

Instituto Tecnológico de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería Industrial



Desarrollo de un algoritmo para la distribución de exámenes finales

Proyecto de Fin de Carrera de Intercambio
Ingeniería Industrial – 10.99



Alberto Daudén Figueras
dauden.alberto@gmail.com

Junio, 2019

A mi familia, mis amigos de la Argentina y al gran equipo de Gastón y John.

Resumen ejecutivo

La problemática tanto de distribución de horarios como de exámenes en el sector de la educación ha existido desde mucho tiempo atrás y es conocida como calendarización de actividades o Timetabling.

En este trabajo se plantea un modelo de programación entera que resuelve esta problemática para el caso concreto del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, cumpliendo así las exigencias de tamaños de aula, materias del mismo cuatrimestre y correlatividades entre éstas, minimizando la asignación en periodos no deseados.

El modelo utilizado para este trabajo puede ser aplicado a una gran cantidad de problemas de Programación de Horarios de Universidades, proporcionando una gran flexibilidad de resolución.

Cabe destacar que el modelo se le pueden implementar nuevas restricciones que lo conviertan en uno más complejo y sólido, favoreciendo por ejemplo las preferencias que tienen algunos profesores para la realización de sus exámenes en aulas determinadas, o el uso de laboratorios especiales para determinadas materias.

Executive Brief

The schedules and examinations distributing problem has existed for a long time in the educational field and is known as activity calendarization or Timetabling problem.

This project proposes a whole programming model that solves this problem in the specific case of the Technological Institute of Buenos Aires, thus fulfilling the requirements of classroom sizes, subjects of the same semester and correlativities among them, minimizing the allocation in undesired periods.

The model used in this project can be applied to many Schedule Programming problems, providing great resolution flexibility.

It should be noted that the model can be implemented with new restrictions that make it more complex and solid, favoring the preferences that some teachers have for their exams in specific classrooms, or the use of special laboratories for certain subjects.

Índice

Resumen ejecutivo	2
Executive Brief.....	4
1. Justificación del tema elegido	7
2. Fundamentación del tema elegido.....	8
2.1. Situación actual de la facultad.....	8
2.2. Programación de horarios	11
3. Marco conceptual.....	13
3.1. Programación entera.....	13
3.2. Algoritmo de múltiples etapas	16
3.3. Hiper-heurística estocástica basada en Monte Carlo	17
4. Objetivos generales y específicos.....	18
5. Metodología de desarrollo	18
5.1. Recolección de datos.....	18
5.2. Software a usar.....	19
5.3. Modelo teórico inicial.....	19
6. Desarrollo/Parte experimental.....	21
6.1. Modelos anteriores	21
6.2. Modelo final.....	22
6.3. Código del modelo.....	25
6.3.1. Archivo .mod	25
6.3.2. Archivo .dat	27
6.3.3. Archivo .ops.....	28
6.4. Macro de Excel	28
7. Conclusiones.....	29
8. Bibliografía.....	30

Desarrollo de un algoritmo para la distribución de exámenes finales

Alberto Daudén Figueras

Dauden.alberto@gmail.com

1. Justificación del tema elegido

Hasta la fecha, la distribución de exámenes finales en el ITBA ha sido realizada mediante decisiones de personas que aplican sus conocimientos y experiencias. Dado la alta variedad de carreras que se imparten en el ITBA y la cantidad de materias que éstas tienen, la distribución de espacios y horarios para las semanas de exámenes finales se convierte en un proceso complejo y tedioso que a menudo resulta insatisfactorio para los alumnos.

Tanto las propias materias como los docentes que las imparten tienen preferencias a la hora de elegir días y horarios, sin mencionar el hecho de capacidades de aulas y de recursos necesarios para la realización de los exámenes.

Es por ello por lo que, ante la situación actual que se encuentra la universidad y los casos que se derivan del proceso de distribución, se decide desarrollar un modelo matemático/algoritmo para la optimización de este proceso.

De esta manera se quiere tener en cuenta tanto las capacidades de las aulas, los recursos de éstas, las prioridades de turnos horarios, los días de la semana que se realizan los exámenes, las preferencias por partes de los docentes, etc.... para realizar la mejor distribución de los exámenes en base a criterios y restricciones.

2. Fundamentación del tema elegido

2.1. Situación actual de la facultad

El Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) fue fundado el 20 de noviembre de 1959, convirtiéndose en una de las primeras universidades privadas creadas en la Argentina.

Con el objetivo de crear una universidad especialmente dedicada a la enseñanza de la Ingeniería y las ciencias vinculadas con el mar, el ITBA comenzó esta historia, en la que se destaca como uno de sus fundadores y principal inspirador el Vicealmirante Carlos A.



Garzoni, quien se desempeñó durante varios años como Rector, durante el período de organización y desarrollo inicial de la Universidad.

Las actividades académicas se iniciaron en 1960, cuando la primera promoción comenzó a cursar sus estudios. Con el correr de los años la cantidad de alumnos fue incrementándose de manera significativa y también fueron sumándose diversas especialidades.

La Universidad funcionó en el edificio ubicado en la calle Cuba 1930 de la Ciudad de Buenos Aires. Luego, en 1965, se realizó el traslado al edificio de la Avenida Eduardo Madero 399, donde funciona actualmente. Hoy, la Universidad se expandió y cuenta con varias sedes, como la de la Escuela de Postgrado y la Sede Distrito Tecnológico.

Actualmente, son más de 7.000 los graduados del ITBA que se desarrollan dentro del mundo profesional, en empresas públicas y privadas, e incluso con emprendimientos propios y proyectos sumamente exitosos.

M I S I Ó N

Somos una universidad comprometida con el desarrollo del país y de la región.

Formar y desarrollar profesionales en las áreas de Ingeniería, Tecnología y Gestión, a través de carreras de grado, posgrado y programas de Educación Ejecutiva, con una alta exigencia académica, con contenidos permanentemente actualizados, respondiendo a las necesidades de la sociedad y los avances tecnológicos, mediante técnicas educativas de avanzada.

V I S I Ó N

Ser un reconocido líder regional, en tecnología, ingeniería y gestión.

Nuestra visión es la de ser la universidad de tecnología y gestión más reconocida en el país por la excelencia y calidad de sus egresados, por la calidad de su cuerpo de profesores, y por la innovación de sus planes, programas y metodologías, con una alta complementación con las empresas del país, investigación aplicada y vinculación con las mejores universidades de la región y del mundo.

V A L O R E S

Los valores éticos que guían nuestro accionar son:

- El respeto a las personas, como comportamiento central en las relaciones entre alumnos, docentes y personal de la Universidad.
- El respeto a la verdad y a la palabra empeñada, como esencia de nuestra labor universitaria.
- El cumplimiento de las normas, como forma de convivencia interna y externa.
- La capacidad de responder por los actos propios, como expresión responsable del ejercicio de los roles profesionales.

Lo que nos permiten desarrollar nuestros valores institucionales:

- La búsqueda de la excelencia académica en la enseñanza, investigación y desarrollo tecnológico.
- El trabajo en equipo, apoyado en el desarrollo personal y profesional de los individuos, y en la integración de todos los miembros de la universidad (autoridades, colaboradores, docentes, estudiantes y graduados).
- Una gestión transparente y de comunicación abierta.
- Compromiso con el desarrollo del país, manteniendo una visión global y de fomento de la diversidad.

En el ITBA se dictan nueve (9) carreras de grado de ingeniería, dos (2) doctorados en ingeniería, cuatro (4) maestrías y siete (7) especializaciones (cuatro de ellas en relación con las respectivas maestrías). Las carreras de grado se encuentran agrupadas por afinidad en dos Escuelas. Las carreras de posgrado están bajo la órbita de la Dirección de Posgrado, con excepción de los doctorados que depende del Rectorado. En el Informe Final de Evaluación Externa que se realizó (Gustavo Adolfo Aucar, 2014), se destacan las siguientes anotaciones:

“La Escuela de Ingeniería y Gestión señala que a pesar de poseer entre el sesenta y cinco y setenta por ciento (65-70 %) del alumnado del ITBA, dispone, comparativamente, menos infraestructura. Sin embargo, reconoce que sus laboratorios son más de tipo informático que de equipos pesados, motivo por el cual hay conformidad con esta situación y no existe una vocación por cambiarla.”

Respecto a las carreras de Ingeniería, los planes de estudios tienen una duración teórica de cinco años y una carga horaria de cuatro mil ochenta horas (4.080 hs) correspondientes a doscientos cuarenta (240) créditos, a la cual se suma la Práctica Laboral de doscientos cuarenta horas (240 hs). Se destaca que tanto la carga horaria de las carreras como de la Práctica Laboral exceden los mínimos establecidos por los estándares aprobados por el Consejo de Universidades para cada una de las carreras, lo cual se presenta como un diferencial de las ingenierías del ITBA. En cuanto a la Licenciatura en Administración y Sistemas, el plan de estudios tiene una duración teórica de cuatro (4) años.

La duración real de las carreras de ingeniería promedio, según las fichas del Sistema de Información para la Evaluación y el Mejoramiento Institucional (SIEMI), se produce entre uno y dos años por sobre la duración teórica. Se trata de una duración real significativamente más baja que la del promedio del sistema universitario público.

La institución posee un sistema de registro y procesamiento de la información académica, el cual se encuentra presente en todas las unidades académicas. El sistema de gestión académica (SGA) fue desarrollado por el Equipo de Procesos y Sistemas del ITBA, y se encuentra en vigencia y en permanente mejoramiento y expansión. El mismo permite la gestión del alumno, tanto personal como académica, incluyendo la matriculación vía internet. Los directores de carrera poseen acceso y los profesores pueden ingresar las notas, entre otras prestaciones. La Secretaría Académica imprime las actas generadas por el sistema. Facilita además la gestión de títulos y de estadísticas. Se realizan respaldos (back-up) diarios, semanales y mensuales.



Para ingresar a las carreras de ingeniería los aspirantes deben aprobar los exámenes de ingreso de Matemática, Física, Química y Comunicación y para la Licenciatura en Administración y Sistemas, los exámenes de Matemática y Comunicación. Para apoyarlos en el cumplimiento de este requisito, el ITBA cuenta con cursos presenciales y a distancia que se adaptan a las distintas necesidades de los futuros ingresantes.

Las comisiones oscilan entre veinticinco (25) y treinta y cinco (35) alumnos, por lo que las aulas se adaptan a esta circunstancia, pero no así los laboratorios. Existen correlatividades entre diferentes materias dentro de un plan de estudios y eso hace que para cursar una materia es necesario haber aprobado su correlativa.

Relacionado con las capacidades de las aulas, el ITBA utiliza la mitad de la capacidad real de éstas por un tema de distribución de espacios. De esta manera si existe un aula con una capacidad máxima de 50 alumnos, podrán rendir examen en esa aula 25 alumnos.

Por otro lado, la semana de exámenes finales de cada cuatrimestre esta formada por dos llamadas. Estas “llamadas” son conjuntos de 5 a 8 días en los cuales se realizan los exámenes de todas las materias. Cada alumno puede presentarse a la primera llamada de las materias que está cursando, a la segunda o a las dos. Según el Informe Final de Evaluación Externa (Gustavo Adolfo Aucar, 2014):

*“Expresan **disconformidad con los horarios**, especialmente los de los primeros años, con sobreabundancia de horas libres entre clases que impiden al que lo desea, obtener un trabajo rentado. Califican como demasiado restrictiva la condición de que la práctica laboral se realice con el cuarto nivel totalmente aprobado, pues las materias del quinto nivel no sintonizan con esto y no ayudan con las exigencias que tienen.*

*La generalidad cree que deberían revisarse las **correlatividades** y el no otorgamiento de excepciones, ya que éstos alargan el cursado dos años y dificultan la posibilidad de obtener un trabajo. “*

2.2. Programación de horarios

La programación de horarios ya sea de cursos, salas, exámenes u otros, es un problema al que muchas instituciones educativas se enfrentan. En la literatura este tipo de problema es conocido como calendarización de actividades o Timetabling. En particular se dividen en dos tipos: problemas de confección de horarios de clases para cursos, llamados Course Timetabling Problems (CTTs), y los problemas de confección de horarios para evaluaciones o exámenes, conocidos como Examination Timetabling Problems (ETTPs) ((De Werra, 1985) ; (Schaerf, 1999).

