inteligencia Artificial **(3)** -> **Recuperación y Búsqueda de Información en Textos** (257)
- **Seminario de Aplicaciones a las Ciencias Sociales y Administrativas (4)** -> Administración de Empresas de Software (258) -> Riesgo Tecnológico (278) -> Temas Selectos de Ingeniería de Software A (192)
- Probabilidad y Estadística **(5)** -> **Probabilidad I** (60)
- Mecánica Vectorial **(6)** -> Cálculo Tensorial (248)
- Matemáticas Avanzadas de la Física **(12)** -> **Funciones Especiales y Transformadas Integrales** (53) -> Análisis de Fourier I (208) -> Análisis de Fourier II (231) -> Introducción a las Funciones Recursivas y Computabilidad (224)
- Mecánica Analítica **(13)** -> Introducción Matemática a la Mecánica Celeste (119)
- Física Computacional **(15)** -> Supercómputo (195)
- Teoría de Gráficas **(33)** -> Teoría de las Gráficas II (147)
- Graficas y Juegos **(36)** -> **Introducción a las Matemáticas Discretas** (311)
- Estadística I **(41)** -> **Inferencia Estadística** (300)
- Análisis de Redes **(44)** -> **Teoría de Redes** (152)
- Bases de Datos **(50)** -> Formación Científica I (330) -> Sistemas Manejadores de Bases de Datos (106) -> Sistemas de Bases de Datos (123) -> Grandes Bases de Datos (169) -> Fundamentos de Bases de Datos (241) -> Almacenes y Minería de Datos (269) -> **Manejo de Datos** (301) -> Programación II (51)

- **Análisis Numérico (54)** -> Análisis Numérico II (161) -> Temas Selectos de Análisis Numérico (321)
- **Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I (56)** -> Seminario de Filosofía de la Ciencia I (118) -> Didáctica de las Matemáticas (319)
- Estadística II (59) -> **Modelos no Paramétricos y de Regresión** (284) -> Análisis de Regresión (113)
- Teoría de la Computación (67) -> **Autómatas y Lenguajes Formales** (240)
- Matemáticas Discretas (68) -> **Estructuras Discretas** (220)
- Programación I (69) -> **Programación** (287)
- **Procesos Estocásticos I (70)** -> Procesos Estocásticos (159)
- **Seminario de Geometría A (73)** -> Álgebra Geométrica (207) -> Geometría Algebraica II (209)
- Fianzas (78) -> Matemáticas Actuariales del Seguro de Daños (79) -> **Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro (SN)** (297) -> Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños (297) -> Reaseguro (98) -> Reaseguro Financiero (127)
- Teoría de Juegos I (143) -> **Teoría de Juegos en Economía (80)**
- Finanzas II (82) -> **Métodos Cuantitativos en Finanzas** (298)
- Seminario de Aplicaciones Actuariales I (303) -> Seminario de Matemáticas Actuariales Aplicadas (85) -> Seminario de Aplicaciones Actuariales II (323) -> **Seminario de Aplicaciones Actuariales** (142) -> /Seminario de Aplicaciones Actuariales I/Seminario de Estadística I (333) -> Seminario de Probabilidad A (211) -> Teoría de la Medida II (313)
- Finanzas I (86) -> **Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos** (306) -> Valuación de Opciones (128)
- Problemas Socio-Económicos de México (87) -> **Análisis del México Contemporáneo** (275) -> México: Nación Multicultural (176)
- Formación Científica II (88) -> **Economía** (304) -> Economía I (88)
- Productos Financieros Derivados I (91) -> Productos Financieros Derivados II (184) -> **Productos Financieros Derivados** (326)
- Economía II (93) -> **Temas Selectos de Economía** (307) -> Econometría II (233)
- Demografía I (94) -> Demografía II (97) -> **Demografía** (289) -> Demografía Avanzada (308)
- Introducción a Ciencias de la Computación I (95) -> Introducción a Ciencias de la Computación II (101) -> **Introducción a Ciencias de la Computación** (222) -> Estructuras de Datos (234) -> Robótica (268)
- Arquitectura de Computadoras (102) -> **Organización y Arquitectura de Computadoras** (245)

- Análisis de Algoritmos I (**103**) -> Análisis de Algoritmos II (205) -> **Análisis de Algoritmos** (243)
- **Lenguajes de Programación (104)** -> Lenguajes de Programación y sus Paradigmas (247) -> Semántica y Verificación (214)
- Seminario de Ciencias de la Computación A (254) -> **Seminario de Ciencias de la Computación (SN)** (263) -> Seminario de Temas Selectos de Computación (**105**) -> Seminario de Aplicaciones de Cómputo (133) -> Seminario de Computación Teórica (162) -> Seminario de Aplicaciones de Cómputo II (191) -> Seminario de Sistemas para Cómputo B (217) -> Seminario de Computación Teórica II (228) -> Seminario de Sistemas para Cómputo A (164) -> Administración de Sistemas Unix/Linux (282) -> Sistemas de Información Geográfica (274) -> Métodos Formales (291)
- Principios de Computación Distribuida (190) -> Computación Concurrente (259) -> **Computación Distribuida** (252) -> (**202**)
- **Animación por Computadora** (255) -> (**203**)
- Seminario de Programación (**107**) -> **Modelado y Programación** (246) -> Diseño y Programación Orientada a Objetos (168) -> Programación Funcional y Lógica (196) -> Programación de Dispositivos Móviles (277) -> Programación Declarativa (296)
- Análisis Lógico (**108**) -> **Lógica Computacional** (244) -> Lógica Computacional II (251) -> Lógicas no Clásicas (166)
- Diseño de Sistemas Digitales (**130**) -> **Diseño de Interfaces de Usuario** (272) -> Diseño de interfaces (167)
- Seminario de Inteligencia Artificial II (163) -> Reconocimiento de Patrones (264) -> **Reconocimiento de Patrones y Aprendizaje Automatizado** (281) -> Seminario de Temas Selectos de Computación II (**132**) -> Computación Cuántica I (267) -> Computación Cuántica II (279) -> Sistemas Expertos (198) -> Razonamiento Automatizado (292)
- **Seminario Filosofía de las Matemáticas (135)** -> Seminario de Filosofía de la Ciencia II (138) -> Seminario de Filosofía de la Ciencia III (155) -> Seminario de Filosofía de la Ciencia IV (146)
- Estadística III (139) -> **Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo** (285) -> Series de Tiempo (**41**)
- **Seminario Matemáticas Aplicadas I (144)** -> Seminario de Cálculo de Formas Diferenciales (273)
- Seminario de Investigación de Operaciones (**160**) -> **Temas Selectos de Investigación de Operaciones** (305)
- Temas Selectos de Ingeniería de Software B (**165**) -> Temas Selectos de Ingeniería de Software A (192) -> Tecnologías para Desarrollos en Internet (265) -> **Ingeniería de Software II** (283) -> Patrones de Diseño de Software (294)
- Diseño de Experimentos (**177**) -> **Seminario de Estadística I** (324)

- **Seminario de Topología B (179)** -> Topología Diferencial II (232)
- **Mercadotecnia de Seguros (183)** -> Contabilidad de Seguros (290)
- **Graficación por Computadoras (186)** -> Visualización (188) -> Geometría Computacional (213) -> Visión Por Computadora (293)
- Seminario de Ciencias Computacionales (189) -> **Taller de Herramientas Computacionales** (312) -> Sistemas Dinámicos Computacionales I (276) -> Lingüística Computacional (227) -> Herramientas de Computación para las Ciencias (229) -> Algoritmos de Apareamiento de Cadenas (286)
- Redes Neuronales y Autómatas Celulares (193) -> **Redes Neuronales** (302)
- Procesos Paralelos y Distribuidos (194) -> **Algoritmos Paralelos** (270)
- Algoritmos Genéticos (197) -> **Cómputo Evolutivo** (280)
- Simulación y Control (201) -> **Control Estadístico de la Calidad** (210)
- Introducción a la Criptografía (262) -> **Criptografía y Seguridad** (271)
- **Seminario de Apoyo a la Titulación en Ciencias de la Computación** (SN) -> Seminario de Apoyo a la Titulación en Ciencias de la Computación A (315) -> Seminario de Apoyo a la Titulación en Ciencias de la Computación B (316)
- **Seminario de Apoyo a la Titulación en Matemáticas** (SN) -> Seminario de Apoyo a la Titulación en Matemáticas A (310) -> Seminario de Apoyo a la Titulación en Matemáticas B (317)

# Apéndice B

## Resultados útiles

**Definición B.1.** *Estimador máximo verosímil de  $\lambda$*

Sean  $X_1, X_2, \dots, X_n$  una muestra aleatoria de una población con función de densidad de probabilidad Poisson( $\lambda$ ). Su función de densidad es:

$$f(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad (\text{B.1})$$

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(X_1, X_2, \dots, X_n; \lambda) &= \prod_{i=1}^n \left( e^{-\lambda} \frac{\lambda^{x_i}}{x_i!} \right) \\ &= e^{-n\lambda} \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\prod_{i=1}^n x_i!}\end{aligned}$$

*Sacamos ln*

$$\ln \mathcal{L}(X_1, X_2, \dots, X_n; \lambda) = -n\lambda + \sum_{i=1}^n x_i \ln \lambda - \ln \prod_{i=1}^n x_i!$$

*Derivamos con respecto a  $\lambda$*

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \ln \mathcal{L}(\underline{X}; \lambda) = -n + \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\lambda}$$

*Igualamos a cero*

$$\begin{aligned}-n + \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\lambda} &= 0 \\ \Rightarrow \quad &\end{aligned}$$

*Despejamos  $\lambda$*

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x}$$

*Derivamos otra vez*

$$\frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} \ln \mathcal{L}(\underline{X}; \lambda) = -\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\lambda^2} < 0$$

$\therefore \hat{\lambda} = \bar{x}$  es el estimador máximo verosímil

# Apéndice C

## Abreviaturas

| ABREVIATURA | SIGNIFICADO                              |
|-------------|--|
| AG          | Algoritmo Genético                       |
| CdC         | Ciencias de la Computación               |
| Facultad    | Facultad de Ciencias de la UNAM          |
| FES         | Facultad de Estudios Superiores          |
| ITAM        | Instituto Tecnológico Autónomo de México |
| MatAp       | Matemáticas Aplicadas                    |
| TC          | Tiempo Completo                          |
| UNAM        | Universidad Nacional Autónoma de México  |
| URL         | Uniform Resource Locator                 |
| a           | b  |

Tabla C.1: *Abreviaturas*



# Apéndice D

## Ejemplo de asignación final

Sabemos que la asignación final es el mejor elemento de la última generación. Éste elemento es la matriz que presentamos a continuación. Cabe aclarar que los datos se ordenaron con respecto a la materia (en orden alfabético) y por hora (de menor a mayor). La matriz tiene 630 grupos asignados, cada uno con materia, profesor y horario correspondiente.

|    | Materia                               | Profesor                                 | Horario |
|----|---------------------------------------|--|---------|
| 1  | Administración Actuarial del Riesgo   | Fernando Pérez Márquez                   | 7       |
| 2  | Administración Actuarial del Riesgo   | Samadhi Cervantes Torres                 | 8       |
| 3  | Administración de Riesgos Financieros | María Araceli Bernabe Rocha              | 8       |
| 4  | Administración Financiera             | Pedro Luis Soto Tejeda                   | 8       |
| 5  | Álgebra Lineal I                      | Irvin Arellano Rosas                     | 7       |
| 6  | Álgebra Lineal I                      | León Felipe Villalobos Sánchez           | 8       |
| 7  | Álgebra Lineal I                      | Rodrigo Edmundo Cepeda Morales           | 8       |
| 8  | Álgebra Lineal I                      | Andres Barei Bueno                       | 8       |
| 9  | Álgebra Lineal I                      | César Alejandro Rincón Orta              | 8       |
| 10 | Álgebra Lineal I                      | Karina García Buendía                    | 8       |
| 11 | Álgebra Lineal I                      | Alma Violeta García López                | 8       |
| 12 | Álgebra Lineal I                      | Francisco Marmolejo Rivas                | 9       |
| 13 | Álgebra Lineal I                      | Gabriela Campero Arena                   | 9       |
| 14 | Álgebra Lineal I                      | Hugo Arizmendi Peimbert                  | 10      |
| 15 | Álgebra Lineal I                      | Jorge Luis Arocha Pérez                  | 10      |
| 16 | Álgebra Lineal I                      | Adolfo Guillot Santiago                  | 10      |
| 17 | Álgebra Lineal I                      | Gustavo Amilcar Saldaña Moncada          | 10      |
| 18 | Álgebra Lineal I                      | María del Carmen Heréndira Gómez Laveaga | 12      |
| 19 | Álgebra Lineal I                      | Adriana Léon Montes                      | 13      |
| 20 | Álgebra Lineal I                      | José Pozo Martínez                       | 14      |