Los primeros son clasificados en dos tipos de problemas: Curriculum-Based Course Timetabling Problems (CB-CTTs), que cuentan con una estimación del número de estudiantes de cada curso haciendo que los conflictos entre evaluaciones de diferentes cursos queden determinados por la malla curricular, y Post Enrollment Course Timetabling Problems (PE-CTTs), dónde los conflictos horarios son determinados directamente sobre la base de los cursos ya formados (Rudová, 2011).

Para el desarrollo del proyecto se quiere hacer uso de la bibliografía que envuelve el tema de ETTP (Examination Timetabling Problem) y que son definidos como:

“Assigning a set of exams into a limited number of timeslots (time periods) and rooms (of certain capacity), subject to a set of constraints”

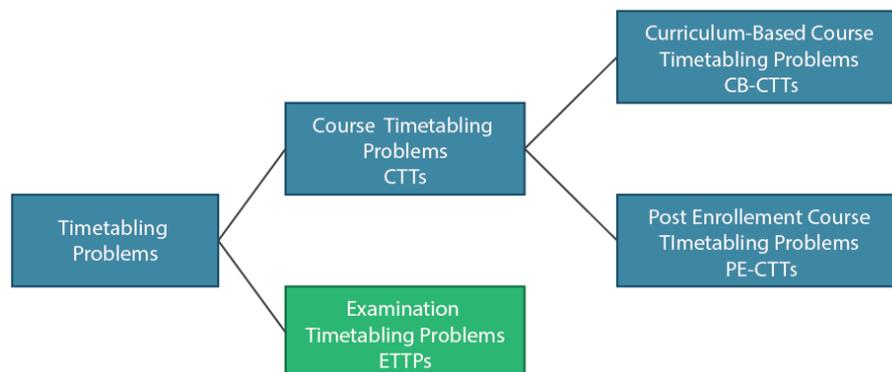


Figura 1: Tipologías de problemas de distribución de horarios

En general debe realizarse de manera que asegure no rendir evaluaciones a la misma hora, que la capacidad de las salas de clases sea respetada y que cada clase sea asignada a no más de un curso en cada periodo. También es posible definir condiciones deseables que no deben ser necesariamente satisfechas, pero que su cumplimiento mejora la calidad de la solución obtenida.

Las condiciones que se deben cumplir dependen de cada institución y pueden llevar a la construcción de modelos que busquen optimizar múltiples funciones objetivos para reducir la dificultad del problema. De esta manera se quiere comparar cuál de los métodos posibles puede ser el más idóneo para la consecución de los objetivos planteados (algoritmos genéticos, coloreo de GRAFOS, recocido simulado, Ant System, algoritmos evolutivos, Búsqueda Tabú, programación entera, ...).

3. Marco conceptual

En este apartado se presentan las diferentes metodologías que se han podido encontrar en la bibliografía consultada para la resolución de problemas de programación de horarios y evaluaciones. De esta manera podemos encontrar tanto programación entera como diferentes heurísticas y metaheurísticas.

3.1. Programación entera

Un modelo de Programación Entera es aquel cuya solución óptima toma valores restringidos a números enteros, permitiendo incorporar en el modelamiento matemático algunos aspectos que quedan fuera del alcance de los modelos de Programación Lineal. Existen múltiples aplicaciones de modelos de Programación Entera como apoyo a la toma de decisiones, problemas de localización de instalaciones, incluso de costos fijos, de asignación, problemas de ruteo vehicular, etc.

Uno de los métodos usados en la bibliografía consultada es el caso de la programación basada en mallas circulares (Alejandro C., 2013). El proceso de resolución de CB-ETTP (Curriculum Based Examination Timetabling Problems) en este caso consta de cuatro etapas:

1. Proceso y transformación de la información. Los cursos se agrupan en clusters. Para cada cluster se identifican todas las combinaciones de clases posibles en las cuales es apto realizar el examen por capacidad, y a estas combinaciones se les llama patrones de salas de clase.
2. Se resuelve un modelo de optimización que asigna bloques horarios y patrones de salas de clases a evaluaciones de cada cluster. Busca minimizar la violación de: los exámenes de primer año han de estar separados por un día, los exámenes de una misma malla curricular en el mismo día no pueden ser consecutivos y las evaluaciones de semestres consecutivos no pueden estar en el mismo bloque horario. (CB-ETTP-C).
3. Realización de la programación horaria de las evaluaciones. Determina el día, el bloque horario y el número de salas para el cluster. En este caso se busca minimizar la cantidad de cursos con asignación saturada y la cantidad de cursos con asignación saturada en bloque horario con mayor cantidad de asignación saturada. (CB-ETTP-CA).
4. Se realiza la asignación de salas de clase a cursos. Se busca reducir la distancia máxima entre las salas asignadas a cada curso. (CB-ETTP-RA).

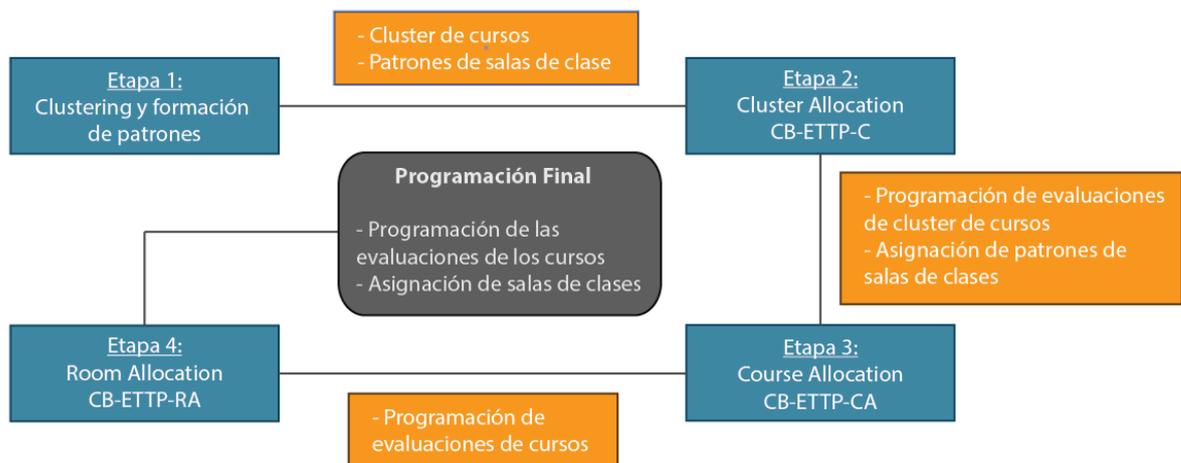


Figura 2: Etapas de la programación de evaluaciones basado en malla circular, CB-ETTP

Este enfoque permite incorporar decisiones sobre asignación de salas de clases y problemas de programación de evaluaciones para múltiples carreras simultáneamente, evita problemas de simetrías en búsquedas de soluciones mediante el uso de clusters, facilita considerablemente la resolución del CB-ETTP-C a través de patrones de salas y permite manejar la incertidumbre sobre la cantidad de estudiantes inscritos.

Los resultados computacionales de este modelo se pueden resumir en la siguiente tabla:

Instancia	Materias	Aulas	Días	Tiempo (seg)		
				CB-ETTP-C	CB-ETTP-CA	CB-ETTP-RA
Udp(2005-02)	166	33	7	373	0,06	1,91
Udp(2006-01)	172	33	7	401	0,06	1,92
Udp(2006-02)	160	33	7	398	0,07	1,96
Udp(2007-01)	177	33	7	499	0,08	2,18
Fic-9	247	28	12	9.905	0,13	-
Fic-12	232	44	10	37.060	0,13	-
Fic-5	90	24	6	414	0,02	-
Fic-10 ^a	226	38	7	2.605	0,12	-
Fic-10b	226	38	7	3.506	0,13	-

Tabla 1: Resultados computacionales de programación de evaluaciones basado en malla circular, CB-ETTP

Como podemos observar, el hecho de poder fraccionar la resolución del problema en varias fases hace que los tiempos computacionales sean mucho más reducidos y hace el programa más eficiente. En el caso más complejo (fic-12) obtenemos un tiempo de procesado de 10h, algo elevado. Pero para el resto de las instancias los tiempos oscilan entre 6 minutos y 2 horas 45 minutos.

Podemos ver otra aplicación de la Programación Entera en una investigación aplicada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, Chile (Andrés Saldaña Covo, 2007), donde se realizan dos formulaciones distintas y se generan dos enfoques de solución para cada una.

El modelo de esta investigación se basa en la minimización de la cantidad de penalidades p_{ct} que realiza la variable de decisión x_{crt} para una materia, en un aula y un horario determinado, entendiéndose por penalidad al uso de una materia en un determinado periodo lectivo.

$$\min \sum_{c \in C} \sum_{t \in TC_c} p_{ct} \sum_{r \in RC_c} x_{crt}$$

De esta manera se analiza un modelo inicial (*Timetabling, TT*), un modelo agrupando los tipos de aula para simplificar la resolución (*Timetabling con tipos de Aulas, TTA*), un modelo relajado (*Timetabling con Relajación de Restricciones, TTR*) y un modelo combinando estos dos últimos (*Timetabling con Tipos de Aulas y relajación de Restricciones, TTAR*).

La función objetivo se interpreta de manera directa y corresponde al número de asignaciones que se están realizando en periodos no deseados. Los mejores resultados se obtienen en los dos últimos modelos. Los tiempos de resolución en este estudio fueron los siguientes:

Nº	Materias	Aulas	Profesores	Tiempo (seg)			
				TT	TTA	TTR	TTAR
1	17	21	17	17,53	7,89	1,36	0,83
2	18	21	17	19,86	12,83	1,56	0,91
3	22	21	19	4,47	2,72	2,31	1,34
4	26	21	22	174,16	32,67	2,33	1,55
5	31	21	26	505,22	73,89	3,84	2,16
6	35	21	28	2.081,16	135,69	7,73	3,78
7	68	24	46	-	93,17	10,86	10,59
8	130	30	80	-	-	418,89	411,00
9	177	38	113	-	-	2.346,41	2.241,91
10	177	38	113	-	-	1.839,41	2.389,92

Tabla 2: Resultados computacionales de programación de horarios, TT

En este caso podemos corroborar el hecho de que, formando grupos de aulas de la misma manera que el problema anterior, podemos obtener tiempos mucho más reducidos. También observamos que el proceso de relajación de restricciones ayuda a encontrar una solución de manera mucho más eficaz.

3.2. Algoritmo de múltiples etapas

En este caso se hace referencia a la investigación (Gogos, 2012) en la cual implementa el método GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) en combinación con otras metaheurísticas.

El proceso consta de tres etapas:

1. Construcción de una solución factible. Se asignan exámenes que han sido movidos de sus horas de clase, se selecciona el aula minimizando el número de asientos libres que quedan y si no hay periodo disponible se substituye por un examen ya asignado y este se envía a una lista de no programados.
*Con tal de evitar ciclos, se crea una lista tabú que hace inmóvil un examen que ha sido movido en la iteración anterior.
2. Búsqueda local. Una vez obtenida una solución factible, se usa Kempe Chains para mover pares de exámenes asegurando que la solución siga siendo factible (ya que el coloreo de grafos no la asegura). Se empieza por las cadenas más largas para que el cambio sea sustancial.
3. Mejoras por periodos. Mediante programación entera se busca mejorar periodo a periodo situaciones que mejoren las penalizaciones de la primera etapa.