La tabla continúa en la siguiente página

|    | <b>Materia</b>     | <b>Profesor</b>                         | <b>Horario</b> |
|----|--------------------|---|----------------|
| 21 | Álgebra Lineal I   | Juan Orendain Almada                    | 15             |
| 22 | Álgebra Lineal I   | Iván Fernando Vilchis Montalvo          | 17             |
| 23 | Álgebra Lineal I   | José Cruz García Zagal                  | 18             |
| 24 | Álgebra Lineal I   | Jorge Andrés Rosas Ávila                | 18             |
| 25 | Álgebra Lineal I   | Víctor Manuel Ávila Baez                | 18             |
| 26 | Álgebra Lineal I   | Israel Zamorano Romero                  | 18             |
| 27 | Álgebra Lineal I   | José Miguel Salazar Montiel             | 19             |
| 28 | Álgebra Lineal I   | Raúl Bartolo Martínez                   | 20             |
| 29 | Álgebra Lineal II  | Daniela Mariyet Terán Guerrero          | 7              |
| 30 | Álgebra Lineal II  | Benjamín Iván Juárez Santos             | 7              |
| 31 | Álgebra Lineal II  | Carlos Alberto Serrato Hernández        | 8              |
| 32 | Álgebra Lineal II  | Gustavo Amilcar Saldaña Moncada         | 9              |
| 33 | Álgebra Lineal II  | Juan Carlos García Altamirano           | 10             |
| 34 | Álgebra Lineal II  | Rocío del Pilar Aguilar Benítez         | 10             |
| 35 | Álgebra Lineal II  | Guillermo Javier Francisco Sienra Loera | 10             |
| 36 | Álgebra Lineal II  | Juan Morales Rodríguez                  | 10             |
| 37 | Álgebra Lineal II  | Jorge Luis Arocha Pérez                 | 13             |
| 38 | Álgebra Lineal II  | Alejandro Alvarado García               | 14             |
| 39 | Álgebra Lineal II  | Lorena Morales Callejas                 | 16             |
| 40 | Álgebra Lineal II  | William José Gallardo                   | 17             |
| 41 | Álgebra Lineal II  | José Miguel Salazar Montiel             | 18             |
| 42 | Álgebra Moderna I  | Mindy Yaneli Huerta Pérez               | 7              |
| 43 | Álgebra Moderna I  | José Cruz García Zagal                  | 15             |
| 44 | Álgebra Moderna I  | Sergio Hiroki Koike Quintanar           | 15             |
| 45 | Álgebra Moderna I  | José Collins Castro                     | 16             |
| 46 | Álgebra Moderna I  | Christopher Román Silva Sarabia         | 18             |
| 47 | Álgebra Moderna I  | Edgar Migueles Pérez                    | 19             |
| 48 | Álgebra Moderna II | José Gabriel Ocampo Márquez             | 7              |
| 49 | Álgebra Moderna II | Diana Avella Alaminos                   | 10             |
| 50 | Álgebra Moderna II | Bertha María Tomé Arreola               | 10             |
| 51 | Álgebra Moderna II | Mauricio Gabriel Medina Bárcenas        | 14             |

La tabla continúa en la siguiente página

|    | <b>Materia</b>      | <b>Profesor</b>                  | <b>Horario</b> |
|----|---------------------|----------------------------------|----------------|
| 52 | Álgebra Moderna II  | Eugenia O'Reilly Regueiro        | 18             |
| 53 | Álgebra Moderna III | Frank Patrick Murphy Hernández   | 7              |
| 54 | Álgebra Moderna III | Valente Santiago Vargas          | 9              |
| 55 | Álgebra Moderna III | Marco Federico Larrea Schiavon   | 17             |
| 56 | Álgebra Superior I  | Alejandra Osiris Romero Juárez   | 7              |
| 57 | Álgebra Superior I  | Lorena Morales Callejas          | 8              |
| 58 | Álgebra Superior I  | Daniela Mariyet Terán Guerrero   | 8              |
| 59 | Álgebra Superior I  | Ernesto Mayorga Saucedo          | 8              |
| 60 | Álgebra Superior I  | Lilia Guadalupe Sánchez Terán    | 8              |
| 61 | Álgebra Superior I  | Martha Takane Imay               | 10             |
| 62 | Álgebra Superior I  | Francisco Larrión Riveroll       | 10             |
| 63 | Álgebra Superior I  | Rita Esther Zuazua Vega          | 10             |
| 64 | Álgebra Superior I  | Alejandro Bravo Mojica           | 10             |
| 65 | Álgebra Superior I  | Daniel Labardini Fragoso         | 14             |
| 66 | Álgebra Superior I  | Paloma Hernández Zapata          | 14             |
| 67 | Álgebra Superior I  | Marcelino Perello Valls          | 16             |
| 68 | Álgebra Superior I  | Pavel Ramos Martínez             | 17             |
| 69 | Álgebra Superior I  | Rodrigo Domínguez López          | 17             |
| 70 | Álgebra Superior I  | Marco Antonio Acevedo Cardona    | 18             |
| 71 | Álgebra Superior I  | Jaime Castro Pérez               | 18             |
| 72 | Álgebra Superior I  | Natalia Bárbara Mantilla Beniers | 18             |
| 73 | Álgebra Superior I  | Hugo Rincón Galeana              | 19             |
| 74 | Álgebra Superior II | Tania Eréndira Rivera Torres     | 7              |
| 75 | Álgebra Superior II | Rolando Gómez Macedo             | 7              |
| 76 | Álgebra Superior II | Gabriela Cervantes Piza          | 8              |
| 77 | Álgebra Superior II | César Alejandro Rincón Orta      | 9              |
| 78 | Álgebra Superior II | Carmen Martínez Adame Isaías     | 9              |
| 79 | Álgebra Superior II | Gerardo Camacho de la Rosa       | 10             |
| 80 | Álgebra Superior II | Araceli Guzmán Tristán           | 10             |
| 81 | Álgebra Superior II | Juan Morales Jr Rodríguez        | 11             |
| 82 | Álgebra Superior II | Juan Morales Rodríguez           | 12             |
| 83 | Álgebra Superior II | Antonio Lascurain Orive          | 12             |
| 84 | Álgebra Superior II | José Patricio Sánchez Hernández  | 14             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                    | <b>Profesor</b>                     | <b>Horario</b> |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 85  | Álgebra Superior II               | Alejandro Dorantes Aldama           | 15             |
| 86  | Álgebra Superior II               | Jorge Enrique Vega Acevedo          | 15             |
| 87  | Álgebra Superior II               | Emiliano Geneyro Squarzon           | 16             |
| 88  | Álgebra Superior II               | Ana Patricia Kuri González          | 16             |
| 89  | Álgebra Superior II               | Sebastián Pardo Guerra              | 17             |
| 90  | Álgebra Superior II               | Leonardo Faustinos Morales          | 18             |
| 91  | Álgebra Superior II               | Joseph Christian Sierra Gutiérrez   | 20             |
| 92  | Análisis del México Contemporáneo | Luis Alberto Galván Contreras       | 8              |
| 93  | Análisis del México Contemporáneo | Silvia Alonso Reyes                 | 10             |
| 94  | Análisis del México Contemporáneo | Gustavo Esteban Andrade Díaz        | 17             |
| 95  | Análisis Matemático I             | Ricardo Alberto Weder Zaninovich    | 7              |
| 96  | Análisis Matemático I             | Rodrigo Jesús Hernández Gutiérrez   | 7              |
| 97  | Análisis Matemático I             | Roxana Wendoline Ruiz Aguilar       | 8              |
| 98  | Análisis Matemático I             | Roberto Méndez Rosas                | 10             |
| 99  | Análisis Matemático I             | Agustín Ontiveros Pineda            | 10             |
| 100 | Análisis Matemático I             | Carmen Martínez Adame Isaías        | 10             |
| 101 | Análisis Matemático I             | Sergey Antonyan                     | 10             |
| 102 | Análisis Matemático I             | José Lino Samaniego Mendoza         | 11             |
| 103 | Análisis Matemático I             | Alberto León Kushner Schnur         | 13             |
| 104 | Análisis Matemático I             | Mario Eudave Muñoz                  | 14             |
| 105 | Análisis Matemático I             | César Eduardo Sousa Mondragón       | 14             |
| 106 | Análisis Matemático I             | Grissel Santiago González           | 15             |
| 107 | Análisis Matemático I             | Vinicio Antonio Gómez Gutiérrez     | 16             |
| 108 | Análisis Matemático I             | Roberto Pichardo Mendoza            | 16             |
| 109 | Análisis Matemático I             | Manuel Hernández Hernández          | 17             |
| 110 | Análisis Matemático I             | Alfredo Reyes Vázquez               | 18             |
| 111 | Análisis Matemático II            | Esteban Librado Hernández Escamilla | 7              |
| 112 | Análisis Matemático II            | Mónica Alicia Clapp Jiménez-Labora  | 10             |
| 113 | Análisis Matemático II            | Angel Manuel Carrillo Hoyo          | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                   | <b>Profesor</b>                            | <b>Horario</b> |
|-----|----------------------------------|--|----------------|
| 114 | Análisis Matemático II           | Manuel Jesús Falconi Magaña                | 10             |
| 115 | Análisis Matemático II           | Ana Meda Guardiola                         | 10             |
| 116 | Análisis Matemático II           | Gerardo Sánchez Licea                      | 13             |
| 117 | Análisis Matemático II           | Raybel Andrés García Ancona                | 14             |
| 118 | Análisis Matemático II           | Nils Heye Ackermann                        | 18             |
| 119 | Análisis Matemático II           | Manuel Hernández Hernández                 | 18             |
| 120 | Análisis Matemático II           | Juan Manuel de la Huerta Jiménez           | 19             |
| 121 | Análisis Matemático III          | Magali Louise Marie Folch Gabayet          | 10             |
| 122 | Análisis Matemático III          | Bernardo Vargas Cárdenas                   | 12             |
| 123 | Análisis Matemático III          | Guillermo Grabinsky Steider                | 16             |
| 124 | Análisis Multivariado            | Guadalupe Eunice Campiran García           | 13             |
| 125 | Análisis Numérico                | Antonio Carrillo Ledesma                   | 7              |
| 126 | Análisis Numérico                | Pablo Barrera Sánchez                      | 10             |
| 127 | Análisis Numérico                | Úrsula Xiomara Iturrarán Vi-veros          | 10             |
| 128 | Análisis Numérico                | Miriam Sosa Díaz                           | 14             |
| 129 | Análisis Numérico                | Mario Medina Torres                        | 17             |
| 130 | Análisis Numérico                | Miguel Ángel Pérez León                    | 19             |
| 131 | Análisis Numérico                | Agustín Alberto Rosas Medina               | 19             |
| 132 | Autómatas y Lenguajes Formales   | Elisa Viso Gurovich                        | 10             |
| 133 | Cálculo Diferencial e Integral I | Elena de Oteyza de Oteyza                  | 7              |
| 134 | Cálculo Diferencial e Integral I | Joel García León                           | 10             |
| 135 | Cálculo Diferencial e Integral I | Antonmaria Gerolamo Enrico Minzoni Alessio | 10             |
| 136 | Cálculo Diferencial e Integral I | Alessio Franci                             | 10             |
| 137 | Cálculo Diferencial e Integral I | Javier Fernández García                    | 12             |
| 138 | Cálculo Diferencial e Integral I | María de Lourdes Esteva Peralta            | 12             |
| 139 | Cálculo Diferencial e Integral I | José Antonio Gómez Ortega                  | 12             |
| 140 | Cálculo Diferencial e Integral I | Wilfrido Martínez Torres                   | 15             |
| 141 | Cálculo Diferencial e Integral I | María Lourdes Velasco Arregui              | 15             |
| 142 | Cálculo Diferencial e Integral I | Mónica De Nova Vázquez                     | 16             |
| 143 | Cálculo Diferencial e Integral I | Julio Martín Espinosa Casares              | 18             |
| 144 | Cálculo Diferencial e Integral I | Edgar René Hernández Martínez              | 20             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                     | <b>Profesor</b>                   | <b>Horario</b> |
|-----|------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 145 | Cálculo Diferencial e Integral I   | Mario Delgadillo Torres           | 20             |
| 146 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Esteban Rubén Hurtado Cruz        | 10             |
| 147 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Oscar Alberto Garrido Jiménez     | 10             |
| 148 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Carlos García Azpeitia            | 10             |
| 149 | Cálculo Diferencial e Integral II  | María del Carmen Arrillaga Arjona | 10             |
| 150 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Miguel Lara Aparicio              | 10             |
| 151 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Gustavo Cruz Pacheco              | 10             |
| 152 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Luis Manuel Hernández Gallardo    | 10             |
| 153 | Cálculo Diferencial e Integral II  | María Lourdes Velasco Arreguí     | 10             |
| 154 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Fernando Brambila Paz             | 11             |
| 155 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Humberto Andrés Carrillo Calvet   | 11             |
| 156 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Héctor Méndez Lango               | 11             |
| 157 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Leticia Contreras Sandoval        | 13             |
| 158 | Cálculo Diferencial e Integral II  | César Eduardo Sousa Mondragón     | 13             |
| 159 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Jesús López Estrada               | 13             |
| 160 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Héctor Bustos Castro              | 14             |
| 161 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Roberto García Medina             | 15             |
| 162 | Cálculo Diferencial e Integral II  | David Meza Alcántara              | 16             |
| 163 | Cálculo Diferencial e Integral II  | José Santos                       | 17             |
| 164 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Francisco Javier Torres Ayala     | 17             |
| 165 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Julio César Cedillo Sánchez       | 19             |
| 166 | Cálculo Diferencial e Integral II  | Leonel Rito Rodríguez             | 20             |
| 167 | Cálculo Diferencial e Integral III | Felipe de Jesús Méndez Varela     | 7              |
| 168 | Cálculo Diferencial e Integral III | Javier Fernández García           | 7              |
| 169 | Cálculo Diferencial e Integral III | Emma Lam Osnaya                   | 7              |
| 170 | Cálculo Diferencial e Integral III | Alejandro Darío Rojas Sánchez     | 9              |
| 171 | Cálculo Diferencial e Integral III | Adriana Vargas Quintero           | 10             |
| 172 | Cálculo Diferencial e Integral III | Julio Martín Espinosa Casares     | 10             |
| 173 | Cálculo Diferencial e Integral III | Pablo Alberto Lara Martínez       | 10             |
| 174 | Cálculo Diferencial e Integral III | Omar Vigueras Herrera             | 11             |
| 175 | Cálculo Diferencial e Integral III | Javier Páez Cárdenas              | 11             |
| 176 | Cálculo Diferencial e Integral III | Carlos Gerardo Paniagua Ramírez   | 13             |
| 177 | Cálculo Diferencial e Integral III | Enrique Vega Ramírez              | 15             |
| 178 | Cálculo Diferencial e Integral III | Israel Ramos García               | 16             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                     | <b>Profesor</b>                      | <b>Horario</b> |
|-----|------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| 179 | Cálculo Diferencial e Integral III | Álvaro Reyes García                  | 18             |
| 180 | Cálculo Diferencial e Integral III | Noé Francisco Verde Martínez         | 19             |
| 181 | Cálculo Diferencial e Integral III | Alfredo Reyes Vázquez                | 19             |
| 182 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Sandra María Chimal Garma            | 7              |
| 183 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Adrián Zenteno Gutiérrez             | 7              |
| 184 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Abelardo Vela Ponce de León          | 7              |
| 185 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Alberto Manuel Aldama Garijoain      | 7              |
| 186 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Carlos Prieto López                  | 10             |
| 187 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Francisco Marmolejo Rivas            | 10             |
| 188 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Javier Páez Cárdenas                 | 10             |
| 189 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Héctor Méndez Lango                  | 10             |
| 190 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Marco Antonio Montes de Oca Balderas | 14             |
| 191 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Emilio Cabrera Castro                | 14             |
| 192 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Jefferson Edwin King Dávalos         | 15             |
| 193 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Héctor Jiménez Sánchez               | 17             |
| 194 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Oscar Alberto Garrido Jiménez        | 19             |
| 195 | Cálculo Diferencial e Integral IV  | Gabriel Gutiérrez García             | 19             |
| 196 | Conjuntos y Lógica                 | César Hernández Cruz                 | 8              |
| 197 | Conjuntos y Lógica                 | Fernando Javier Nuñez Rosales        | 18             |
| 198 | Contabilidad                       | Emilia Lorenzana Quintero            | 7              |
| 199 | Contabilidad                       | María de los Ángeles Garduño Crespo  | 8              |
| 200 | Contabilidad                       | Arely Palos Zepeda                   | 17             |
| 201 | Contabilidad                       | Elvia Sánchez Montes                 | 21             |
| 202 | Demografía                         | Juan Diego Terán Páez                | 7              |
| 203 | Demografía                         | José Rubén Fernández Román           | 7              |
| 204 | Demografía                         | Rodrigo Jiménez Uribe                | 7              |
| 205 | Demografía                         | Rosalba Jasso Vargas                 | 10             |
| 206 | Demografía                         | Nina Castro Méndez                   | 11             |
| 207 | Demografía                         | Mauricio Rodríguez Abreu             | 17             |
| 208 | Dinámica de Medios Deformables     | Catalina Elizabeth Stern Forgach     | 8              |
| 209 | Dinámica de Medios Deformables     | Guillermo Monsivais Galindo          | 10             |
| 210 | Dinámica de Medios Deformables     | Consuelo García Alcántara            | 12             |
| 211 | Dinámica de Medios Deformables     | Roberto Velasco Segura               | 16             |
| 212 | Economía                           | José Antonio Reyes León              | 7              |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                       | <b>Profesor</b>                      | <b>Horario</b> |
|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| 213 | Economía                             | Marco Antonio García Fernández       | 7              |
| 214 | Economía                             | Luis Alejandro Aguilar Luna          | 8              |
| 215 | Economía                             | Monserrat Esquivel López             | 10             |
| 216 | Economía                             | Jessika Dilhery Lucas Flores         | 16             |
| 217 | Ecuaciones Diferenciales I           | Catalina Apolinar García             | 7              |
| 218 | Ecuaciones Diferenciales I           | Javier de Jesús Cortés Aguirre       | 7              |
| 219 | Ecuaciones Diferenciales I           | Maya Lol Sosa Salas                  | 7              |
| 220 | Ecuaciones Diferenciales I           | Raziel Zavaleta Rodríguez            | 7              |
| 221 | Ecuaciones Diferenciales I           | Laura Ortiz Bobadilla                | 8              |
| 222 | Ecuaciones Diferenciales I           | Nicolás González Boileau             | 8              |
| 223 | Ecuaciones Diferenciales I           | Gerardo Mejía Rodríguez              | 10             |
| 224 | Ecuaciones Diferenciales I           | Luisa Márquez Rentería               | 10             |
| 225 | Ecuaciones Diferenciales I           | Araceli León Estrada                 | 10             |
| 226 | Ecuaciones Diferenciales I           | Carlos Arturo Vargas Guadarrama      | 11             |
| 227 | Ecuaciones Diferenciales I           | Manuel Jesús Falconi Magaña          | 11             |
| 228 | Ecuaciones Diferenciales I           | Carlos García Azpeitia               | 12             |
| 229 | Ecuaciones Diferenciales I           | Gustavo Cruz Pacheco                 | 13             |
| 230 | Ecuaciones Diferenciales I           | María del Carmen Jorge y Jorge       | 14             |
| 231 | Ecuaciones Diferenciales I           | Adrián Ulises Soto Bañuelos          | 17             |
| 232 | Ecuaciones Diferenciales I           | Karen Susana Villa Aguirre           | 18             |
| 233 | Ecuaciones Diferenciales I           | Fidencio Galicia Rodríguez           | 18             |
| 234 | Ecuaciones Diferenciales I           | Herminio Suárez Quiroz               | 18             |
| 235 | Ecuaciones Diferenciales I           | Octavio Eduardo Vizcaya Xilotl       | 19             |
| 236 | Ecuaciones Diferenciales I           | Jorge Luis Arroyo Leonor             | 21             |
| 237 | Ecuaciones Diferenciales II          | Ernesto Rosales González             | 8              |
| 238 | Ecuaciones Diferenciales II          | Catherine García Reimbert            | 10             |
| 239 | Ecuaciones Diferenciales II          | Humberto Andrés Carrillo Calvet      | 13             |
| 240 | Ecuaciones Diferenciales II          | José Luis Navarro Urrutia            | 16             |
| 241 | Ecuaciones Diferenciales Parciales I | María de los Ángeles Sandoval Romero | 11             |
| 242 | Electromagnetismo I                  | Eugenio Ley Koo                      | 7              |
| 243 | Electromagnetismo I                  | Roberto Alejandro Ruelas Mayorga     | 7              |
| 244 | Electromagnetismo I                  | Mirna Villavicencio Torres           | 8              |
| 245 | Electromagnetismo I                  | Andrea Luisa Aburto Espina           | 10             |
| 246 | Electromagnetismo I                  | Jorge Alfonso García Macedo          | 10             |
| 247 | Electromagnetismo I                  | Julio Javier Martinell Benito        | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                  | <b>Profesor</b>                     | <b>Horario</b> |
|-----|---|-------------------------------------|----------------|
| 248 | Electromagnetismo I                             | Alejandro Reyes Coronado            | 10             |
| 249 | Electromagnetismo I                             | José Alberto Flandes Mendoza        | 10             |
| 250 | Electromagnetismo I                             | Ricardo Méndez Fragoso              | 16             |
| 251 | Electromagnetismo I                             | Pablo Antonio Borys Sosa            | 16             |
| 252 | Electromagnetismo I                             | Antonio Castellanos Ramírez         | 18             |
| 253 | Electromagnetismo II                            | Rocío Jáuregui Renaud               | 8              |
| 254 | Electromagnetismo II                            | Luis Fernando Urrutia Rios          | 10             |
| 255 | Electromagnetismo II                            | Ángel Prieto Ruiz                   | 10             |
| 256 | Estadística Bayesiana                           | Ruth Selene Fuentes García          | 10             |
| 257 | Estadística Bayesiana                           | Harim García Lamont                 | 19             |
| 258 | Estructuras Discretas                           | Favio Ezequiel Miranda Pereira      | 10             |
| 259 | Estructuras Discretas                           | Alma Rosario Arévalo Loya           | 14             |
| 260 | Fenómenos Colectivos                            | Francisco Ramos Gómez               | 8              |
| 261 | Fenómenos Colectivos                            | Carlos Enrique Román Velázquez      | 8              |
| 262 | Fenómenos Colectivos                            | Francisco Javier Reyes Mora         | 8              |
| 263 | Fenómenos Colectivos                            | Luis Felipe del Castillo Dávila     | 10             |
| 264 | Fenómenos Colectivos                            | Margarita Sánchez y Sánchez         | 10             |
| 265 | Fenómenos Colectivos                            | Iván Santamaría Holek               | 10             |
| 266 | Fenómenos Colectivos                            | Soledad Ruiz Matus                  | 17             |