Figura 3: Esquema de algoritmo multi-etapa

La conclusión que podemos obtener de esta investigación es la siguiente: se puede mejorar ya que el resultado está limitado al tiempo de procesado, pero la segunda y tercera fase provocan varios problemas y generan soluciones no válidas ya que no tienen una solución global del problema y entran en conflicto con capacidades, horarios, etc.

3.3. Hiper-heurística estocástica basada en Monte Carlo

Una hiper-heurística es un método de búsqueda heurística que automatiza el proceso de seleccionar, combinar, generar o adaptar varias heurísticas más simples para resolver eficientemente problemas de búsqueda computacional. La idea es diseñar automáticamente algoritmos combinando la fuerza y compensando la debilidad de las heurísticas conocidas. El árbol de búsqueda Monte Carlo es un algoritmo de búsqueda heurística que analiza los movimientos más prometedores, y amplía basándose en un muestreo aleatorio del espacio.

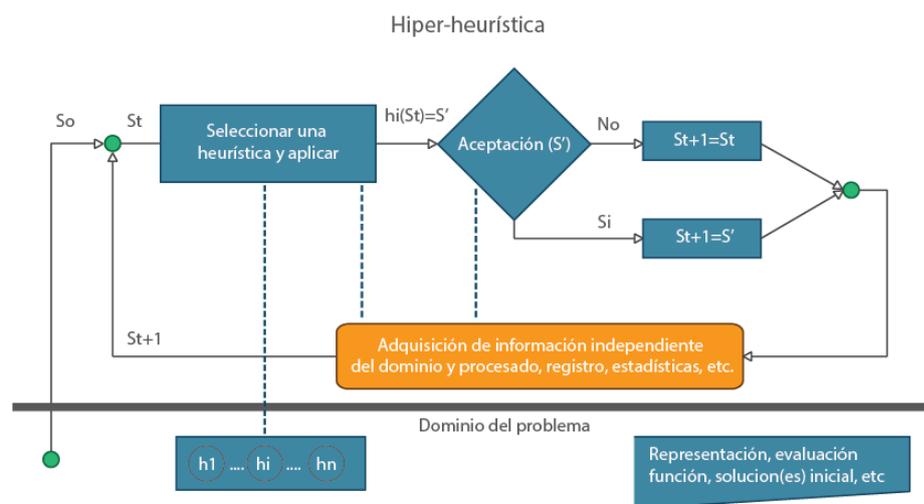


Figura 4: Esquema de aplicación de una hiper-heurística

Así, en el artículo (Burke, 2012) se compara un conjunto de hiper-heurísticas estocásticas basadas en la búsqueda Monte Carlo. Las principales heurísticas que encontramos son:

- Simple Random: la cual elige una heurística al azar.
- Greedy: testea todas las heurísticas con una misma solución candidata.
- Choice Function: mantiene un registro del desempeño de cada una de las heurísticas.

Mediante unos factores se pretende clasificar el rendimiento de cada heurística. Para la comparación se utilizan métodos como el recocido simulado estándar, el recocido simulado con recalentamiento y una Monte Carlo exponencial.

En este modelo se definen dos tipos de restricciones: de obligado cumplimiento (un alumno no puede estar en dos exámenes a la misma hora, el número de alumnos no puede superar la capacidad del aula, un estudiante no puede tener un examen después de otro) y un conjunto de restricciones suaves, llamadas preferencias. El modelo se basa en el peso de violaciones que se crean de estas restricciones buscando minimizarlas.

Del estudio podemos extraer que el método de recocido simulado muestra potencial, y más si se realiza con recalentamiento. Greedy y Simple Random son estrategias ciegas, las cuales no recibes feedback del trabajo de búsqueda mientras se desarrolla. Choice function y Learning scheme si permiten elegir la mejor heurística en un punto determinado del proceso.

4. Objetivos generales y específicos

Objetivo general: desarrollar un modelo matemático que resuelva la problemática de la distribución de aulas y horarios de exámenes finales en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires satisfaciendo las restricciones como: los horarios lectivos, las preferencias de los docentes y las correlaciones entre materias, entre otras.

Objetivos específicos:

- Establecer los factores relevantes relacionado con la distribución de exámenes de la facultad.
- Establecer el conjunto de restricciones que definen la mejor solución para el problema.
- Formular el modelo que satisfaga el planteamiento de las restricciones, basado en una comparativa entre diferentes metodologías.
- Evaluar el modelo desarrollado en un caso de estudio para analizar su efectividad en los resultados obtenidos.

5. Metodología de desarrollo

Basado en los resultados observables de la bibliografía consultado, podemos observar que el uso de programación entera entra en juego en la mayoría de los casos. Es por eso por lo que se decide atacar el problema mediante el desarrollo de un modelo de programación entera para la resolución de la distribución cumpliendo con las restricciones de aulas, horarios y días junto con las correlaciones entre las diferentes materias. Una vez obtenida la solución se decidirá si el programa puede llegar a una solución factible cumpliendo también las restricciones débiles o si hará falta alguna heurística vista para contemplarlas.

El modelo matemático estará formado por una serie de restricciones, las cuales tendrán que cumplirse obligatoriamente, y un conjunto de penalidades que intentará minimizar en la medida de lo posible pudiendo no cumplirlas en su totalidad.

5.1. Recolección de datos

Los datos y archivos de los que se ha tenido acceso son:

- Lista de cursos del primer cuatrimestre de 2018
- Listado de aulas con sus capacidades
- Listado de inscriptos para cada curso
- Correlatividades entre las diferentes materias

5.2. Software usado

Para el tratamiento de datos se usa el programa Microsoft Excel 2010 junto con el paquete de programador VBA, mientras que para la definición del modelo de programación entera y la simulación de los diferentes escenarios se usa el software IBM CPLEX Studio IDE versión 12.8.



Este software utiliza la tecnología de optimización de decisiones para ayudar a mejorar las decisiones empresariales, desarrollar e implementar modelos de optimización rápidamente y crear aplicaciones en el mundo real. Combina un entorno de desarrollo integrado y completamente funcional que soporta Optimization Programming Language (OPL) y los solucionadores CPLEX y CP Optimizer de alto rendimiento.

Todas las instancias fueron resueltas en un computador con sistema operativo Windows 7 de 64 bits con un procesador i3 de 2.0GHz y 4Gb de RAM. Para el modelo final las características del computador utilizado fueron de un procesador i7 a 2.8GHz y 12Gb de memoria RAM.

5.3. Modelo teórico inicial

Con las investigaciones anteriormente planteadas, se decide crear un modelo de programación entera con unas restricciones básicas y complementarias, junto con un grupo de penalidades que acotarán la solución y se buscará minimizarlas.

A continuación, se muestra el desarrollo del primer modelo matemático que se planteó.

Conjuntos

M	Conjunto de materias
T	Conjunto de bloques horarios
D	Conjunto de días
A	Conjunto de aulas disponibles

Índices

m, n	Materia $m, n \in M$
t, l	Bloque horario $t, l \in T$ (1 hora, los exámenes serán de 2 o 3 bloques)
d	Día $d \in D$
a	Aula $a \in A$

Parámetros

C_a	Capacidad efectiva de cada aula
I_m	Alumnos inscritos en la materia m
H_m	Duración de la materia m (2-3h)
P_{mtd}	Penalidad de la materia m en el bloque t y el día d (0 horario de clase, 1 el resto). Este parámetro se crea para respetar el horario de clase original.
Z_{mn}	Correlación entre la materia m y la materia n (1 si la materia m es un requerimiento de la materia n)

Variables

X_{mtda} Hora y día del examen de la materia m

Función objetivo

$$\min \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} P_{mtda} \cdot X_{mtda}$$

Restricciones

$$\sum_{a \in A} \sum_{t \in T} X_{mtda} \leq H_m \quad m \in M, d \in D \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{a \in A} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{mtda}}{H_m} = 1 \quad m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} X_{mtda} \leq 1 \quad a \in A, t \in T, d \in D \quad (3)$$

$$Z_{mn} \cdot (\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} X_{mtda} + \sum_{a_1 \in A} \sum_{t_1 \in T} \sum_{d_1 \in 1..d+1} X_{nt_1 d_1 a_1}) \quad m \in M, n \in M, n \neq m, d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{a \in A} C_a \cdot X_{mtda} \geq I_m \quad m \in M, t \in T, d \in D \quad (5)$$

$$X_{mtda} \in \{0,1\} \quad m \in M, a \in A, t \in T, d \in D \quad (6)$$

El bloque de restricciones (1) asegura que cada materia esté asignada a la cantidad de bloques horarios que tenga su duración de clase en un solo día. La (2) asegura que las asignaciones del día y bloques elegidos serán como mucho de la duración de la clase, (3) cada aula tendrá asignado como máximo una materia, (4) dos materias correlativas no tendrán el examen el mismo día ni tampoco el día siguiente. La (6) asegura que las capacidades de las aulas serán superiores al número de inscritos en cada materia.

6. Desarrollo/Parte experimental

En este punto se resume todo el desarrollo del programa junto con los resultados obtenidos y las dificultades/cambios que se han ido realizando.

6.1. Modelos anteriores

El principal tema de preocupación ha sido la gran cantidad de variables que implica el problema, teniendo en cuenta que son necesarias variables auxiliares dentro del modelo, junto con la complejidad de lectura de datos desde el documento de Excel. Se replanteó el modelo utilizando tres tipos de variables de decisión X_{mt} , Y_{md} , Z_{ma} pero resultó ser más complicado a la hora de relacionarlas entre ellas mediante nuevas restricciones y se desestimó la opción.

Mediante el aprendizaje autónomo del software se fueron replanteando algunos conceptos y metodologías para la definición de las constantes, variables y las relaciones entre ellas.

La estrategia en esta etapa se basa en encontrar una solución factible con un número de variables pequeño, es decir, con pocas aulas (10) y asignaturas (10). De esta manera se buscó el correcto funcionamiento del modelo junto con un código simple y resolutivo que llegase a la opción óptima de manera rápida.

Se planteó la eliminación de la penalidad P_{mtda} definida como una constante, por un conjunto de restricciones y nuevas variables $xdia_{md}$, $xhora_{md}$, p_m para que el modelo pudiese minimizarlas.

$$p_m \geq |DO_{md} - xdia_{md}| \quad m \in M, d \in D$$

$$p_m \geq |xdia_{md} - DO_{md}| \quad m \in M, d \in D$$

$$p_m \geq |HO_{md} - xhora_{md}| \quad m \in M, d \in D$$

$$p_m \geq |xhora_{md} - HO_{md}| \quad m \in M, d \in D$$

Basándonos en los resultados lo único que se pudo concluir de este cambio fue el aumento de tiempo a la hora de encontrar el resultado óptimo, haciendo más pesada la tarea de procesado.

Posteriormente se estudió la manera de que el programa pudiese leer esa matriz de 4 dimensiones desde una hoja de Excel. De ese modo, mediante un código script el programa podría traducir esa lectura en una nueva constante binaria [0,1] la cual formaría parte de la función objetivo.

Otra restricción que tuvo gran importancia en el desarrollo del modelo fue la relacionada con las correlatividades entre asignaturas. De alguna manera el modelo tenía que respetar las 48h

de diferencia entre una materia y otra si éstas eran correlativas entre sí, satisfaciendo el poder realizar los dos exámenes en la misma llamada. Realizando pruebas con 5 y 8 días para cada llamada aparecieron errores de imposibilidad en las restricciones, mostrando así que la correlatividad no se podía cumplir para todas las materias en una sola llamada.

En el Anexo 1 se pueden ver algunos de los errores y pruebas que se fueron realizando cada vez que se realizaron cambios, llegando alguna a 14h de procesado del modelo sin obtener una solución factible.