| 267 | Física Computacional                            | Edgar Vázquez Luis                  | 7              |
| 268 | Física Computacional                            | Ricardo Méndez Fragoso              | 7              |
| 269 | Física Computacional                            | Enrique Cabrera Bravo               | 10             |
| 270 | Física Computacional                            | Lucía Medina Gómez                  | 10             |
| 271 | Física Computacional                            | Roxana Mitzayé Del Castillo Vázquez | 18             |
| 272 | Física Estadística                              | Gerardo Carmona Ruiz                | 8              |
| 273 | Física Estadística                              | Guillermo Ramírez Santiago          | 10             |
| 274 | Física Estadística                              | Rosalío Fernando Rodríguez Zepeda   | 10             |
| 275 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Mariana Martínez González           | 8              |
| 276 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Guillermo Monsivais Galindo         | 8              |
| 277 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Eduardo Peinado Rodríguez           | 8              |
| 278 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Luis Antonio Dávalos Orozco         | 10             |
| 279 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Rosario Paredes Gutiérrez           | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                  | <b>Profesor</b>                          | <b>Horario</b> |
|-----|---|--|----------------|
| 280 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Mauricio García Vergara                  | 10             |
| 281 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Lucía Medina Gómez                       | 11             |
| 282 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Osvaldo Alfonso Téllez Nieto             | 13             |
| 283 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Ramón Gustavo Contreras Mayen            | 14             |
| 284 | Funciones Especiales y Transformadas Integrales | Francisco Javier Martínez Farias         | 16             |
| 285 | Geometría Analítica I                           | Juan Flores Torres                       | 7              |
| 286 | Geometría Analítica I                           | Jorge Chávez Carlos                      | 8              |
| 287 | Geometría Analítica I                           | Max Neumann Coto                         | 8              |
| 288 | Geometría Analítica I                           | Rebeca Trejo Luna                        | 8              |
| 289 | Geometría Analítica I                           | Fernando García Rodríguez                | 9              |
| 290 | Geometría Analítica I                           | Jaqueline Rafaela Dolores Cañetas Ortega | 10             |
| 291 | Geometría Analítica I                           | Guillermo Ruiz Galván                    | 10             |
| 292 | Geometría Analítica I                           | Pablo Suárez Serrato                     | 10             |
| 293 | Geometría Analítica I                           | Jesús Ángel Núñez Zimbrón                | 10             |
| 294 | Geometría Analítica I                           | Edgar Alvarez Zauco                      | 10             |
| 295 | Geometría Analítica I                           | Javier Bracho Carpizo                    | 10             |
| 296 | Geometría Analítica I                           | Oscar Alfredo Palmas Velasco             | 12             |
| 297 | Geometría Analítica I                           | Guillermo Javier Francisco Sienra Loera  | 12             |
| 298 | Geometría Analítica I                           | Federico Sánchez Bringas                 | 13             |
| 299 | Geometría Analítica I                           | Noel Jaramillo Arce                      | 14             |
| 300 | Geometría Analítica I                           | Leopoldo Morales López                   | 14             |
| 301 | Geometría Analítica I                           | Víctor Manuel Ávila Baez                 | 17             |
| 302 | Geometría Analítica I                           | Adrián Ulises Soto Bañuelos              | 18             |
| 303 | Geometría Analítica I                           | Jorge Ortiz Espejel                      | 18             |
| 304 | Geometría Analítica I                           | Román Ismael Contreras Morales           | 19             |
| 305 | Geometría Analítica I                           | Víctor Alberto Cruz Barriente            | 20             |
| 306 | Geometría Analítica I                           | Fidencio Galicia Rodríguez               | 21             |
| 307 | Geometría Analítica II                          | Pablo Rosell González                    | 7              |
| 308 | Geometría Analítica II                          | Álvaro Reyes García                      | 7              |
| 309 | Geometría Analítica II                          | Rolando Gómez Macedo                     | 8              |
| 310 | Geometría Analítica II                          | Juan Flores Torres                       | 8              |
| 311 | Geometría Analítica II                          | Jaqueline Rafaela Dolores Cañetas Ortega | 8              |
| 312 | Geometría Analítica II                          | Gabriel Gutiérrez García                 | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>          | <b>Profesor</b>                         | <b>Horario</b> |
|-----|-------------------------|---|----------------|
| 313 | Geometría Analítica II  | Carlos Hernández Garciadiego            | 10             |
| 314 | Geometría Analítica II  | Sergio Palafox Delgado                  | 10             |
| 315 | Geometría Analítica II  | Elsa Puente Vázquez                     | 10             |
| 316 | Geometría Analítica II  | José Guerrero Grajeda                   | 10             |
| 317 | Geometría Analítica II  | Alejandra García García                 | 10             |
| 318 | Geometría Analítica II  | Francisco Manuel Barrios Panagua        | 10             |
| 319 | Geometría Analítica II  | Eugenio Garnica Vigil                   | 12             |
| 320 | Geometría Analítica II  | Fernando Brambila Paz                   | 13             |
| 321 | Geometría Analítica II  | Pablo Barrera Sánchez                   | 13             |
| 322 | Geometría Analítica II  | Nora Isabel Pérez Quezadas              | 14             |
| 323 | Geometría Analítica II  | Tonatiuh Valdez Hernández               | 15             |
| 324 | Geometría Analítica II  | Herminio Suárez Quiroz                  | 16             |
| 325 | Geometría Analítica II  | María de Lourdes Hernández Campos       | 17             |
| 326 | Geometría Analítica II  | Maya Lol Sosa Salas                     | 17             |
| 327 | Geometría Analítica II  | Cristobal Falconi Hoyos                 | 17             |
| 328 | Geometría Analítica II  | Camilo Camhaji García                   | 19             |
| 329 | Geometría Analítica II  | Juan Manuel Martínez Nuño               | 20             |
| 330 | Geometría Diferencial I | Pierre Michel Bayard                    | 7              |
| 331 | Geometría Diferencial I | Federico Sánchez Bringas                | 10             |
| 332 | Geometría Diferencial I | María de los Ángeles Sandoval Romero    | 10             |
| 333 | Geometría Diferencial I | Elhoim Llorente Sumano y Ramírez        | 18             |
| 334 | Geometría Moderna I     | Narda Cordero Michel                    | 8              |
| 335 | Geometría Moderna I     | Lilia Montserrat Vite Escobedo          | 8              |
| 336 | Geometría Moderna I     | Verónica Martínez de la Vega y Mansilla | 10             |
| 337 | Geometría Moderna I     | Francisco de Jesús Struck Chávez        | 10             |
| 338 | Geometría Moderna I     | Vinicio Antonio Gómez Gutiérrez         | 10             |
| 339 | Geometría Moderna I     | Leobardo Fernández Román                | 14             |
| 340 | Geometría Moderna I     | Natalia Jonard Pérez                    | 17             |
| 341 | Geometría Moderna I     | Héctor Eduardo Martínez Moreno          | 18             |
| 342 | Geometría Moderna I     | Saúl Arce Rocha                         | 19             |
| 343 | Geometría Moderna I     | Jorge Alonso Santos Mellado             | 19             |
| 344 | Geometría Moderna II    | Isabel Alicia Hubard Escalera           | 10             |
| 345 | Geometría Moderna II    | Luis Manuel Venegas Grajales            | 18             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                            | <b>Profesor</b>                       | <b>Horario</b> |
|-----|---|---------------------------------------|----------------|
| 346 | Inferencia Estadística                    | Jimmy Hernández Morales               | 7              |
| 347 | Inferencia Estadística                    | Edna Gabriela López Estrada           | 10             |
| 348 | Inferencia Estadística                    | Carlos Erwin Rodríguez Hernández-Vela | 10             |
| 349 | Inferencia Estadística                    | Alan Riva Palacio Cohen               | 12             |
| 350 | Inferencia Estadística                    | Miguel Arturo Ballesteros Montero     | 13             |
| 351 | Inferencia Estadística                    | Yolanda Martínez Guerrero             | 16             |
| 352 | Inferencia Estadística                    | Antonio Soriano Flores                | 18             |
| 353 | Inferencia Estadística                    | Martha Angélica Montes Fonseca        | 18             |
| 354 | Inglés I                                  | María Azucena Rivera Vidal            | 14             |
| 355 | Inglés I                                  | Paulina Torres Carranza               | 17             |
| 356 | Inglés II                                 | Lidia Fabiola Quevedo Rojas           | 8              |
| 357 | Inglés II                                 | Julio César Escorza Isguerra          | 11             |
| 358 | Inglés II                                 | Manuel Enrique Camargo Coronel        | 13             |
| 359 | Inglés III                                | Martha del Carmen Riveroll Alvarez    | 7              |
| 360 | Inglés III                                | Cesar Martinez Salazar                | 14             |
| 361 | Inglés V                                  | María Teresa Pozos Delgado            | 7              |
| 362 | Inglés V                                  | Silvia Loera Rivera                   | 11             |
| 363 | Inglés VI                                 | Alejandro Pérez Meléndez              | 10             |
| 364 | Inglés VI                                 | Benito Peter Nava Kopp                | 14             |
| 365 | Introducción a Ciencias de la Computación | Amparo López Gaona                    | 8              |
| 366 | Introducción a Ciencias de la Computación | Pedro Ulises Cervantes González       | 10             |
| 367 | Introducción a Ciencias de la Computación | Canek Peláez Valdés                   | 13             |
| 368 | Introducción a Ciencias de la Computación | Francisco Valdés Souto                | 15             |
| 369 | Introducción a la Física Cuántica         | Sergio Alfonso Pelayo Escalera        | 8              |
| 370 | Introducción a la Física Cuántica         | Raúl Wayne Gómez González             | 10             |
| 371 | Introducción a la Física Cuántica         | Héctor Jesús Díaz Jiménez             | 10             |
| 372 | Introducción a la Física Cuántica         | Augusto Cabrera Manuel                | 10             |
| 373 | Introducción a la Física Cuántica         | Saúl Noé Ramos Sánchez                | 12             |
| 374 | Introducción a las Matemáticas Discretas  | Karina García Buendía                 | 7              |
| 375 | Introducción a las Matemáticas Discretas  | Carlos Alberto Serrato Hernández      | 7              |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                           | <b>Profesor</b>                         | <b>Horario</b> |
|-----|--|---|----------------|
| 376 | Introducción a las Matemáticas Discretas | José Luis Miranda Olvera                | 8              |
| 377 | Introducción a las Matemáticas Discretas | Rita Esther Zuazua Vega                 | 8              |
| 378 | Introducción a las Matemáticas Discretas | María del Rocío Sánchez López           | 12             |
| 379 | Introducción a las Matemáticas Discretas | Gerardo Miguel Tecpa Galván             | 13             |
| 380 | Introducción a las Matemáticas Discretas | Mucuy-Kak del Carmen Guevara Aguirre    | 15             |
| 381 | Introducción a las Matemáticas Discretas | Jesús Alva Samos                        | 17             |
| 382 | Investigación de Operaciones             | Leonardo López Monroy                   | 7              |
| 383 | Investigación de Operaciones             | Jesús Agustín Cano Garcés               | 8              |
| 384 | Investigación de Operaciones             | Nilse Pamela Romero Basurto             | 8              |
| 385 | Investigación de Operaciones             | Ana Lilia Anaya Muñoz                   | 10             |
| 386 | Investigación de Operaciones             | María del Carmen Fernández García       | 17             |
| 387 | Investigación de Operaciones             | Edgar Gil Hernández Díaz                | 19             |
| 388 | Lógica Matemática I                      | Luis Jesús Turcio Cuevas                | 8              |
| 389 | Lógica Matemática I                      | Carlos Torres Alcaraz                   | 13             |
| 390 | Lógica Matemática I                      | María de la Asunción Preisser Rodríguez | 17             |
| 391 | Lógica Matemática II                     | José Gabriel Ocampo Márquez             | 10             |
| 392 | Lógica Matemática II                     | María de Lourdes Guerrero Zarco         | 16             |
| 393 | Manejo de Datos                          | Miguel Murguía Romero                   | 8              |
| 394 | Manejo de Datos                          | Jessica Santizo Galicia                 | 8              |
| 395 | Manejo de Datos                          | Araceli Eugenia Mercado Fernández       | 8              |
| 396 | Manejo de Datos                          | Miguel Ehécatl Morales Trujillo         | 8              |
| 397 | Manejo de Datos                          | Mario González Ruiz                     | 9              |
| 398 | Manejo de Datos                          | Manuel Alcántara Juárez                 | 11             |
| 399 | Manejo de Datos                          | Gildardo Bautista García Cano           | 12             |
| 400 | Manejo de Datos                          | Gerardo Avilés Rosas                    | 12             |
| 401 | Manejo de Datos                          | José Alfredo Cobián Campos              | 13             |
| 402 | Manejo de Datos                          | Virginia Teodosio Procopio              | 14             |
| 403 | Manejo de Datos                          | Javier García García                    | 16             |
| 404 | Manejo de Datos                          | Miguel Ángel Pérez León                 | 18             |
| 405 | Manejo de Datos                          | Oscar Ruiz Salinas                      | 20             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>  | <b>Profesor</b>                 | <b>Horario</b> |
|-----|---|---------------------------------|----------------|
| 406 | Manejo de Datos   | Víctor Manuel Carreón Calderón  | 20             |
| 407 | Manejo de Datos   | Benjamín Figueroa Solano        | 20             |
| 408 | Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas I                  | Elisa Sugey Hernández Castañeda | 7              |
| 409 | Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas I                  | María Fernanda López Hernández  | 7              |
| 410 | Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas I                  | Yurguen Hugo Camargo Serafin    | 19             |
| 411 | Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas II                 | Jorge Luis Reyes García         | 7              |
| 412 | Matemáticas Actuariales del Seguro de Personas II                 | Maria Isabel Servin Arellano    | 8              |
| 413 | Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro | Janeth Fernández Ramos          | 7              |
| 414 | Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro | Jorge Luis Reyes García         | 8              |
| 415 | Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro | Elisa Sugey Hernández Castañeda | 8              |
| 416 | Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro | Irma Rocío Villa Valles         | 10             |
| 417 | Matemáticas Actuariales para Seguro de Daños, Fianzas y Reaseguro | Juan Carlos Vargas Aguilar      | 14             |
| 418 | Matemáticas Financieras   | Irma Rocío Zavala Sierra        | 7              |
| 419 | Matemáticas Financieras   | Ana Laura Duarte Carmona        | 21             |
| 420 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | José Luis Gutiérrez Sánchez     | 8              |
| 421 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | Ricardo Zavaleta Madrid         | 8              |
| 422 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | Manuel Velasco Juan             | 10             |
| 423 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | Luis Enrique Quintanar Cortés   | 10             |
| 424 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | Alejandro Villarreal López      | 12             |
| 425 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas I                         | Raúl Jaime Torres Rojas         | 16             |
| 426 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II                        | Omar Recillas Ayala             | 8              |
| 427 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II                        | Arturo Velasco Pelayo           | 10             |
| 428 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II                        | Ricardo Zavaleta Madrid         | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                              | <b>Profesor</b>                  | <b>Horario</b> |
|-----|---|----------------------------------|----------------|
| 429 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Víctor Hugo Alvarado Beceril     | 10             |
| 430 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Juan Carlos Balleza García       | 14             |
| 431 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Pedro Eduardo Miramontes Vidal   | 14             |
| 432 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Juan Carlos Díaz Patiño          | 15             |
| 433 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Héctor Jesús Díaz Jiménez        | 18             |
| 434 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas II  | Juan Guillermo Munguía Fernández | 18             |
| 435 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Jorge Clouthier López            | 8              |
| 436 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Luis Enrique Quintanar Cortés    | 8              |
| 437 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Daniel Castillo Rodríguez Arana  | 8              |
| 438 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Pedro Porras Flores              | 10             |
| 439 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | José Luis Gutiérrez Sánchez      | 10             |
| 440 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Jorge Avella Martínez            | 17             |
| 441 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas III | Benjamín Millán Ramos            | 17             |
| 442 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Mariana Soledad Centeno Sierra   | 10             |
| 443 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Isaac Arelio Ríos                | 10             |
| 444 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Oscar García Zarco               | 10             |
| 445 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Faustino Sánchez Garduño         | 12             |
| 446 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Zeus Alberto Valtierra Quintal   | 16             |
| 447 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Jorge Avella Martínez            | 16             |
| 448 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Jesús Edel Cereceres Delgado     | 16             |
| 449 | Matemáticas para las Ciencias Aplicadas IV  | Víctor Hugo Alvarado Beceril     | 19             |
| 450 | Mecánica Analítica                          | María Luisa Marquina Fábriga     | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                   | <b>Profesor</b>                                     | <b>Horario</b> |
|-----|--|---|----------------|
| 451 | Mecánica Analítica                               | Vivianne Marquina Fábrega                           | 10             |
| 452 | Mecánica Analítica                               | Rosa María Méndez Vargas                            | 10             |
| 453 | Mecánica Analítica                               | Graciela Velasco Herrera                            | 17             |
| 454 | Mecánica Cuántica                                | Luis Fernando Magaña Solís                          | 8              |
| 455 | Mecánica Cuántica                                | Fernando Matías Moreno Yntriago                     | 10             |
| 456 | Mecánica Cuántica                                | Héctor Hernández Coronado                           | 10             |
| 457 | Mecánica Cuántica                                | Enriqueta Hernández Saldaña                         | 10             |
| 458 | Mecánica Cuántica                                | Carlos Ramírez Ramos                                | 15             |
| 459 | Mecánica Vectorial                               | Isaías Rodríguez Aguirre                            | 7              |
| 460 | Mecánica Vectorial                               | Roberto Alejandro Ruelas Mayorga                    | 8              |
| 461 | Mecánica Vectorial                               | Eric Vázquez Jauregui                               | 8              |
| 462 | Mecánica Vectorial                               | Manuel Gerardo Quintana García                      | 8              |
| 463 | Mecánica Vectorial                               | José Antonio Fragoso Uroza                          | 8              |
| 464 | Mecánica Vectorial                               | Vicenta Sánchez Morales                             | 10             |
| 465 | Mecánica Vectorial                               | Jerónimo Alonso Cortez Quezada                      | 10             |
| 466 | Mecánica Vectorial                               | Juan Manuel Eugenio Ramírez de Arellano Niño-Rincón | 10             |
| 467 | Mecánica Vectorial                               | Darío Núñez Zúñiga                                  | 10             |
| 468 | Mecánica Vectorial                               | Ramón Peralta y Fabi                                | 10             |
| 469 | Mecánica Vectorial                               | Susana Orozco Segovia                               | 10             |
| 470 | Mecánica Vectorial                               | Luciano Martínez Balbuena                           | 10             |
| 471 | Mecánica Vectorial                               | Jorge Ramón Soto Mercado                            | 10             |
| 472 | Mecánica Vectorial                               | Víctor Hugo Meza Laguna                             | 10             |
| 473 | Mecánica Vectorial                               | Consuelo García Alcántara                           | 11             |
| 474 | Mecánica Vectorial                               | José Alfredo Heras Gómez                            | 13             |
| 475 | Mecánica Vectorial                               | Roberto de Jesús León Montiel                       | 14             |
| 476 | Mecánica Vectorial                               | Francisco Javier Mandujano Sánchez                  | 16             |
| 477 | Mecánica Vectorial                               | Francisco Espinosa Magaña                           | 16             |
| 478 | Mecánica Vectorial                               | David García Gudiño                                 | 18             |
| 479 | Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos | José David Santos Salazar                           | 7              |
| 480 | Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos | Jesús Abraham Cantú Orozco                          | 8              |
| 481 | Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos | Alma Rosa Bustamante García                         | 15             |
| 482 | Mercados Financieros y Valuación de Instrumentos | Angélica Vargas Serrano                             | 19             |
| 483 | Métodos Cuantitativos en Finanzas                | Enrique Maturano Rodríguez                          | 7              |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                 | <b>Profesor</b>                    | <b>Horario</b> |
|-----|--|------------------------------------|----------------|
| 484 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Lizeth Fabiola Sánchez Suárez      | 7              |
| 485 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Nayeli Castillo Carranco           | 7              |
| 486 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Jorge Luis Silva Haro              | 8              |
| 487 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Alberto Cadena Martínez            | 16             |
| 488 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Daniela Alejandra González Ramírez | 18             |
| 489 | Métodos Cuantitativos en Finanzas              | Juan Diego Nieves Ledesma          | 19             |
| 490 | Modelado y Programación                        | Ana Libia Eslava Cervantes         | 8              |
| 491 | Modelado y Programación                        | Odín Miguel Escorza Soria          | 10             |
| 492 | Modelado y Programación                        | José de Jesús Galaviz Casas        | 13             |
| 493 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Gerardo Sisniega Lira              | 7              |
| 494 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Ángel Manuel Godoy Aguilar         | 7              |
| 495 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | David Chaffrey Moreno Fernández    | 8              |
| 496 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Ricardo Ramírez Aldana             | 10             |
| 497 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Claudia González González          | 10             |
| 498 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Margarita Elvira Chávez Cano       | 10             |
| 499 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Luis Antonio Rincón Solís          | 10             |
| 500 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Alberto Contreras Cristán          | 12             |
| 501 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Guillermina Eslava Gómez           | 13             |
| 502 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Rosa Daniela Chávez Aguilar        | 18             |
| 503 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Claudia Lara Pérez Soto            | 18             |
| 504 | Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo | Francisco Sánchez Villarreal       | 18             |
| 505 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Jaime Vázquez Alamilla             | 8              |
| 506 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Margarita Elvira Chávez Cano       | 9              |
| 507 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Inocencio Rafael Madrid Ríos       | 9              |
| 508 | Modelos no Paramétricos y de Regresión         | Jose Salvador Zamora Muñoz         | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                         | <b>Profesor</b>                           | <b>Horario</b> |
|-----|--|---|----------------|
| 509 | Modelos no Paramétricos y de Regresión | Javier Santibañez Cortés                  | 10             |
| 510 | Modelos no Paramétricos y de Regresión | Lizbeth Naranjo Albarrán                  | 11             |
| 511 | Modelos no Paramétricos y de Regresión | Alejandro Martínez López                  | 19             |
| 512 | Modelos no Paramétricos y de Regresión | Claudia Lara Pérez Soto                   | 19             |
| 513 | Modelos no Paramétricos y de Regresión | Rosa Daniela Chávez Aguilar               | 20             |
| 514 | Muestreo                               | José Antonio Flores Díaz                  | 11             |
| 515 | Óptica                                 | José Ignacio Jiménez Mier y Terán         | 8              |
| 516 | Óptica                                 | José Luis Pérez Mazariego                 | 10             |
| 517 | Óptica                                 | Nadia Ramírez Cruz                        | 10             |
| 518 | Óptica                                 | Adriano Valdés Gómez                      | 12             |
| 519 | Óptica                                 | Víctor Hugo Meza Laguna                   | 14             |
| 520 | Óptica                                 | Ali Michel Angulo Martínez                | 16             |
| 521 | Pensiones Privadas                     | José Antonio Valencia Trujillo            | 7              |
| 522 | Pensiones Privadas                     | César Adrián Hernández Vi-veros           | 7              |
| 523 | Pensiones Privadas                     | Jonathan González Salgado                 | 8              |
| 524 | Pensiones Privadas                     | Ernesto Rosas Garcia                      | 18             |
| 525 | Pensiones Privadas                     | Francisco Fernando Morales Castro         | 18             |
| 526 | Planeación Estratégica                 | Mónica Iliana Sánchez Zara-goza           | 7              |
| 527 | Planeación Estratégica                 | Felipe Zamora Ramos                       | 8              |
| 528 | Probabilidad I                         | Jesús Alberto Rodríguez Sánchez           | 7              |
| 529 | Probabilidad I                         | Laura Nayeli Liljehult León               | 8              |
| 530 | Probabilidad I                         | Guadalupe Carrasco Licea                  | 8              |
| 531 | Probabilidad I                         | Francisco Pérez Carbajal                  | 10             |
| 532 | Probabilidad I                         | Perla Marysol Ruiz Arias                  | 10             |
| 533 | Probabilidad I                         | Yuri Salazar Flores                       | 10             |
| 534 | Probabilidad I                         | María Asunción Begoña Fernández Fernández | 10             |
| 535 | Probabilidad I                         | Bibiana Obregón Quintana                  | 12             |
| 536 | Probabilidad I                         | Jaime Vázquez Alamilla                    | 12             |
| 537 | Probabilidad I                         | Julio César Galindo López                 | 16             |
| 538 | Probabilidad I                         | Hugo Villaseñor Hernández                 | 17             |
| 539 | Probabilidad II                        | Daniel Alejandro Zurita Gu-tiérrez        | 8              |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                  | <b>Profesor</b>                  | <b>Horario</b> |
|-----|---------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 540 | Probabilidad II                 | Daniel Cervantes Filoteo         | 8              |
| 541 | Probabilidad II                 | Jorge Luis Apátiga Sánchez       | 9              |
| 542 | Probabilidad II                 | Alberto Contreras Cristán        | 10             |
| 543 | Probabilidad II                 | David Josafat Santana Cobian     | 10             |
| 544 | Probabilidad II                 | Sandra Palau Calderón            | 10             |
| 545 | Probabilidad II                 | Fernando Guerrero Poblete        | 10             |
| 546 | Probabilidad II                 | Marco Arieli Herrera Valdez      | 10             |
| 547 | Probabilidad II                 | Ricardo Hoyos Argüelles          | 11             |
| 548 | Probabilidad II                 | Luis Antonio Rincón Solís        | 11             |
| 549 | Probabilidad II                 | Francisco Daniel Ramírez Calixto | 13             |
| 550 | Probabilidad II                 | Iván Ixcoatl Juárez López        | 14             |
| 551 | Probabilidad II                 | Sergio Iván López Ortega         | 15             |
| 552 | Probabilidad II                 | Miguel Ángel García Álvarez      | 17             |
| 553 | Probabilidad II                 | Juan González Hernández          | 18             |
| 554 | Probabilidad II                 | Fernando Díaz López              | 19             |
| 555 | Procesos Estocásticos I         | Sandra Palau Calderón            | 8              |
| 556 | Procesos Estocásticos I         | Adrián González Casanova Soberon | 8              |
| 557 | Procesos Estocásticos I         | María Clara Fittipaldi           | 10             |
| 558 | Procesos Estocásticos I         | Jorge Ignacio González Cázares   | 10             |
| 559 | Procesos Estocásticos I         | Rodrigo Quijón Hipólito          | 10             |
| 560 | Procesos Estocásticos I         | Ricardo Hoyos Argüelles          | 10             |
| 561 | Procesos Estocásticos I         | Arrigo Coen Coria                | 10             |
| 562 | Procesos Estocásticos I         | Abraham Ramírez Hernández        | 18             |
| 563 | Procesos Estocásticos I         | Francisco Daniel Ramírez Calixto | 19             |
| 564 | Procesos Estocásticos I         | Sergio Iván López Ortega         | 19             |
| 565 | Productos Financieros Derivados | Alejandro Hugo Velázquez Roldán  | 7              |
| 566 | Productos Financieros Derivados | Guillermo Rolando Rosas Figueroa | 8              |
| 567 | Productos Financieros Derivados | Jesús Agustín Cano Garcés        | 10             |
| 568 | Productos Financieros Derivados | Germán Valle Trujillo            | 19             |
| 569 | Productos Financieros Derivados | Christian Gabriel Miranda Ruíz   | 20             |
| 570 | Programación                    | Miguel Murguía Romero            | 7              |
| 571 | Programación                    | Armando Orozco Cortés            | 7              |
| 572 | Programación                    | Benjamín Figueroa Solano         | 8              |
| 573 | Programación                    | María Fernanda Sánchez Puig      | 8              |
| 574 | Programación                    | Alejandro Carrillo Nolazco       | 8              |
| 575 | Programación                    | Sonia Josefina Valery Lobo       | 9              |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                        | <b>Profesor</b>                    | <b>Horario</b> |
|-----|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 576 | Programación                          | Luis Enrique Serrano Gutiérrez     | 10             |
| 577 | Programación                          | Jaime Ayala Pérez                  | 11             |
| 578 | Programación                          | Antonio Carrillo Ledesma           | 12             |
| 579 | Programación                          | Roberto Méndez Méndez              | 12             |
| 580 | Programación                          | Amparo López Gaona                 | 14             |
| 581 | Programación                          | Pablo Alberto Tintor Jiménez       | 18             |
| 582 | Programación                          | Mario González Ruiz                | 20             |
| 583 | Relatividad                           | Saúl Noé Ramos Sánchez             | 8              |
| 584 | Relatividad                           | Enrique Moreno Méndez              | 8              |
| 585 | Relatividad                           | Juan Carlos Degollado Daza         | 8              |
| 586 | Relatividad                           | César Simón López Monsalvo         | 10             |
| 587 | Relatividad                           | Juan Manuel García Islas           | 10             |
| 588 | Relatividad                           | Mariano Chernicoff Minsberg        | 10             |
| 589 | Relatividad                           | Yuri Bonder Grimberg               | 12             |
| 590 | Relatividad                           | Roberto Allan Sussman Livovovsky   | 12             |
| 591 | Relatividad                           | Eduardo Peinado Rodríguez          | 14             |
| 592 | Relatividad                           | Gustavo Alfredo Arciniega Durán    | 18             |
| 593 | Relatividad                           | Pedro Antonio Sánchez Serrano      | 18             |
| 594 | Seguridad Social                      | Luis Alberto Galván Contreras      | 7              |
| 595 | Seguridad Social                      | Daniela Alejandra González Ramírez | 8              |
| 596 | Seguridad Social                      | María del Pilar Alonso Reyes       | 10             |
| 597 | Seminario de Álgebra A                | Juan Orendain Almada               | 8              |
| 598 | Seminario de Álgebra A                | Emilio Esteban Lluis Puebla        | 10             |
| 599 | Seminario de Álgebra A                | Luis Eduardo García Hernández      | 15             |
| 600 | Seminario de Álgebra A                | Javier Valdez Quijada              | 20             |
| 601 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Eduardo Torres Luna                | 7              |
| 602 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Mónica Iliana Sánchez Zágoza       | 8              |
| 603 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Víctor Manuel Solís Nájera         | 8              |
| 604 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Alonso Baranda Lozada              | 8              |
| 605 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Carlos Díaz Ávalos                 | 10             |
| 606 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Ricardo Ramírez Aldana             | 11             |
| 607 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Israel Emmanuel Ambriz Lobato      | 19             |
| 608 | Seminario de Aplicaciones Actuariales | Omar de la Riva Torres             | 20             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                    | <b>Profesor</b>                            | <b>Horario</b> |
|-----|---|--|----------------|
| 609 | Seminario de Aplicaciones Actuariales             | José Fernando Soriano Flores               | 21             |
| 610 | Seminario de Apoyo a la Titulación en Matemáticas | Natalia Bárbara Mantilla Beniers           | 15             |
| 611 | Seminario de Apoyo a la Titulación en Matemáticas | Francisco Javier Torres Ayala              | 15             |
| 612 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Jonathan Banfi Vázquez                     | 8              |
| 613 | Seminario de Ciencias de la Computación           | German Ernesto Zapata Ledesma              | 8              |
| 614 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Adriana Ramírez Vigueras                   | 9              |
| 615 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Armando Castañeda Rojano                   | 10             |
| 616 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Jorge Luis Ortega Arjona                   | 10             |
| 617 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Salvador López Mendoza                     | 10             |
| 618 | Seminario de Ciencias de la Computación           | José David Flores Peñaloza                 | 10             |
| 619 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Manuel Cristobal López Michelone           | 14             |
| 620 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Luis Alberto Ramírez Bermúdez              | 17             |
| 621 | Seminario de Ciencias de la Computación           | Josafat Isai Guerrero Iñiguez              | 18             |
| 622 | Seminario de Estadística I                        | Rafael Miranda Cordero                     | 10             |
| 623 | Seminario de Estadística I                        | Ruth Selene Fuentes García                 | 11             |
| 624 | Seminario de Geometría A                          | Pablo Rosell González                      | 8              |
| 625 | Seminario de Geometría A                          | Antonio Lascurain Orive                    | 14             |
| 626 | Seminario de Geometría A                          | José Collins Castro                        | 17             |
| 627 | Seminario de Topología A                          | Alejandro Illanes Mejía                    | 10             |
| 628 | Seminario de Topología A                          | Ernesto Alejandro Vázquez Navarro          | 14             |
| 629 | Seminario de Topología A                          | Enrique Guillermo Bazúa Durán              | 19             |
| 630 | Seminario Matemáticas Aplicadas I                 | Hortensia Galeana Sánchez                  | 10             |
| 631 | Seminario Matemáticas Aplicadas I                 | María de la Luz Jimena de Teresa de Oteyza | 10             |
| 632 | Seminario Matemáticas Aplicadas I                 | Adrián González Casanova Soberon           | 10             |
| 633 | Seminario Matemáticas Aplicadas I                 | Karla Genoveva Bassols Bellido             | 14             |
| 634 | Seminario Matemáticas Aplicadas I                 | Pedro José Sobrevilla Moreno               | 18             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>                                 | <b>Profesor</b>                    | <b>Horario</b> |
|-----|--|------------------------------------|----------------|
| 635 | Seminario Matemáticas Aplicadas I              | José Guadalupe Vázquez Vázquez     | 20             |
| 636 | Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I | Carmen Martínez-Adame Isaís        | 10             |
| 637 | Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I | José Rafael Martínez Enríquez      | 10             |
| 638 | Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I | Adriana Léon Montes                | 14             |
| 639 | Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I | Antonio García Flores              | 15             |
| 640 | Seminario sobre Enseñanza de las Matemáticas I | Vicente Carrión Velázquez          | 19             |
| 641 | Taller de Herramientas Computacionales         | Armando Orozco Cortés              | 8              |
| 642 | Temas Selectos de Economía                     | Luis Alberto Quezada Téllez        | 8              |
| 643 | Teoría de Gráficas                             | María del Pilar Valencia Saravia   | 7              |
| 644 | Teoría de la Medida I                          | María Emilia Caballero Acosta      | 10             |
| 645 | Teoría de los Conjuntos I                      | David Meza Alcántara               | 8              |
| 646 | Teoría de los Conjuntos I                      | Ángel Tamariz Mascarúa             | 13             |
| 647 | Teoría de los Conjuntos I                      | Rodrigo Edmundo Cepeda Morales     | 15             |
| 648 | Teoría de los Conjuntos I                      | Erick García Ramírez               | 19             |
| 649 | Teoría de los Números I                        | Alejandro De Las Peñas Castaño     | 8              |
| 650 | Teoría de los Números I                        | Elhoim Llorente Sumanoy Ramírez    | 20             |
| 651 | Teoría de los Números II                       | Ernesto Cruz Guerrero              | 8              |
| 652 | Teoría de Redes                                | María Isabel Escalante Membrillo   | 17             |
| 653 | Teoría del Riesgo                              | Luis Alberto Olvera García         | 7              |
| 654 | Teoría del Riesgo                              | Alejandro Santoyo Cano             | 8              |
| 655 | Teoría del Riesgo                              | Roberto Méndez Rosas               | 17             |
| 656 | Teoría del Riesgo                              | Yuri Salazar Flores                | 19             |
| 657 | Teoría del Seguro                              | María Patricia Luna Díaz           | 8              |
| 658 | Teoría del Seguro                              | Alfonso Parrao Guzman              | 19             |
| 659 | Termodinámica                                  | René Carrillo Moreno               | 8              |
| 660 | Termodinámica                                  | María Michel Duque Vega            | 8              |
| 661 | Termodinámica                                  | Rodolfo Patricio Martínez y Romero | 10             |
| 662 | Termodinámica                                  | Víctor Manuel Romero Rochín        | 10             |