6.2. Modelo final

Tras los diferentes cambios realizados en la primera etapa y observando los resultados obtenidos, se decide implicar a la totalidad de los datos teniendo así un conjunto de 43 aulas, 277 materias y 10.816 alumnos inscritos. Tras varias simulaciones del modelo, se reescribió parte del código hasta que se obtuvo una solución factible que respetase las restricciones definidas.

El modelo de programación entera para la distribución de aulas y horarios de los exámenes finales se presenta a continuación:

Conjuntos

M	Conjunto de materias
T	Conjunto de bloques horarios
D	Conjunto de días
A	Conjunto de aulas disponibles

Índices

m, n	Materia $m, n \in M$
t	Bloque horario $t \in T$ (3h cada uno)
d, d'	Día $d \in D$
a	Aula $a \in A$

Parámetros

$Capacidad_a$	Capacidad efectiva de cada aula
$Inscritos_m$	Alumnos inscritos en la materia m
$Horarios_{mtd}$	Horarios de la materia m en el bloque t y el día d (1 horario clase). Este parámetro se crea para respetar el horario de clase original.
$Correlatividad_{mn}$	Correlación entre la materia m y la materia n (1 si la materia m es un requerimiento de la materia n)
$Cuatrimestre_{mn}$	Relación entre la materia m y la materia n (1 forman parte del mismo cuatri y carrera, 0 no)

Variables

X_{mtda}	Toma valor 1 si el examen de la materia m se realiza en el bloque t el día d en el aula a
Y_{mtd}	El examen de la materia m se realiza en el bloque t el día d (auxiliar)
$viol_m$	La materia m no puede satisfacer la correlatividad con alguna otra materia
$violpred_m$	El examen de la materia m está comprendido en los dos últimos días de la llamada, incumpliendo la correlatividad de cualquier otra.

Función Objetivo

La función objetivo está compuesta por cuatro términos y busca maximizar su valor total.

1. En el primer término encontramos la relación de la variable de decisión (asignación de examen) con la de horarios original. De esta manera se quiere enfatizar la coincidencia entre horarios lectivos y horarios de exámenes, evitando posibles incompatibilidades por parte de los alumnos y profesores.
2. En el segundo término aparece de manera indirecta el número de aulas que una materia puede usar para su examen. Ya que existe una restricción que asegura que cada materia tenga su examen en un bloque y día determinado, el modelo busca minimizar la cantidad de aulas que se usan.
3. En el tercer y cuarto término la función busca minimizar las violaciones, tanto por materias que no respetan la correlatividad en sus horarios como materias correlativas que se realizan los últimos días de la llamada y, por tanto, tampoco posibilitan examinarse de sus correlativas en la misma llamada.

$$\begin{aligned} \max \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \text{Horarios}_{mtd} \cdot \sum_{a \in A} X_{mtda} - 2 \cdot \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} X_{mtda} \\ - 2 \cdot \sum_{m \in M} viol_m - \sum_{m \in M} violpred_m \end{aligned}$$

Restricciones

- (1) Debido a la existencia de una variable auxiliar, la variable de decisión X_{mtda} ha de coincidir con la elección de la variable auxiliar Y_{mtd} :

$$\begin{aligned} X_{mtda} \leq Y_{mtd} \\ m \in M, t \in T, d \in D, a \in A \end{aligned}$$

- (2) Los bloques para realizar exámenes son cada 3h, empezando a las 8am y terminando a las 8pm. La materia m debe ser asignada solamente a un bloque t y un día d determinado:

$$\sum_{t \in T} \sum_{d \in D} Y_{mtd} = 1$$

$$m \in M$$

- (3) Cada aula solo puede contener una sola materia para cada bloque horario. Así, el aula a debe ser ocupada por una sola materia m en un bloque t determinado:

$$\sum_{a \in A} X_{mtda} = 1$$

$$m \in M, t \in T, d \in D$$

- (4) Las capacidades de las aulas en periodos de exámenes son restringidas a la mitad de lo habitual por un tema de espacios. Este factor ya se tiene en cuenta a la hora de importar los archivos al modelo, pero se asegura que las capacidades efectivas de las aulas asignadas a la materia m ha de superar al número de inscritos de ésta:

$$\sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} Capacidad_a \cdot X_{mtda} \geq Inscritos_m$$

$$m \in M$$

- (5) Si existe correlatividad entre la materia m y n , el examen de la materia m deberá estar a partir del segundo día posterior al de la materia n . En caso contrario existirá violación por esa materia:

$$\sum_{t \in T} Y_{ntd} + \sum_{d' \in 1..d+1} \sum_{t \in T} Y_{mtd'} \leq 1 + viol_m$$

$$d \in D - 2, m \in M, n \in M, correlatividad_{mn} = 1$$

- (6) Si la materia n es correlativa a otra y ésta es precedente, no deberá estar en los últimos dos días de la llamada ya que imposibilitaría a presentarse a sus materias correlativas. Si esto ocurriese, existiría una violación por la materia n :

$$\sum_{t \in T} Y_{ntd} \leq violpred_n$$

$$D - 1 < d < D, n \in M, correlatividad_{mn} = 1$$

- (7) No se puede asignar dos materias m y n que se imparten en el mismo cuatrimestre de la misma carrera a un mismo bloque y día:

$$Y_{mtd} + Y_{ntd} \leq 1$$

$$m \in M, n \in M, m \neq n, t \in T, d \in D, cuatrismn = 1$$

- (8) Se definen las variables binarias como tales:

$$X_{mtda}, Y_{mtd}, violpred_m \in \{0,1\}$$

$$m \in M, t \in T, d \in D, a \in A$$

6.3. Código del modelo

A continuación, se presenta el código escrito en el software CPLEX Studio 12.8 usando un lenguaje OPL. Para la creación de un modelo existen varios tipos de archivos, pero lo esencial es crear un proyecto y una configuración para correr el modelo.

6.3.1. Archivo .mod

En el archivo .mod encontramos la definición de los diferentes elementos que se van a utilizar junto con el código del programa y las restricciones. También se pueden encontrar pre-procesos, procesos centrales y post-procesos en forma de scripts que ayudan de manera auxiliar al programa.

En una primera fase se presentan los conjuntos que se van a usar junto con los parámetros:

```
//sets
{string} materia =...;
{string} aula =...;
{string} bloque =...;
int ndia=8;
range dia = 1..ndia;
range sem = 1..5;
{string} num=...;
string t="";
```

```
//parameters
int capacidad[aula]=...;
int inscritos[materia]=...;
int correlatividad[materia][materia]=...;
int cuatris [materia][materia]=...;
int pen[materia][bloque][dia];

tuple penalidadType {
    string tmateria;
    string tbloque;
    string tdia;
}

penalidadType horarios[num]= ...;
```

Para el proceso de creación de la matriz de 4 dimensiones $Horarios_{mtd}$ se usa un pre-proceso que analiza fila por fila el Excel que contiene los datos de horarios originales y va convirtiendo en 1 los valores de la matriz que coinciden con la materia, el bloque y el día que se imparte.

```
execute INITIALIZE{
    for (var n in num){
        for (var m in materia){
            if (horarios[n].tmateria == m){
                for (var t in bloque){
                    if (horarios[n].tbloque == t){
                        for (var d in sem){
                            if (horarios[n].tdia == d){
                                pen[m][t][d] = 1;
                                if (d<=(ndia-5) && ndia>=6) pen[m][t][d+5] = 1;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
};
```

Una vez preparados los datos para el modelo, se define la variable de decisión y las auxiliares necesarias para el correcto funcionamiento del programa. A continuación se define si se quiere maximizar o minimizar la función objetivo y se presentan las diferentes restricciones:

```
//variables
dvar boolean xdiahora[materia][bloque][dia];
dvar boolean x[materia][aula][bloque][dia];
dvar int+ viol[materia];
dvar boolean violpred[materia];
dvar float objfunc;

// obj function
maximize objfunc;

subject to {
    objfunc == sum(m in materia, t in bloque, d in dia, a in aula) x[m][a][t][d]*pen[m][t][d]
    -sum(m in materia, t in bloque, d in dia, a in aula) 2*x[m][a][t][d]
    - sum(m in materia) 2*viol[m] - sum(m in materia) violpred[m];

    //la variable de decisión ha de coincidir con la elección del día
    forall(m in materia, d in dia, a in aula, t in bloque)
        ctAssunDiaHora: x[m][a][t][d] <= xdiahora[m][t][d];

    //la materia m debe ser asignada en un solo dia
    forall(m in materia)
        ctAssunaHora: sum(t in bloque, d in dia)xdiahora[m][t][d] == 1;

    //el aula a debe ser utilizada maximo por una materia
    forall (a in aula, t in bloque, d in dia)
        ctAssunAula: sum(m in materia)x[m][a][t][d] <= 1;

    //la capacidad de las aulas asignadas a la materia m han de sobrepasar la cantidad de inscritos
    forall (m in materia)
        ctCapacidad: sum (a in aula, t in bloque, d in dia) capacidad[a] * x[m][a][t][d] >= inscritos[m];
```

```

//las materias correlativas estarán separadas 48h (penalidad, no restriccion)
forall (m in materia, n in materia: correlatividad[m][n] == 1){
  ctCorrelatividad:
  forall(d in 1..ndia-2)
    sum(t in bloque) xdiahora[n][t][d] + sum(t in bloque, d2 in 1..d+1) xdiahora[m][t][d2] <= 1 + viol[m];
  forall(d in ndia-1..ndia)
    sum(t in bloque) xdiahora[n][t][d] <= violpred[n];}
//dos materias de un mismo cuatrimestre y carrera no puedes estar a la misma hora y dia
forall (m in materia, n in materia: m!=n,d in dia,t in bloque)
  ctCuatrimestres:
  if (cuatris[m][n] ==1)
    xdiahora[n][t][d]+xdiahora[m][t][d]<=1;
}

```

Por último, se define un post-proceso que permitirá la extracción del resultado a la hoja de Excel antes usada para la lectura de datos.

```

tuple Asignacion {
  string materia;
  string aula;
  string bloque;
  int dia;
};

{Asignacion} resultado = {
  <m,a,t,d>
  | m in materia, a in aula, t in bloque, d in dia : (x[m][a][t][d] ==1)
};

execute POST_PROCESSING{
  resultado;
  var numx=0;
  for(var x in resultado)
    numx=numx+1;
  t=("Resultados!A1:D"+numx);
}

```

6.3.2. Archivo .dat

El archivo .dat nos define cuales son los datos que definen a los conjuntos y parámetros. Estos datos pueden ser definidos directamente en el programa o creando enlaces con otro tipo de archivo, en nuestro caso Excel.

```

SheetConnection mi_hoja ("basededatos.xlsx");

bloque = {"8am","11am","2pm","5pm","8pm"};

materia from SheetRead(mi_hoja,"materias");
aula from SheetRead(mi_hoja,"aulas");
capacidad from SheetRead(mi_hoja,"capacidades");
inscritos from SheetRead(mi_hoja,"inscritos");
correlatividad from SheetRead(mi_hoja,"correlacion");
cuatris from SheetRead(mi_hoja,"cuatris");
num from SheetRead(mi_hoja,"num");
horarios from SheetRead(mi_hoja,"horarios");

resultado to SheetWrite(mi_hoja,t);

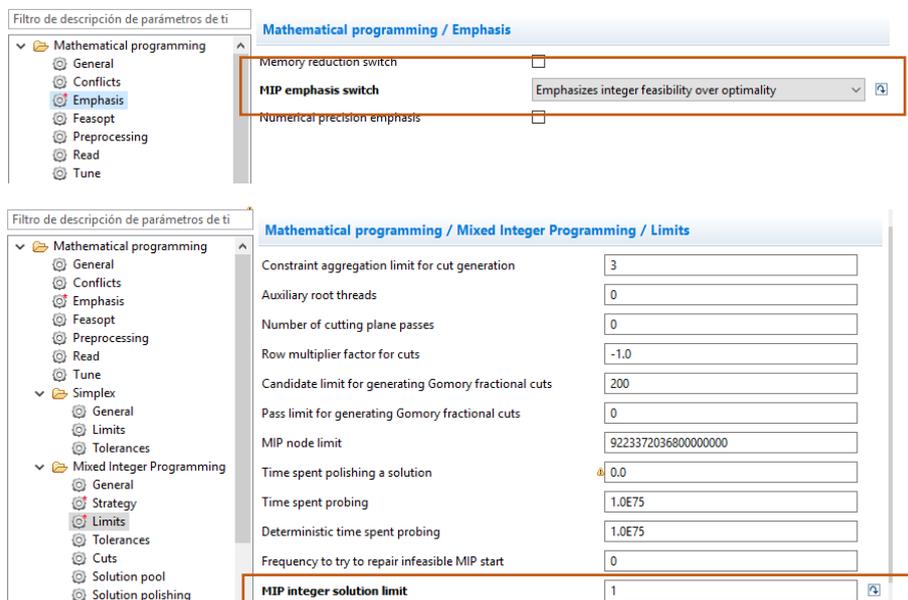
```

En este caso la gran mayoría de datos vienen definidos a partir del archivo Excel con la idea de que el programa se pueda adaptar a cambios de

6.3.3. Archivo .ops

Este tipo de archivo nos proporciona una gran cantidad de opciones para definir de qué manera queremos que se desarrolle el proceso de optimización y la simulación en sí. Para encontrar una solución en un tiempo razonable, se ajustó la cantidad de soluciones factibles que el programa encontraba.