La tabla continúa en la siguiente página

|     | <b>Materia</b>      | <b>Profesor</b>                 | <b>Horario</b> |
|-----|---------------------|---------------------------------|----------------|
| 663 | Termodinámica       | Manuel Gerardo Quintana García  | 10             |
| 664 | Termodinámica       | Ignacio Campos Flores           | 16             |
| 665 | Termodinámica       | Carlos Enrique Román Velázquez  | 20             |
| 666 | Topología I         | Gerardo Acosta García           | 8              |
| 667 | Topología I         | Sergio Macías Álvarez           | 10             |
| 668 | Topología I         | Ángel Tamariz Mascarúa          | 10             |
| 669 | Topología I         | Manuel Alejandro Lara Mary      | 12             |
| 670 | Topología I         | María Isabel Puga Espinosa      | 13             |
| 671 | Topología I         | Patricia Pellicer Covarrubias   | 16             |
| 672 | Topología I         | Jorge Moreno Montes             | 19             |
| 673 | Topología III       | Alejandro Illanes Mejía         | 9              |
| 674 | Variable Compleja I | Emigdio Martínez Ojeda          | 10             |
| 675 | Variable Compleja I | Héctor Fidencio Sánchez Morgado | 10             |
| 676 | Variable Compleja I | Oscar Alfredo Palmas Velasco    | 10             |
| 677 | Variable Compleja I | Roberto Pichardo Mendoza        | 12             |
| 678 | Variable Compleja I | Carisa Cano Figueroa            | 13             |
| 679 | Variable Compleja I | Micho Durdevich Lucic           | 16             |
| 680 | Variable Compleja I | Mico Djurdjevic                 | 16             |
| 681 | Variable Compleja I | Alejandro Gaona Ordoñez         | 18             |
| 682 | Variable Compleja I | Jesús Manuel Mayorquín García   | 19             |

Tabla D.1: Se muestra la matriz con la asignación final de los horarios. Cada renglón tiene la información de un grupo con una materia, profesor y horario asignado.



# Apéndice E

## Observaciones / Notas

1. La matriz `mat_posibles_url` se define con un tamaño fijo antes de correr el algoritmo para que no se demore por tener un objeto que va cambiando de tamaño, por lo que al final de haberle aplicado la función se le deben de quitar los renglones que no tienen información.
2. La función `casos_alumnos` convierte los *NA* de la columna *Alumnos* de *m\_grande* en ceros pero al generar *m\_grande\_total* y pasarla por la función `limpia_m_grande` se eliminan los *NA* y se cambian por ceros por lo tanto no es necesaria la función `casos_alumnos`, basta pasar la columna correspondiente a *Alumnos* de *m\_grande\_total*.
3. Cuando se hacen comparaciones se toman los valores reales y se les restan los valores simulados ( $Reales - \mathbb{E}[Simulados]$ )
4. Con las gráficas *heatmap* se revisa si el modelo es adecuado o si se debe modificar algo. Se espera que las gráficas sean de color claro ya que nos interesa que el número de grupos y alumnos simulados se parezca al real.
5. Se tienen dos tipos de matrices las cuales llamaremos *m\_objetivo* y *m\_definición*; las matrices *m\_objetivo* son las que tienen la información que se utiliza para la asignación; las matrices *m\_definición* nos sirven para dos cosas:
  - a) Respaldo de la descripción de cada columna
  - b) Para guardar los índices en los que se encuentran las columnas
6. Las matrices tipo *m\_definición* son:
  - a) `mat_def_columnas_MG`
  - b) `mat_def_grupos_reales`
  - c) `mat_def_grupos_simulados`
7. Las matrices tipo *m\_objetivo* son:
  - a) `m_grande`
  - b) `m_grande_total`

- c) ...
8. La función *checha\_ind\_materia* se encarga de obtener los índices de las columnas de las matrices tipo *m\_definición* para poder sacar información de *m\_grande* o de *m\_grande\_total*.
  9. Para las simulaciones se utiliza la información anterior a la del semestre que se quiere simular para no tener información real dentro de los datos para la simulación.
  10. En caso de querer elegir la capacidad del salón se va a elegir la mayor de sus capacidades (comparando las capacidades que se han tenido a lo largo de varios semestres).
  11. Las matrices *m\_grande* y de *m\_grande\_total* tienen información real.
  12. En los ciclos que recorren renglones y columnas de matrices, siempre es más rápido hacer (de afuera hacia adentro) primero las columnas y luego los renglones.