Como se ha explicado antes, el modelo intenta maximizar las coincidencias y minimizar las violaciones de correlatividades y número de aulas usadas. Así que podemos considerar buena una solución factible que cumpla con las restricciones del programa. Con una computadora potente y según el tiempo disponible para realizar la optimización, el valor de soluciones factibles puede verse incrementado para encontrar mejores y óptimas.



6.4. Macro de Excel

Con el objetivo de facilitar el tratamiento de datos, se decidió crear una macro en Excel que automatizase el proceso de preparación para la correcta lectura en CPLEX Studio. Esta macro se encarga de crear las matrices de inscritos, capacidades, correlatividades y cuatris transformando los datos base que puede insertar cualquier personal habilitado de la universidad para que el programa de optimización pueda leerlo correctamente. En el anexo 2 podemos encontrar un manual que se ha creado para realizar los pasos correctamente.

7. Conclusiones

En este trabajo se ha buscado una única solución factible, es decir, el programa devuelve la primera distribución factible que cumple con las restricciones impuestas maximizando la función. Eso quiere decir que no es el óptimo general, pero es aceptada por una cuestión de tiempo disponible para procesarla. La solución factible en este modelo se obtuvo en un tiempo de procesado de 1:34h.

Viendo los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones, se pudo ver que era imposible satisfacer todas las correlatividades en una sola llamada. Por ello fue necesario crear las variables auxiliares viol y violpred con tal de poder encontrar soluciones factibles.

En base a lo visto a lo largo del trabajo se puede afirmar que el modelo funciona correctamente (ver anexo 3) y que lo hace en un tiempo relativamente bajo. Teniendo en cuenta la gran cantidad de variables y constantes que forman el modelo, el principal miedo en el desarrollo fue el tiempo de computación necesario para encontrar la solución óptima. Reduciendo las variables auxiliares se pudo simplificar el tamaño y con ello el tiempo de resolución.

Otro aporte importante fue el cambio de variable a constante la matriz de horarios. De esta manera el programa realiza en un solo proceso la transformación y creación del parámetro horarios y aligera mucho el proceso de iteración para la búsqueda de un óptimo o solución factible.

Por otra parte, cabe destacar que el programa puede verse modificado por una segunda etapa de desarrollo, que aporte nuevas restricciones que lo hagan más completo. La opción de poder tener preferencias a la hora de elegir un aula para las diferentes materias o limitar el número de aulas que puede usar un examen son nuevas aportaciones que se pueden realizar al modelo y que aportarían a una mejor solución.

A nivel personal estoy muy satisfecho con el trabajo realizado teniendo en cuenta que no tenía conocimientos previos en el software usado. En todo el trabajo ha estado presente el autoaprendizaje para poder superar las diferentes dificultades que se han ido presentando y el apoyo y trabajo en equipo con un docente de una universidad como es el ITBA ha sido de gran ayuda.

He podido adentrarme en el mundo de la optimización de manera directa en este proyecto y eso me ha hecho comprender muchos de los conceptos que había adquirido en la universidad. Gran parte de los conocimientos aprendidos en este trabajo me van a servir de base para nuevos proyectos que tenga en mi carrera profesional.

8. Bibliografía

- Abdullah, S. A. (2007). *A Tabu based large neighbourhood search methodology for the capacited Examination Timetabling Problem*. Journal of Operational Research, 58:1494–1502.
- Alejandro C., J.-C. F. (2013). *Enfoque de Programación Entera para la Programación de Evaluaciones basada en Malla Curricular*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Al-Yakoob, A. S.-J. (2010). *A mixed-integer mathematical modeling approach to Exam Timetabling*. . Computer Management Science, 7:19–46.
- Andrés Saldaña Covo, C. O. (2007). *Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para universidades*. Revista chilena de ingeniería, vol.15 N°3.
- Burke, E. K. (2012). *Monte Carlo hyper-heuristics for Examination Timetabling*. Annals of Operational Research, 2012:73–90.
- Carter, M. L. (1996). *Examination Timetabling: Algorithmic strategies and applications*. Journal of Operational Research Society, 47(3):373–383. .
- De Werra, D. (1985). *An Introduction to Timetabling*. European Journal of Operational Research, 19:151-162.
- Gogos, G. A. (2012). *An improved multi-staged algorithmic process for the solution of the Examination Timetabling Problem*. Annals of Operational Research, 194:203–221. .
- Gustavo Adolfo Aucar, J. B. (2014). *Informe Final de Evaluación Externa de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria*. Buenos Aires .
- Pais, T. a. (2012). *Managing the Tabu list length using a fuzzy inference system: An application to Examination Timetabling*. Annals of Operational Research, 194:341–363.
- Rudová, H. M. (2011). *Complex University Course Timetabling*. Journal of Scheduling, 14:187-207.
- Schaerf, A. (1999). *A survey of automated timetabling*. Artificial Intelligence Review, 13(2):87-127.

Anexos

Anexo 1

Resultados del Modelo2:

Materias	Aulas	Constantes	Variables	Iteraciones	Tiempo
10	10	3.930	1.860	281	1,36
49	43	107.652	53.214	43.809	218,66
100*	43	218.785	108.600	751.182	5.450,25
100 (solo penalidad hora)	43	217.785	108.600	617.276	8.334,59
279 (solo penalidad hora)	43	602.829	301.908	125.501	815,91
279					78.550

*(error de memoria RAM 4gb)

Resultados del Modelo AD:

5 días	Sin correlatividad	1:41h	Correcto
8 días	Sin correlatividad	3:06h	Correcto
8 días	Correlatividad	18h (sin terminar)	No solución

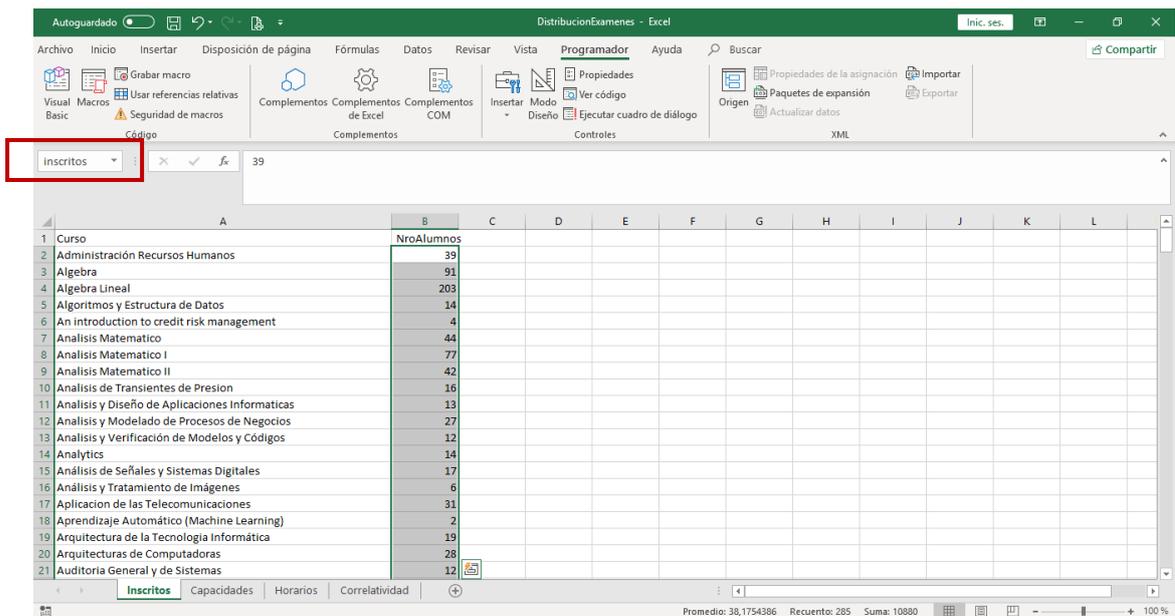
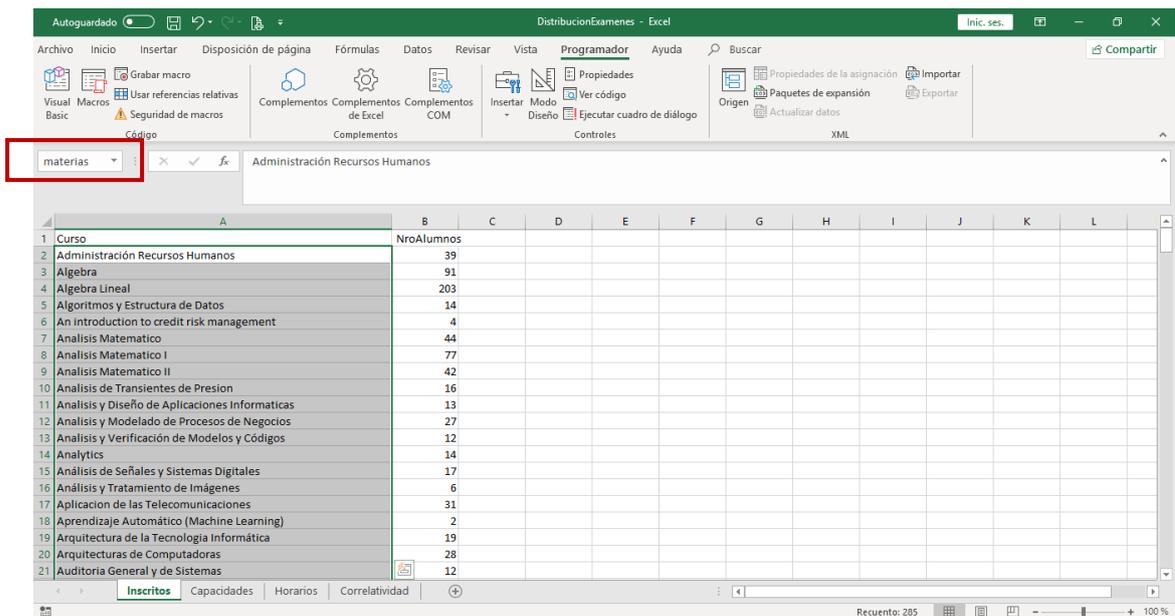
Resultados del ModeloADpc:

5 días		7:45h	Out of memory
7 días		9:38h	No aparece nada en ningún lado
Modificación de código			
7 días	Sin correlatividad	1:30h	Correcto
8 días		10:57h	No avanza a partir de la iteración 182.198
5 días		13:20h	<pre> 0 0 -297,0000 19638 Cuts: 50 199317 0 0 -297,0000 16454 Cuts: 19 276458 0 0 -297,0000 16611 Cuts: 102 279859 0 0 -297,0000 4366 MIRcuts: 1 279898 0 0 -297,0000 8070 Cuts: 80 299743 Heuristic still looking. Heuristic still looking. Heuristic still looking.</pre>

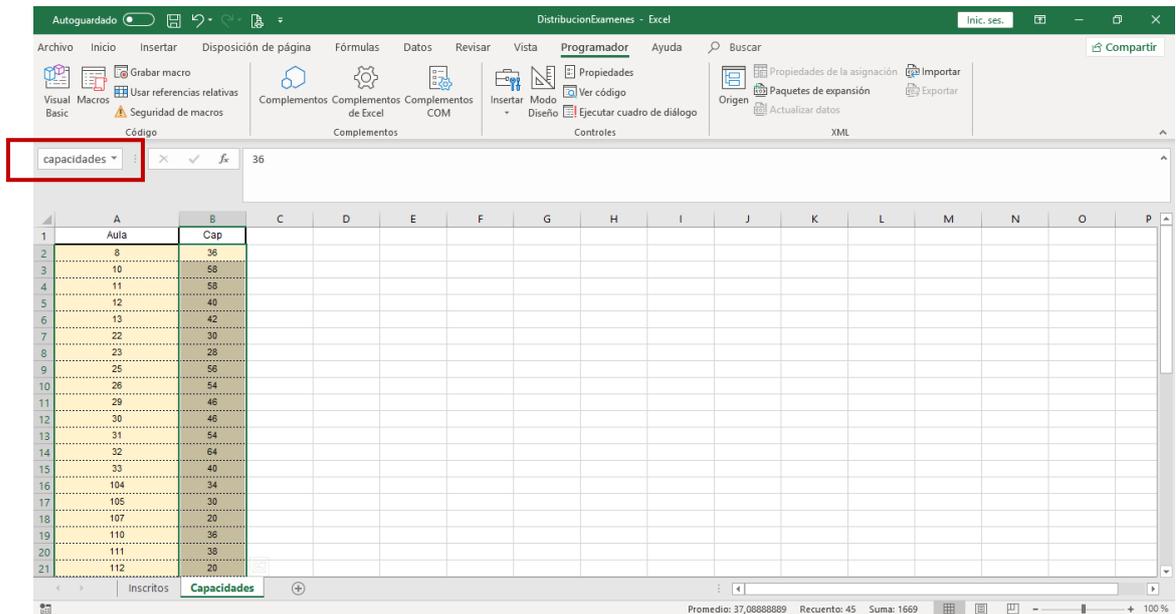
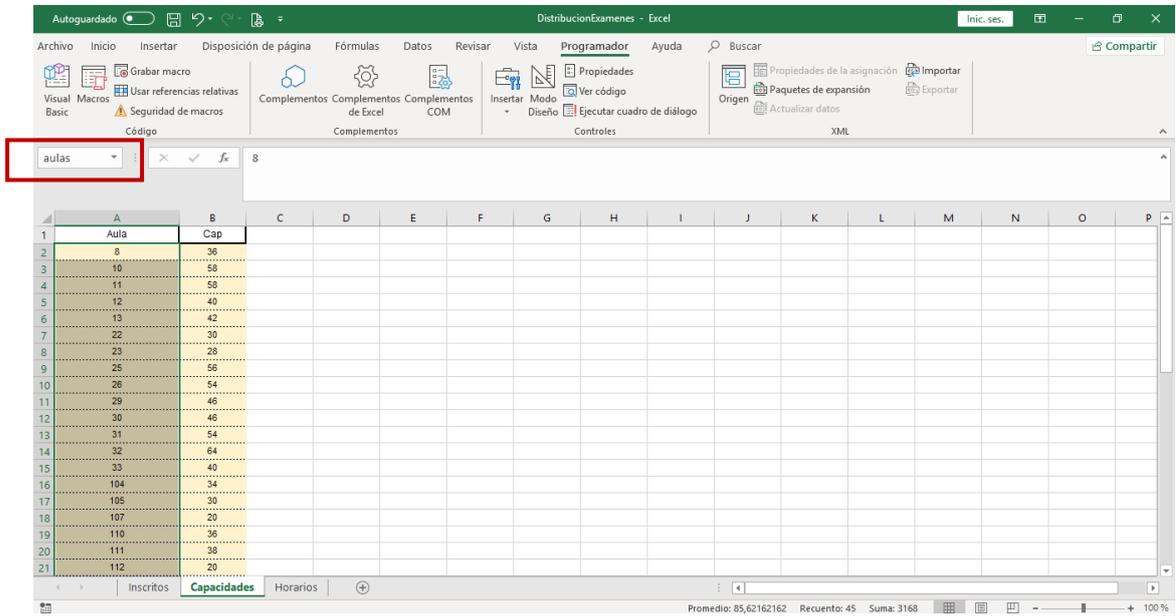
Anexo 2

Abrimos el documento Excel llamado Plantilla_Distribucion_Examenes.

- 1) En la pestaña Inscritos insertamos los cursos por orden alfabético y el número de inscritos de cada uno. Seleccionamos las materias y nombramos al grupo "materias". Realizamos lo mismo con el número de inscritos y nombramos al grupo de celdas como "inscritos":



2) En la segunda pestaña Capacidades insertamos las aulas junto con las capacidades de cada una y nombramos al grupo "aulas" y al número de alumnos que caben "capacidades":



3) En la pestaña de Horarios insertamos cada una de las clases y comisiones que se imparten; mostrando el día, la hora de inicio y la materia. Es necesario que en los títulos de la tabla aparezcan los nombres “Día”, “Inicio” y “Materia”.

Día	Inicio	Fin	Código	Materia	Comisión	Cupo	Inscriptos	#NOMBRE?	Día	Aula
Lunes	18:30	21:30	DGIC.03	Proyecto Final Integrador	A	0	11	DGIC.03		
Miércoles	18:30	21:30	DGIC.03	Proyecto Final Integrador	A	0	11	DGIC.03		
Lunes	18:30	22:00	ECA.01	Ecommerce Avanzado Módulo Único (Anual)	ECA2017 1ª Edición	0	0	ECA.01		
Lunes	18:30	22:00	ECA.02	Ecommerce Avanzado Trabajo Final (Anual)	ECA2017 1ª Edición	0	0	ECA.02		
Viernes	19:00	22:00	72.45	Proyecto Final (Anual)	S	0	7	72.45		Lab. IN
Lunes	18:30	21:30	DDP.001	Diplomatura en Dirección de Proyectos (Anual)	2da edición	0	27	DDP.001		
Martes	19:00	22:00	22.31	Diseño de Equipos Electronicos (Anual)	K	0	2	22.31		114 ET
Miércoles	16:00	19:00	93.38	Matematica V	M	0	20	93.38		
Lunes	8:00	11:00	93.59	Matematica Discreta	S1	20	17	93.59		
Jueves	8:00	11:00	93.59	Matematica Discreta	S1	20	17	93.59		
Lunes	8:00	11:00	93.59	Matematica Discreta	S2	20	20	93.59		
Jueves	8:00	11:00	93.59	Matematica Discreta	S2	20	20	93.59		
Lunes	11:00	13:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE1	35	48	93.24		
Martes	11:00	13:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE1	35	48	93.24		
Jueves	10:00	12:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE1	35	48	93.24		
Lunes	11:00	13:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE2	35	41	93.24		
Martes	11:00	13:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE2	35	41	93.24		
Jueves	10:00	12:00	93.24	Probabil.y Estadística(k/s)	SKE2	35	41	93.24		
Jueves	13:00	16:00	93.66	Métodos Numéricos (M)	M	0	44	93.66		Lab. A
Lunes	14:00	16:00	93.20	Analisis Matematico	A	0	44	93.20		

*Asegurarse que las horas están en formato correcto. De esta manera la Macro no lo identificaría:

1061	Lunes	30/12/1899 8:00:00	30/12/1899 2:00:00	14.83	Framing: How Politicians Debate	A	0	3			sin ai
1062	Lunes	30/12/1899 8:00:00	30/12/1899 2:00:00	14.85	The Next Generation of Infrastructure	A	0	0			sin at
1063	Jueves	30/12/1899 11:00:00	30/12/1899 1:00:00	30.07	Elementos Finitos I	M	1	10			Labo

4) Por último, en la pestaña Correlatividad insertamos los datos del Plan, Año, Cuatrimestre, Materia y las materias correlativas a esta. Es necesario que en los títulos de la tabla aparezcan esos nombres.

PLAN	AÑO	CUATRIMESTRE	COD	MATERIA	CREDITOS	CRED. REQUERIDOS	PR	DIFICUL Plan	P1	P2	P3	Tipo
L-12	ε	2	44.46	Calificación Temáticas sobre Computación	1	150	0	L-13 L-13				SAT
K12	ε	2	23.05	Acústica para ingenieros	3	0	2	K12 K12	93.57	93.43		Electivas
Bio-13	ε	2	94.27	Administración Recursos Humanos	3	144	0	Bio-13 Bio-13				Electivas
L-13	ε	2	94.27	Administración Recursos Humanos	3	0	0	L-13 L-13				Electivas
Q-12	ε	2	94.27	Administración Recursos Humanos	3	0	0	Q-12 Q-12				Electivas
L-13	ε	2	14.10	Adopción y Uso de Innovaciones	1	150	0	L-13 L-13				SAT
L-13	ε	2	14.28	Agonegocios	1	150	0	L-13 L-13				SAT
M17_Marzo	ε	2	31.73	Aire Acondicionado y Refrigeración	6	0	2	M17_Ma M17_Marzo	31.21	31.37		Electivas
S10	1	1	93.58	Algebra	6	0	0	S10 S10				Obligatoria
L-13	1	1	93.21	Algebra	6	0	0	L-13 L-13				Obligatoria
Bio-13	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	Bio-13 Bio-13				Obligatoria
E-11	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	E-11 E-11				Obligatoria
K12	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	K12 K12				Obligatoria
P-13	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	P-13 P-13				Obligatoria
L-13	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	L-13 L-13				Obligatoria
M17_Marzo	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	M17_Ma M17_Marzo				Obligatoria
N13_marzo	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	N13_ma N13_marzo				Obligatoria
Q-12	1	1	93.18	Algebra Lineal	6	0	0	Q-12 Q-12				Obligatoria

Una vez insertados todos los datos presionamos Calcular Datos de la pestaña Cálculo. Se crearán las matrices de correlación y de cuatrimestres en nuevas pestañas junto con un listado de horarios de clase. Este proceso puede tardar varios minutos (alrededor de 20min) ya que es un proceso iterativo de búsquedas en matrices con gran cantidad de datos.

Una vez terminado el proceso de la Macro, se guardará el documento con un nombre de archivo "basededatos" y se guardará en el directorio local donde esté el resto de los documentos de CPLEX.

C:\Users\Usuario\opl\.....

*Es importante mantener la distribución de las columnas en cada una de las hojas Excel de la Plantilla, respetando tal y como se muestran en las diferentes imágenes.