Si se tiene una matriz con entradas  $(i, j)$  entonces:

```
for (j) {
    for (i) {
        m[i , j]
    }
}
```

Código E.1: *Ejemplo de ciclo for*

13. El vector *vec\_nom\_materias\_total* tiene los nombres de las materias, sin repeticiones, que se utiliza para las simulaciones.
14. El vector *vec\_excepciones* tiene las posibles excepciones en las que las funciones que extraen información pueden caer, de esta manera se pueden generar nuevas funciones para corregir esos casos.
15. La siguiente imagen es el resultado de la función *imprime\_info\_idiomas* la cual muestra la información de los idiomas. Dicha función arroja un vector con los semestres que requieren modificación.

```
La matriz m_grande del semestre 20081 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20082 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20091 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20092 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20101 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20102 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20111 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20112 no tiene clases de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20121 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20122 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20131 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20132 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20141 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20142 no tiene clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20151 no tiene clases repetidas de Inglés
En el semestre 20152 se tienen 2 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20161 se tienen 3 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20162 se tienen 4 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20171 se tienen 1 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20172 se tienen 2 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20181 se tienen 4 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20182 se tienen 3 clases repetidas de Inglés
La matriz m_grande del semestre 20191 no tiene clases repetidas de Inglés
En el semestre 20192 se tienen 1 clases repetidas de Inglés
En el semestre 20201 se tienen 1 clases repetidas de Inglés
```

Figura E.1: *Resumen de clases de inglés antes de modificación*

Con esta información se decidió observar caso por caso los renglones que requieren modificación para la matriz *m\_grande*

16. Debido a la situación en la que estamos viviendo actualmente, ahora más que nunca es necesario tener un programa para la asignación de horarios que permita la realización de las asignaciones sin tener la necesidad de hacer reuniones en persona, ya que al proseguir con las medidas de distanciamiento social, las reuniones antiguamente hechas en persona se tendrían que hacer por medio de alguna plataforma digital las cuales no necesariamente son las más óptimas ya que dependen de la señal de todos los participantes para que haya una comunicación de manera fluída. Debido a ésto, el programa es una buena solución.
17. Al hacer las simulaciones del número de alumnos el redondeo es hacia arriba, usando la función *ceiling*.
18. El vector *vec\_nom\_materias\_total*, que contiene el nombre de las materias se definió en la lista *param* para poder tomarlo en las diferentes funciones.
19. Para resolver un problema, pensar en los pasos en los que se puede dividir dicho problema, usualmente se requieren entre 3 y 8 pasos o casos para obtener un producto final. Para cada paso hacer una función.

Se tienen dos posibles estructuras:

- a) La función del paso *n* manda a llamar a la del paso *n – 1*.

Ej.

```
simula_grupos {simula_gpos_1_sem {simula_gpos_1_materia {simula_tam_gpo
```

- b) Se tiene una función principal que manda a llamar a las funciones de cada paso:

Ej.

```
gen_asignacion_completa <- function(sem_ini, sem_fin)
{
  # Se carga y se limpia la lista de urls (para no
  # tener paginas sin informacion,...)
  list_url <- Actualiza_list_url(list_url)

  # Se obtiene "m_grande" y se genera un archivo
  # para cada semestre
  for(k in 1:length(semestres)){
    sem_info <- semestres[k]
    directorio_info[k] <- gen_m_grande(sem_info,
                                         list_url)
  }

  # Se genera el esqueleto del semestre que se
  # quiere obtener
```

```

mat_esqueleto <- gen_esqueleto(directorio_info ,
param)

# Se genera la matriz de solicitudes de todos los
# profesores
mat_solicitudes <- gen_solicitudes(param)

# Se genera la matriz de asignaciones de todos
# los profesores
mat_asignaciones <- gen_asignacion(mat_esqueleto ,
mat_solicitudes , param)

return (mat_asignaciones)
}
}

```

Código E.2: *Ejemplo de estructura de funciones*

20. Pudiera ser que haya un apéndice con “Observaciones” utilizando las notas escritas.
21. Todo lo que se escriba debe tener un propósito, sino quitarlo.
22. La información que se puede encontrar actualmente (debido a la pandemia) en las páginas web de los horarios de la Facultad no es la misma que la mostrada a lo largo del trabajo ya que ahora no se tiene información del salón, o del número de alumnos inscritos por materia, ni los lugares disponibles por grupo.

The screenshot shows a webpage titled "Horarios 2021-1" from the Faculty of Sciences. The page includes navigation links for "Cienencias", "Horarios 2021-1", "Actuaría", and "Modelos no Paramétricos y de Regresión". Below the title, it says "Actuaría (plan 2015)". A search bar is present with the placeholder "Buscar en grupos". The main content lists several groups with their respective professors and schedules:

- Grupo 9220**: Profesor Jaime Vázquez Alamilla (lu mi vi 10 a 11), Ayudante Omar Rodríguez Torres (ma ju 10 a 11), Presentación.
- Grupo 9222**: Profesor María del Pilar Alonso Reyes (lu mi vi 12 a 13), Ayudante Luisa Téllez Moreno (ma ju 12 a 13), Presentación.
- Grupo 9224**: Profesor Gonzalo Pérez de la Cruz (lu mi vi 17 a 18), Ayudante Dioney Alonso Rosas Sánchez (ma ju 17 a 18).
- Grupo 9226**: Profesor Francisco Sánchez Villarreal (lu mi vi 18 a 19), Ayudante Santiago Lara Jiménez (ma ju 18 a 19), Presentación.

Figura E.2: *Ejemplo de horarios de semestre 2021-1*

23. Notas de T26

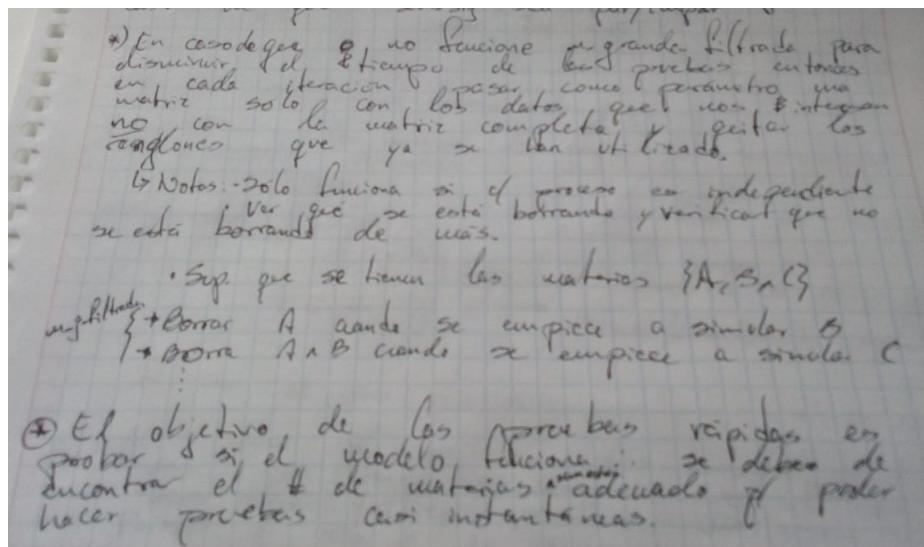


Figura E.3: Notas de T26

24. En caso de tener subsecciones: entre 3 y 4
25. Ser muy directa al escribir, pero explicar mucho más (platicar más). No hacer enunciados tan largos. No puede haber párrafos formados por un sólo enunciado. Escribir una idea por enunciado. No sólo escribir en párrafos, utilizar listas, tablas, ...
26. La estructura de cada párrafo debe ser de tipo *reloj de arena*. Ir de lo general a lo particular y volver a lo general con una conclusión.
27. Un enunciado equivale a una idea. Un párrafo equivale a un conjunto de ideas comunes.
28. Sea  $D = \frac{r-s}{s}$ , donde  $r$  son datos reales,  $s$  datos simulados y  $D$  la diferencia relativa, se busca que  $D \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$ .
29. Ejemplo del uso del comando *Roxygen* para comentar las funciones en *R*.

```

#' Add together two numbers
#
#' @param x A number
#' @param y A number
#' @return The sum of \code{x} and \code{y}
#' @examples
#' add(1, 1)
#' add(10, 1)
add <- function(x, y) {
  x + y
}

```

Figura E.4: Ejemplo de Roxygen

30. Escribir en el archivo de LaTeX pequeños comentarios de la idea que se quiere transmitir en cada párrafo (de 2 a 3 palabras claves). Ésto sirve para referencias futuras y

para ordenar los párrafos con mayor facilidad.

31. Escribir párrafos de 2 a 3 enunciados completos, no dejar enunciados solos a menos que contengan información muy importante.
32. En caso de tener más de 10 referencias bibliográficas utilizar *Mendeley* para generar un archivo *.bib* y ponerlo en la tesis para tener la bibliografía.
33. Cuidar el tamaño de letra en las gráficas que se pongan
34. No poner abreviaturas en los títulos.
35. La imagen 3.1 tiene título en inglés, se tienen 2 opciones: dejarlo así o buscar cómo cambiarlo.
36. Recordar la diferencia entre:
  - Número de alumnos inscritos
  - Número de alumnos reales
  - Número de alumnos que toman clase por cada horario (no se toman en cuenta los alumnos que empalan clases)
37. Para la elección de  $q_1$  y  $q_2$  se debe darle prioridad a la varianza no al mínimo y al máximo porque se pueden tener casos en los que el mínimo y el máximo estén muy cercanos a cero (gráfica superior) pero su varianza es grande. Queremos que la varianza se encuentre alrededor del cero (gráfica inferior).

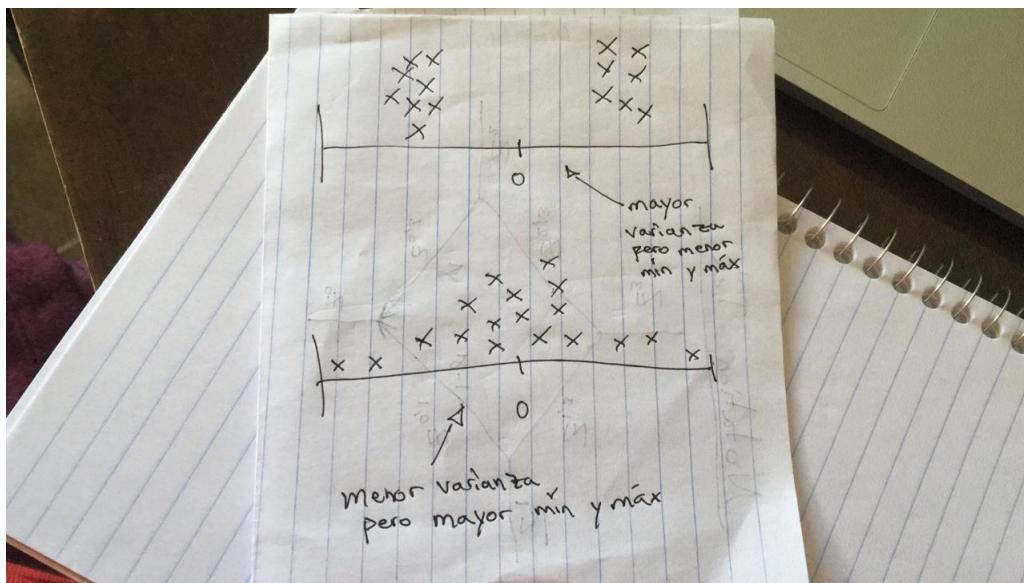


Figura E.5: Ejemplo de varianza

38. Preferir sacrificar el B/N en las imágenes impresas para tener una mejor versión digital a color.
39. Guardar figuras hechas en R con el comando: `dev.print(pdf, "Figures/Fig_Examples_of_GB_distributions height=5)`

40. Arrigo dijo que posiblemente alguien se va a quejar de no tomar en cuenta la preferencia de los profesores al realizar las solicitudes.
41. Un histograma nos muestra la representación de la distribución empírica de un conjunto de datos. Cada barra en el histograma representa la frecuencia de un intervalo sobre el rango de las observaciones que se tienen.
42. Cláusula 99 CCTPA: Ayuda para la impresión de la tesis.