Anexo 3

Materia	Aula	Bloque	Día
Administracion Recursos Humanos	122	2pm	4
Algebra	Lab. C	8am	2
Algebra	11	8am	2
Algebra	29	8am	2
Algebra	30	8am	2
Algebra Lineal	10	8am	8
Algebra Lineal	11	8am	8
Algebra Lineal	21	8am	8
Algebra Lineal	25	8am	8
Algebra Lineal	26	8am	8
Algebra Lineal	31	8am	8
Algebra Lineal	32	8am	8
Algebra Lineal	133	8am	8
Algoritmos y Estructura de Datos	104	11am	5
An introduction to credit risk management	107	11am	3
Analisis Matematico	122	11am	1
Analisis Matematico I	Lab. A	8am	3
Analisis Matematico I	Lab. C	8am	3
Analisis Matematico I	13	8am	3
Analisis Matematico I	22	8am	3
Analisis Matematico II	122	11am	6
Analisis de Transientes de Presion	Laboratorio 9	2pm	6
Analisis y Diseno de Aplicaciones Informaticas	132	5pm	2
Analisis y Modelado de Procesos de Negocios	31	2pm	4
Analisis y Verificacion de Modelos y Codigos	141	2pm	5
Analytics	152	11am	8
Analisis de Senales y Sistemas Digitales	130	8am	1
Analisis y Tratamiento de Imagenes	154	5pm	5
Aplicacion de las Telecomunicaciones	Lab. C	8am	5
Aplicacion de las Telecomunicaciones	112	8am	5
Aprendizaje Automatico (Machine Learning)	104	2pm	7
Arquitectura de la Tecnologia Informatica	121	5pm	1
Arquitecturas de Computadoras	30	8am	1
Arquitecturas de Computadoras	131	8am	1
Auditoria General y de Sistemas	105	5pm	8
Automatas, Teoria de Lenguajes y Compiladores	33	2pm	5
Automatas, Teoria de Lenguajes y Compiladores	131	2pm	5
Automatas, Teoria de Lenguajes y Compiladores	154	2pm	5
Base de Datos I	122	11am	2
Base de Datos II	141	8am	6

Bioinformatica	110	2pm	7
Biologia para Ingenieros	154	8am	6
Biologia Molecular y Celular	25	11am	6
Biomateriales	21	8am	3
Biomecanica	152	8pm	5
Biomedicina Estructural y Computacional	13	5pm	8
Bioquimica y Microbiologia	154	11am	8
Ciclos Reales en Motores de Combustion Interna	142	2pm	3
Comercializacion	152	11am	3
Comercio Electronico	152	2pm	8
Comercio Exterior	132	2pm	2
Comunicacion Estrategica	122	5pm	8
Comunicaciones Digitales	135	2pm	7
Construccion Naval	152	8pm	8
Contabilidad Gerencial	25	2pm	2
Control Avanzado	154	11am	5
Control de Procesos/Laboratorio de Control de Procesos	111	2pm	6
Costos Industriales	10	5pm	2
Costos Industriales	31	5pm	2
Costos Industriales	152	5pm	2
Creatividad	132	8am	7
Criptografia y Seguridad	29	2pm	6
Criptografia y Seguridad	110	2pm	6
Demand Forecasting	142	8pm	5
Derecho Aduanero	29	5pm	2
Derecho Publico y Privado	31	5pm	1
Derecho para Ingenieros	Lab. A	2pm	7
Derecho para Ingenieros	10	2pm	7
Derecho para Ingenieros	25	2pm	7
Derecho para Ingenieros	26	2pm	7
Derecho para Ingenieros	31	2pm	7
Derecho para Ingenieros	122	2pm	7
Desarrollo de Videojuegos 2D en iPhone OS	132	5pm	4
Desarrollo de Yacimientos (Anual)	152	11am	5
Diagnostico Empresarial y Plan de Accion (Trabajo Final)	25	11am	7
Diseno Conceptual de Procesos	154	8am	8
Diseno Mecanico	25	11am	8
Diseno Sonoro para Animacion y Videojuegos	120	8am	2
Diseno de Equipos Electronicos (Anual)	104	5pm	7
Diseno de Lineas de Transmision y Estaciones Transformadoras	135	5pm	6
Diseno de Producto	142	8am	6
Diseno y Procesamiento de Doc Xml	31	8am	3
Econometria Aplicada	29	2pm	2
Economia	11	2pm	4
Economia	29	2pm	4

Economia Internacional	Lab. UNIVERSIA	5pm	4
Economia para Ingenieros	10	8am	4
Economia para Ingenieros	30	8am	4
Economia para Ingenieros	122	8am	4
Economia para Ingenieros	152	8am	4
Economia y Finanzas Internacionales	154	8pm	8
Eficiencia Energética	111	2pm	2
Electromedicina	104	2pm	1
Electronica II	29	5pm	4
Electronica IV	124	11am	6
Electronica V	30	11am	7
Electronica de Potencia	Lab. UNIVERSIA	11am	8
Electronica e Instrumentacion	Lab. A	11am	2
Electronica e Instrumentacion	107	11am	2
Electronica e Instrumentacion	133	11am	2
Electronica e Instrumentacion	152	11am	2
Electrotecnia	10	5pm	1
Electrotecnia	25	5pm	1
Electrotecnia	26	5pm	1
Electrotecnia	29	5pm	1
Electrotecnia I	32	11am	2
Electrotecnia II	154	11am	1
Electronica Analogica y Digital	Lab. A	8am	6
Electronica General	10	2pm	3
Electronica Industrial	154	8am	5
Elementos Finitos I	140	8am	6
Elementos Finitos II	132	2pm	4
Elementos de Maquinas	122	5pm	4
Energias Renovables	22	5pm	8
Energias Renovables	131	5pm	8
Energias Convencionales	141	2pm	3
Energias renovables con Aprendizaje Comunitario	131	5pm	4
Epistemologia y Heuristica	Lab. C	5pm	3
Estadistica	152	8am	5
Estadistica Aplicada I	29	11am	7
Estadistica Aplicada I	122	11am	7
Estadistica Aplicada II	11	8am	3
Estadistica Aplicada II	30	8am	3
Estadistica Aplicada II	32	8am	3
Estadistica Aplicada II	152	8am	3
Estatica	133	8pm	6
Estatica y Resistencia de Materiales	26	11am	6
Estatica y Resistencia de Materiales	31	11am	6

Estatica y Resistencia de Materiales		32	11am	6
Estatica y Resistencia de Materiales		133	11am	6
Estrategia Empresaria		121	11am	5
Estructura de Datos y Algoritmos		29	5pm	7
Estructura de Datos y Programacion		152	2pm	4
Estructura de las Organizaciones		122	11am	3
Estructuras Automotrices		23	2pm	6
Etica en los Negocios		32	2pm	8
Evaluacion de Proyectos de la Industria Petrolera		132	2pm	6
Fenomenos de Transporte		12	8am	3
Filosofia		133	8am	4
Finanzas de la Empresa		32	11am	3
Finanzas de la Empresa		133	11am	3
Fisica I	Lab. A		2pm	1
Fisica I	Lab. C		2pm	1
Fisica I		10	2pm	1
Fisica I		11	2pm	1
Fisica I		12	2pm	1
Fisica I		13	2pm	1
Fisica I		26	2pm	1
Fisica I		29	2pm	1
Fisica I		32	2pm	1
Fisica I		133	2pm	1
Fisica I		152	2pm	1
Fisica II	Lab. C		2pm	3
Fisica II		11	2pm	3
Fisica II		25	2pm	3
Fisica II		26	2pm	3
Fisica II		31	2pm	3
Fisica II		32	2pm	3
Fisica II		133	2pm	3
Fisica II (Quimicos)		135	8am	6
Fisica III	Lab. A		11am	8
Fisica III	Lab. C		11am	8
Fisica III		10	11am	8
Fisica III		11	11am	8
Fisica III		26	11am	8
Fisica III		29	11am	8
Fisica III		30	11am	8
Fisica III		31	11am	8
Fisica III		32	11am	8
Fisica III		122	11am	8
Fisica III		133	11am	8
Fisica IV	Lab. A		11am	4
Fisica IV	Lab. C		11am	4

Fisica IV		10	11am	4
Fisica IV		11	11am	4
Fisica IV		26	11am	4
Fisica IV		31	11am	4
Fisica IV		32	11am	4
Fisica IV		133	11am	4
Fisiologia		133	8pm	1
Fisiologia Cuantitativa	Lab. A		2pm	3
Formacion General I	Lab. A		11am	5
Formacion General I	Lab. C		11am	5
Formacion General I		10	11am	5
Formacion General I		11	11am	5
Formacion General I		25	11am	5
Formacion General I		26	11am	5
Formacion General I		31	11am	5
Formacion General I		32	11am	5
Formacion General II		31	2pm	1
Formacion General III		11	2pm	5
Formacion General III		133	2pm	5
Formacion para Emprendedores		10	2pm	6
Formacion para Emprendedores		11	2pm	6
Formacion para Emprendedores		25	2pm	6
Formacion para Emprendedores		31	2pm	6
Formulacion y Evaluacion de Proyectos		25	2pm	8
Formulacion y Evaluacion de Proyectos		26	2pm	8
Geologia para Ingenieros		26	5pm	8
Gestion Financiera		10	5pm	5
Gestion de Datos		13	8am	5
Gestion de Operaciones		122	2pm	5
Gestion de Proyectos	Lab. C		2pm	7
Gestion de Proyectos		121	2pm	7
Gestion de Proyectos		152	2pm	7
Gestion de Ventas	Lab. A		5pm	2
Gestion de Ventas		107	5pm	2
Gestion de los Recursos Humanos		120	2pm	3
Gestion Ambiental	Lab. A		5pm	4
Gestion Ambiental		30	5pm	4
Gestion Ambiental		152	5pm	4
Gestion de Proyectos Informaticos		11	5pm	8
Gestion de la Calidad		8	5pm	3
Gestion de la Calidad		21	5pm	3
Gestion y Sistemas de Informacion de la Logistica Internacional		142	5pm	7
Hidrostatica y Estabilidad		111	5pm	4
Histologia y Anatomia		32	8pm	1
Impuestos para la toma de Decisiones		31	5pm	6

Informatica General	10	8am	3
Informatica General	25	8am	3
Informatica General	29	8am	3
Informatica General	122	8am	3
Informatica General	133	8am	3
Ingenieria de Reacciones y Reactores I	154	2pm	2
Ingenieria de Reservorios	152	5pm	5
Ingenieria de Software I	132	8am	1
Ingenieria de Software II	126	5pm	4
Ingenieria de Rehabilitacion	152	8am	8
Ingenieria de Tejidos	26	8am	3
Instalaciones Electricas	132	5pm	5
Instalaciones Eléctricas	10	5pm	7
Instalaciones Eléctricas	32	5pm	7
Instalaciones Industriales	154	5pm	3
Instalaciones Térmicas	25	2pm	1
Instalaciones Térmicas	30	2pm	1
Instalaciones Térmicas	122	2pm	1
Instrumentacion Biomédica I	22	8am	8
Instrumentacion Biomédica II	142	5pm	1
Integracion de Procesos de Negocios y Aplic Inf	135	11am	8
Interaccion Hombre-computadora (HCI)	32	5pm	6
Interfaces Bioelectronicas	107	5pm	4
Introduccion a la Computacion	31	2pm	8
Introduccion a la Informatica	26	8am	1
Introduccion a la Informatica	31	8am	1
Introduccion a la Ingenieria Ambiental	133	8pm	8
Introduccion a la Ingenieria Quimica	29	8am	8
Introduccion a la Programacion	Lab. UNIVERSIA	2pm	1
Introduccion a la Programacion	120	2pm	1
Introduccion a la Administracion	122	8pm	2
Introduccion a la Bioinformatica	123	8am	7
Introduccion a la Ingenieria Nuclear	142	11am	8
Introduccion a la Neurociencia Computacional	Lab. UNIVERSIA	8am	3
Investigacion de Operaciones I	Lab. A	8pm	5
Investigacion de Operaciones I	122	8pm	5
Investigacion de Operaciones II	26	5pm	2
Investigacion de Operaciones II	133	5pm	2
Lean Manufacturing	Lab. A	5pm	1
Lean Six sigma White Belt	132	11am	5
Logica Computacional	11	11am	2
Logica Computacional	26	11am	2
Logistica	Lab. C	5pm	4

Logistica		130	5pm	4
Macroeconomia	Lab. C		11am	2
Manufactura	Lab. A		8am	1
Maquinas Electricas II		154	8am	3
Marketing		11	5pm	5
Marketing		31	5pm	5
Marketing Internacional		141	5pm	3
Matematica Discreta		25	8am	1
Matematica Discreta		33	8am	1
Matematica I	Lab. A		8am	7
Matematica I		10	8am	7
Matematica I		11	8am	7
Matematica I		12	8am	7
Matematica I		22	8am	7
Matematica I		25	8am	7
Matematica I		29	8am	7
Matematica I		30	8am	7
Matematica I		152	8am	7
Matematica II	Lab. C		2pm	2
Matematica II	Lab. UNIVERSIA		2pm	2
Matematica II		10	2pm	2
Matematica II		11	2pm	2
Matematica II		26	2pm	2
Matematica II		31	2pm	2
Matematica II		122	2pm	2
Matematica II		133	2pm	2
Matematica III		10	11am	1
Matematica III		11	11am	1
Matematica III		12	11am	1
Matematica III		25	11am	1
Matematica III		26	11am	1
Matematica III		32	11am	1
Matematica III		133	11am	1
Matematica III		152	11am	1
Matematica V		152	2pm	3
Matematica V (K)		8	8am	1
Matematica V (K)		133	8am	1
Matematica IV	Lab. A		11am	7
Matematica IV	Lab. C		11am	7
Matematica IV		10	11am	7
Matematica IV		11	11am	7
Matematica IV		26	11am	7
Matematica IV		31	11am	7
Matematica IV		32	11am	7

Matematica IV	105	11am	7
Matematica IV	133	11am	7
Materiales y Procesos	Laboratorio 9	5pm	4
Materiales y Procesos	10	5pm	4
Materiales y Procesos	11	5pm	4
Materiales y Procesos	25	5pm	4
Materiales y Procesos	26	5pm	4
Mecanica General	Lab. A	11am	6
Mecanica General	29	11am	6
Mecanica de Fluidos	22	5pm	6
Mecanica de Fluidos	25	5pm	6
Mecanica de Fluidos	122	5pm	6
Mecanica de Fluidos	133	5pm	6
Mecanica de Fluidos Computacional	142	5pm	8
Mecanica y Mecanismos	32	5pm	5
Mecanica y Mecanismos	122	5pm	5
Mecanica y Mecanismos	133	5pm	5
Metalurgia Fisica I	Lab. C	5pm	5
Metalurgia Fisica	152	5pm	1
Metodologia de Investigacion	32	2pm	2
Metodologia del Aprendizaje	Lab. A	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	10	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	11	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	21	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	26	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	31	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	32	8am	5
Metodologia del Aprendizaje	133	8am	5
Metodos Numericos	11	8am	6
Metodos Numericos	12	8am	6
Metodos Numericos	13	8am	6
Metodos Numericos	32	8am	6
Metodos Numericos	133	8am	6
Metodos Numericos	152	8am	6
Metodos Numericos (K)	25	11am	4
Metodos Numericos (K)	29	11am	4
Metodos Numericos (K)	30	11am	4
Microeconomia	122	8am	2
Microondas	154	8am	2
Microprocesadores y Control	130	2pm	8
Modelado Avanzado de Proc e Intelig de Neg	152	5pm	8
Maquinas Eléctricas	26	5pm	7
Maquinas Eléctricas	31	5pm	7
Maquinas Eléctricas	133	5pm	7
Maquinas Térmicas	31	5pm	8

Maquinas Térmicas	32	5pm	8
Maquinas Térmicas	133	5pm	8
Maquinas Térmicas	140	5pm	8
Maquinas Térmicas	141	5pm	8
Métodos Numéricos (M)	122	11am	4
Negocios en la era de internet	121	5pm	5
Negocios y Tecnología en Internet	32	5pm	2
Neurociencia y Liderazgo	152	11am	4
Normativa Biomédica y Marco Regulatorio	131	2pm	6
Olap y Extraccion de Informacion	142	8am	8
Operaciones Unitarias I	135	5pm	3
Operaciones Unitarias II	Lab. C	8pm	5
Operaciones Unitarias III	Lab. A	8pm	3
Org. de la Produccion II	10	2pm	4
Org. de la Produccion II	25	2pm	4
Org. de la Produccion II	133	2pm	4
Organizacion Industrial	31	5pm	4
Organizacion Industrial	32	5pm	4
Organizacion Industrial	133	5pm	4
Organizacion de la Produccion I	12	8am	8
Organizacion de la Produccion I	122	8am	8
Panorama Historico Global	32	8am	2
Perforacion Petrolera II	25	5pm	7
Planeamiento Estrategico	122	8pm	3
Plantas Industriales	122	5pm	3
Presupuesto y Control	32	2pm	7
Presupuesto y Control	133	2pm	7
Prob.y Estadistica(i/m/q)	10	11am	2
Prob.y Estadistica(i/m/q)	31	11am	2
Probabil.y Estadistica(k/s)	10	8am	1
Probabil.y Estadistica(k/s)	32	8am	1
Probabil.y Estadistica(k/s)	121	8am	1
Probabil.y Estadistica(k/s)	152	8am	1
Probabilidad	29	11am	5
Probabilidad	107	11am	5
Probabilidad	133	11am	5
Procesamiento Adaptativo de Senales	154	5pm	8
Procesamiento de Imagenes Biomédicas	154	5pm	2
Procesamiento de Senales Biomédicas	140	2pm	6
Procesos de Manufactura I	131	8pm	8
Programacion	131	8am	8
Programacion	132	8am	8
Programacion Basica	10	8am	6
Programacion Basica	26	8am	6
Programacion Basica	31	8am	6

Programacion Basica	122	8am	6
Programacion Funcional	140	2pm	1
Programacion I	Lab. C	8am	1
Programacion Imperativa	122	11am	5
Programacion Imperativa	124	11am	5
Programacion Orientada a Objetos	32	2pm	4
Protocolos de Comunicacion	Lab. A	2pm	2
Protocolos de Comunicacion	Laboratorio 9	2pm	2
Proyecto Automotor (Anual)	105	5pm	2
Proyecto Final (Anual)	11	5pm	3
Proyecto Final de Ingenieria Industrial (Anual)	Lab. A	5pm	6
Proyecto Final de Ingenieria Industrial (Anual)	Lab. C	5pm	6
Proyecto Final de Ingenieria Industrial (Anual)	10	5pm	6
Proyecto Final de Ingenieria Industrial (Anual)	11	5pm	6
Proyecto Final de Ingenieria Industrial (Anual)	152	5pm	6
Proyecto Mecanico (Anual)	30	11am	6
Proyecto de Aplicaciones Web	10	5pm	8
Proyecto de Buques (Anual)	121	5pm	4
Proyecto de Instalaciones de Superficie	Lab. UNIVERSIA	5pm	3
Proyecto de Plantas (Anual)	107	5pm	1
Practicas Expositivas	124	8am	3
Quimica	122	8am	5
Quimica Analitica	25	2pm	5
Quimica I	Lab. C	8am	7
Quimica I	13	8am	7
Quimica I	26	8am	7
Quimica I	31	8am	7
Quimica I	32	8am	7
Quimica I	122	8am	7
Quimica I	133	8am	7
Quimica II	Lab. A	8am	4
Quimica II	Lab. C	8am	4
Quimica II	Lab. UNIVERSIA	8am	4
Quimica II	11	8am	4
Quimica II	25	8am	4
Quimica II	26	8am	4
Quimica II	29	8am	4
Quimica II	32	8am	4
Quimica Organica I	111	11am	2
Quimica Organica II	25	8am	2
Quimica Organica para Petroleo	123	11am	6
Quimica-fisica	Laboratorio 9	2pm	7
Recursos y Reservas de Petroleo y Gas	154	8pm	2

Redes Neuronales	29	2pm	8
Redes Neuronales en bioingenieria	141	8pm	8
Redes de Informacion	122	5pm	2
Registros de Pozo	131	11am	1
Resistencia de Materiales	29	8am	1
Seguridad Ocupacional y Ambiental	32	5pm	1
Seguridad Ocupacional y Ambiental	133	5pm	1
Seminario de Actualizacion	131	2pm	1
Sensores y Actuadores	131	5pm	5
Senales Aleatorias	29	5pm	3
Senales y Sistemas	30	11am	3
Simulacion	122	5pm	7
Simulacion	152	5pm	7
Simulacion de Reservorios	12	5pm	4
Simulacion de Sistemas	135	8pm	8
Simulacion de Procesos	142	8pm	8
Sistemas Contables	131	8am	2
Sistemas Contables	133	8am	2
Sistemas Electricos de Potencia	132	2pm	8
Sistemas Integrados de Gestion Empresaria I	152	5pm	3
Sistemas Integrados de Gestion Empresaria II	121	5pm	3
Sistemas Integrados de Gestion en la Ind de Serv	Lab. A	5pm	7
Sistemas Mecatronicos del Automovil	141	8am	8
Sistemas Operativos	122	5pm	1
Sistemas de Control	12	8am	4
Sistemas de Informacion	Lab. C	2pm	8
Sistemas de Informacion	10	2pm	8
Sistemas de Informacion	11	2pm	8
Sistemas de Inteligencia Artificial	122	2pm	3
Sistemas de Representacion	Lab. A	11am	3
Sistemas de Representacion	Lab. C	11am	3
Sistemas de Representacion	10	11am	3
Sistemas de Representacion	11	11am	3
Sistemas de Representacion	12	11am	3
Sistemas de Representacion	13	11am	3
Sistemas de Representacion	25	11am	3
Sistemas de Representacion	26	11am	3
Sistemas de Representacion	29	11am	3
Sistemas de Representacion	31	11am	3
Sistemas y Modelos	Laboratorio 9	8pm	1
Sistemas y Modelos	104	8pm	1
Sistemas y Modelos	122	8pm	1
Taller de Modelizacion de Productos	135	11am	1
Tecnologia de Maquinas	125	8pm	7
Tecnologia de materiales electronicos	142	8am	3

Tecnologias y Procesos de Produccion	122	2pm	6
Tecnologias y Procesos de Produccion	130	2pm	6
Teoria de la Decision	122	2pm	8
Termodinamica	10	5pm	3
Termodinamica	25	5pm	3
Termodinamica	26	5pm	3
Termodinamica	31	5pm	3
Termodinamica	32	5pm	3
Termodinamica	133	5pm	3
Toma de Decisiones	29	2pm	7
Topologia de Internet: Analisis y Modelado	8	2pm	2
Trabajo de Laboratorio de Quimica	8	8am	3
Transmision de la Energia Electrica	21	11am	2
Transporte Sustentable A	141	8am	3
Transporte Sustentable B	123	11am	7
Turbomaquinas	122	8pm	8
Topicos de Macroeconomia	135	11am	5
Utilitarios en Informatica	122	8am	1
Ventas	121	8pm	1
Vision Comercial del Ingeniero Industrial	154	11am	2
Visualizacion de Informacion	121	8am	6
organos Artificiales	Lab. C	5pm	7

Viol		Violpred	
Materia	Valor	Materia	Valor
Arquitectura de la Tecnologia Informatica	1	Algebra Lineal	1
Base de Datos I	1	Estructura de Datos y Algoritmos	1
Derecho Aduanero	1	Fisica III	1
Formacion General II	1	Instrumentacion Biomédica I	1
Gestion de Operaciones	1	Matematica I	1
Histologia y Anatomia	1	Matematica IV	1
Investigacion de Operaciones I	1	Programacion	1
Investigacion de Operaciones II	1	Proyecto de Aplicaciones Web	1
Metodos Numericos (K)	1		
Operaciones Unitarias III	1		
Resistencia de Materiales	1		
Sistemas Integrados de Gestion Empresaria I	1		
Sistemas Operativos	1		
Transmision de la Energia Electrica	1		