<https://www.personal.unam.mx/Docs/Contratos/AAPAUNAM20132015.pdf>

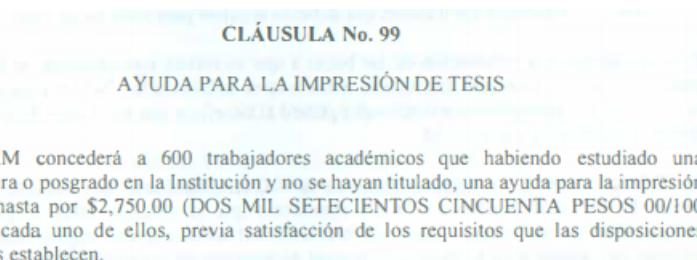


Figura E.6: *Cláusula 99 CCTPA: Ayuda para la impresión de la tesis*

43. Equivalencias de nombres para estadística:
  - a) Estadística I - Inferencia Estadística
  - b) Estadística II - Modelos no Paramétricos y de Regresión
  - c) Estadística III - Modelos de Supervivencia y de Series de Tiempo
44. La frecuencia relativa en los histogramas no refleja directamente el porcentaje. Se debe multiplicar el valor del eje Y por el ancho del intervalo por 100 para obtener cifras en porcentaje. El área total de las barras sumará 1 (17).
45. No confundir las carpetas de *Figuras* del GitHub con la del pdf.
46. Ya no son necesarias las pruebas de bondad de ajuste porque los tamaños de grupo se van a simular con respecto a los profesores. Ver  $T_{32xx}$ )
47. Los archivos *README* sirven para explicar las cosas a los demás.
48. Si los grupos pequeños dan muchos problemas podemos considerar quitarlos.
49. Las materias que se actualizaron o cambiaron de nombre se pueden ver en Capítulo A.
50. Arrigo dijo que posiblemente alguien se va a quejar del hecho de que actualmente las inscripciones ya no se hacen con tira de materias firmada.
51. El comando `\figurename{\ref{nom_figura}}` imprime la palabra *Figura* antes del número correspondiente a la figura de la referencia.
52. El comando `\chaptername{\ref{nom_capitulo}}` imprime la palabra *Capítulo* antes del número correspondiente al capítulo de la referencia.
53. El comando `\tablename{\ref{nom_tabla}}` imprime la palabra *Tabla* antes del número correspondiente a la tabla de la referencia.

54. En los 3 comandos anteriores la ~ sirve para poner un espacio entre el nombre y el número.
55. Los comandos `\subsecname{\ref{nom_subseccion}}`, `\secname{\ref{nom_seccion}}`, `\subsectionname{\ref{nom_subseccion}}` y `\subsubsectionname{\ref{nom_seccion}}` no existen.
56. Para cada figura, al momento de explicarla, pensar en el mensaje principal que se quiere transmitir y *dejarla hablar* por sí sola.
57. Nos interesa más el comportamiento de semestres más recientes. Darle más peso a ellos en las figuras.
58. Utilizar la coma de Oxford en caso de confusión o si el último elemento es compuesto. Ej. Finanzas II, Procesos Estocásticos I, y Probabilidad y Estadística.
59. Imagen que muestra el uso de Plan de estudio con sus diferentes variantes *Plan de Estudio*, *Plan de Estudios*, *Planes de Estudios*, *Planes de Estudio*. Los links en donde se encuentran esos nombres son: <https://www.dgae-siae.unam.mx/educacion/planes.php> y <https://www.dgae.unam.mx/planes/licenciatura.html>.

## — Planes de Estudio —

Llene los datos que se le piden a continuación:

| Consulta de Planes de Estudios |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| CLAVE DEL PLAN DE ESTUDIO      |                           |
| <a href="#">Estructura</a>     | <a href="#">Consultar</a> |

Figura E.7: Nombres planes de estudio

60. No usar palabras despectivas como: restante,...
61. En el modelo de mezcla de Normales tenemos el comando `plot(mixmdl, which = 2)`, la opción `which` se encarga de seleccionar el tipo de gráfica que se muestra. <https://stackoverflow.com/questions/29044055/plot-which-parameter-where-in-r>

`which` selects which plot to be displayed:

1. A plot of residuals against fitted values
2. A normal Q-Q plot
3. A Scale-Location plot of  $\text{sqrt}(|\text{residuals}|)$  against fitted values
4. A plot of Cook's distances versus row labels
5. A plot of residuals against leverages
6. A plot of Cook's distances against leverage/(1-leverage)

By default, the first three and 5 are provided.

Check `?plot.lm` in r for more details.

Figura E.8: *which in plot*

62. Uso de mayúsculas:

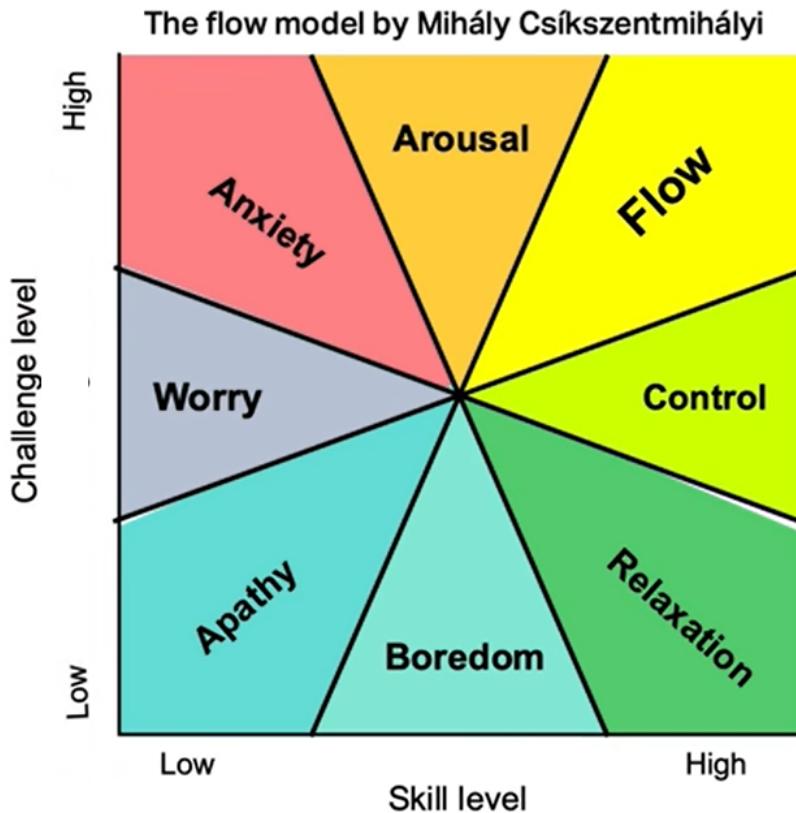
- RAE: <https://www.rae.es/dpd/may%C3%BAsculas#33c>
- Otro: <http://iesbinef.educa.aragon.es/lengua/ortografia/reglas/reglama.htm>

63. Uso de mayúsculas después de dos puntos RAE:

<https://www.rae.es/dpd/dos%20puntos>

64. How to write your PhD thesis (without going insane) [https://www.youtube.com/watch?v=pM6orL-bGDc&ab\\_channel=JamesHaytonPhD](https://www.youtube.com/watch?v=pM6orL-bGDc&ab_channel=JamesHaytonPhD):

- Definir tiempos de trabajo y tiempos de trabajo.
- Ser constante. Escribir al menos una página al día.
- Escribir más de las áreas en las que se tiene mayor conocimiento que en temas que no se conocen al 100 %.
- Si se tiene un nivel de habilidad medio y el nivel del problema/reto es alto, entonces basta que uno se concentre en el problema para poder resolverlo.

Figura E.9: *Skill vs challenge level*

65. El 50% del tiempo se destina a salvar variables, comentar códigos, definir nombres correctos, hacer buenas estructuras en el código.
66. Procurar aprender algo nuevo cada día (videos de 5-10min al día), como:
  - a) Ver videos de cómo hacer gráficas en R
  - b) %% > %% en R para filtrar información en matrices
  - c) Excel
  - d) Cosas de R
67. Tener en cuenta que el código hace cosas similares por materia. Se tienen los mismos errores por materia.
68. Un programa de computadora, con que haga los mismos errores que un humano, es bueno porque su costo es menor.
69. Se espera que después de la primera generación, la mejora en las calificaciones de las asignaciones sea grande. Casi es una regla para el AG.
70. No poner cosas de otros si no se les menciona. Se se pone => hacer referencia/darle crédito.
71. No se da 2 veces la misma materia al mismo profesor para que los alumnos tengan mayor gama de profesores para elegir.

72. Mientras más información se pueda imprimir para darse cuenta de los posibles errores, es muy útil.
73.  $X_4$  : Analizar presentación: Hacer varias pruebas con distintas combinaciones y elegir el mejor estilo/presentación.
74.  $X_{14}$  : Revisar/Investigar al respecto del problema y resolverlo.
75. 29/12/20202: Ya tenemos la herramienta, ahora hay que hacer pruebas para entenderla y explicarle a los demás su funcionamiento.
76. 29/12/20202: Actualmente falta por asignar  $\frac{1}{3}$  de los grupos. La meta es que sólo falte el 10% de los grupos (o menos).
77. El comando `ctrl + shift + f`, de *R*, busca en todos los archivos de una carpeta.
- 78.
- 79.
- 80.
- 81.
- 82.
- 83.
- 84.
- 85.
- 86.
- 87.
- 88.
- 89.
- 90.



# Bibliografía

- [1] Breusch T. S. y Pagan R., (1979), *A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation*, *Econometrica*, Vol. 47, No. 5, pp. 1287 - 1294
- [2] Casella G., (2006), *Statistical Inference*, Thomson Press
- [3] Chatfield C. y Xing H., (2019), *The Analysis of Time Series An Introduction with R*, Chapman & Hall/CRC
- [4] Do Chuong B. y Batzoglou S., (2008), *What is the expectation maximization algorithm?*, *Nature Biotechnology*, Vol. 26, No. 8, pp. 897 - 899
- [5] Cox D. R. y Stuart A., (1955), *Some Quick Sign Tests for Trend in Location and Dispersion*, *Biometrika*, Vol. 42, No. 1/2, pp. 80 - 95
- [6] Gibbons J. D. y Chakraborti S., (2011), *Nonparametric Statistical Inference*, Chapman & Hall/CRC
- [7] Jarque C. M. y Bera A. K., (1980), *Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals*, *Economic Letters*, Vol. 6, No. 3, pp. 255 - 259
- [8] Lytras D., (2015), *On Seasonality: Comparing X-13ARIMA-SEATS Diagnostics for Quarterly Series*, U.S. Census Bureau
- [9] Madsen H., (2008), *Time Series Analysis*, Chapman & Hall/CRC
- [10] Miller L. H., (1956), *Table of Percentage Points of Kolmogorov Statistics*, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 51, No. 273, pp. 111-121.
- [11] Montgomery D., Jennings C. y Kulahci M., (2015), *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*, Wiley
- [12] Reeves C. R. y Rowe J.E., (2007), *Genetic Algorithms: Principles and Perspectives. A Guide to GA Theory*, Kluwer Academic Publishers
- [13] Rincón L., (2007), *Curso intermedio de probabilidad*, UNAM
- [14] Rubinstein R. y Kroese D., (2016), *Simulation and the Monte Carlo Method*, Wiley
- [15] Shumway R. y Stoffer D., (2017), *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*, Springer
- [16] Sivanandam S. N. y Deepa S. N., (2008), *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer

- [17] Vazquez J., Naranjo L., Fuentes R. y Chávez M., (2018), *Introducción a la Estadística*, Proyecto PAPIME UNAM PE107117
- [18] Yazdani M., Naeri B. y Zeinali E., (2017), *Algorithms for university course scheduling problems*, Tehnički vjesnik, Vol. 24, No. 2, pp. 241-247