

## PROYECTO OPTIMIZACIÓN 2022-2

### Resolución de problema real mediante optimización

Profesores: M. Castro, R. Cuadrado, M Favereau, M. Klapp, E. Salgado.  
Ayudante coordinadora proyecto: Javiera Gebhardt

## Descripción general del proyecto

Este documento describe el proyecto semestral del curso ICS1113 cuyo objetivo es entrenar a cada estudiante en un proceso real de toma de decisión apoyado por técnicas de optimización y herramientas de software. Este proyecto debe ser ejecutado en grupos de estudiantes. Los y las integrantes de cada grupo pueden pertenecer a diferentes secciones del curso. Cada grupo debe activamente buscar y seleccionar un problema atractivo relacionado con el desafío de este semestre. Este problema debe ser investigado y planteado, modelado analíticamente como problema de optimización y resuelto mediante software de optimización (interfaz Python + Gurobi). Además, la solución obtenida debe ser analizada y validada. También, este proyecto busca fortalecer las habilidades de comunicación oral y escrita de cada estudiante, por lo que el grupo deberá presentar reportes técnicos concisos y realizar una presentación final ejecutiva de su proyecto.

## Desafío de este semestre

Este semestre el desafío será diseñar un modelo de optimización y su respectiva herramienta computacional que ayude a resolver un problema valioso de nuestra sociedad en cualquiera de las siguientes dos grandes temáticas:

### 1. Vivienda:

Chile y el mundo enfrenta a un problema de vivienda sin precedentes y cada vez más complejo. Año a año la población crece y con ello se requiere más recursos e infraestructura para dar hogar a la población mundial en el mismo espacio. Según las Naciones Unidas (ONU), se espera que para el año 2050 la población global aumente en 2 mil millones de personas, pasando de 7.7 mil millones a 9.7 mil millones, lo que corresponde a un crecimiento de un 26 % (ONU, 2022). También, existe una tendencia marcada de migración desde los sectores rurales hacia las ciudades en las últimas décadas en busca de mejores oportunidades (*e.g.*, trabajo, educación, salud) otorgadas por las grandes urbes. Por primera vez en la historia, en el año 2007, más del 50 % de la población mundial vivía en ciudades, cifra que para el 2030 se espera que llegue al 60 % (ONU, 2022). Lo anterior, hace todavía más escaso el espacio urbano para viviendas. En particular, los sectores vulnerables de la población ven cada vez menos oportunidades de acceso a la vivienda y los programas de vivienda social, tanto de NGOs como gubernamentales luchan para financiarse y utilizar eficientemente sus recursos y, así, intentar dar solución a esta problemática.

Como puede verse, el problema de vivienda es un gran tema que puede ser abordado desde múltiples puntos de vista por los diferentes grupos del curso. Algunos ejemplos de potenciales temas de estudio son:

- **Vivienda social para todos:** Estudiar decisiones que permitan optimizar los presupuestos de programas sociales de vivienda y hacer más con menos recursos. Esto incluye la optimización de: (i) el tamaño de las viviendas sociales considerando espacios reducidos, (ii) optimizar el uso del espacio interno de la vivienda, (iii) el optimizar costos y presencia de economías de escala en la construcción, (iv) estudiar ubicación de nuevos proyectos de vivienda para maximizar el acceso a servicios y/o la integración a las redes de transporte público, entre otras.
- **Localización costo-eficiente y socialmente rentable de viviendas:** Tomar decisiones relacionadas al lugar de construcción de vivienda y estudiar del uso eficiente del suelo. Este tema incluye optimizar acceso a servicios básicos, trabajos, sistema de salud, seguridad ciudadana y al sistema de transporte. Por ejemplo, sin cercanía a transporte público se potencia la necesidad de utilizar modos de transporte más caros y menos sustentables, como el auto.
- **Construcción sustentable:** Tomar decisiones en el uso sustentable de insumos y residuos de construcción. También se podría considerar el proceso sustentable de construcción de viviendas, diseño optimizado de viviendas carbono neutrales y la eficiencia energética (por ejemplo, optimización del gasto energético, escoger mejor ubicación para tener energía solar, cómo lograr ser *net-zero*, entre otros).
- **Estrategia de descentralización:** Diseño optimizado de una estrategia realista y sustentable que fomente la descentralización de viviendas en el país.
- **Acceso financiero a vivienda:** Planificación y optimización del endeudamiento a largo plazo para fines de vivienda. Este tema es especialmente necesario en el actual contexto mundial ya que se ha encarecido y restringido el acceso a formas de endeudamiento a largo plazo.

## 2. Industria de los alimentos:

La industria de los alimentos tiene un impacto importante en la sociedad, puesto que se relaciona de forma directa con problemas sociales profundos tales como la desnutrición y malnutrición. Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, el segundo punto, Hambre Cero, tiene como objetivo principal disminuir la prevalencia de la desnutrición, puesto que actualmente 690 millones de personas padecen hambre a nivel global (ONU, 2022). Durante los últimos años, 600 mil chilenos se vieron afectados por la desnutrición, lo que contrasta con que el 74 % de los chilenos que sufre obesidad o sobrepeso (FAO, 2021). Este problema se ve agravado por el hecho de que el 95 % de las personas señala como normal botar comida acumulada en el refrigerador. Además, se desperdician 1,62 millones de toneladas de comida (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021). De esta forma, existen diferentes aristas por las que se puede analizar este tema, algunos ejemplos son:

- **Oferta de alimentos:** Aumentar la producción de alimentos en el mundo, optimizar procesos para disminuir los costos de producción y aumentar productividad, mejorar el uso de suelo y agua en la agricultura. También es importante optimizar la gestión

de residuos, buscando disminuir las pérdidas de alimentos y aumentar lo que llega al consumidor.

- **Transporte y logística:** Optimizar cadenas de abastecimiento de alimentos. Por ejemplo, decisiones de distribución sujeto a mantener la cadena de frío, disminuir *lead times* de alimentos perecibles, optimizar el proceso de recolección de bancos de alimentos. Todo esto se puede pensar a escalas locales, como globales.
- **Consumidores:** Mejorar el aporte nutritivo de la dieta de un grupo de personas, potenciar la accesibilidad a alimentos sustentables / no procesados, disminuir los desperdicios alimenticios de un hogar o empresa. Se pueden considerar restricciones de ingreso, como acceso a ciertos tipos de alimentos, e incluso dieta como vegetarianismo o veganismo.
- **Políticas Públicas:** Optimizar el impacto nutricional de planes como JUNAEB, Elige Vivir Sano, Programa Nacional de Alimentación Complementaria, entre otras. Optimizar el alcance, los diseños o aportes nutricionales de estos programas. Optimizar de subvenciones a alimentos nutritivos (por ejemplo, frutas y verduras) e impuestos a alimentos dañinos para el organismo (por ejemplo, bebidas azucaradas, comidas ultra procesadas).
- **Educación en nutrición:** Diseño y optimización de campañas que para que los consumidores sean más conscientes de qué, cuánto y cómo como, y qué hacer con sus desechos alimenticios. Optimizar el alcance e influencia de los planes comunicacionales y canales de transmisión. Planificación temporal de las campañas, programación de visitas a establecimientos públicos y privados, entre otros.

No es necesario trabajar alguno de los problemas específicos dados como ejemplo. Estos son sólo ejemplos de potenciales áreas de estudio y formas de abordar el proyecto. El grupo puede dedicarse a su problema específico si tiene relación con el tema propuesto.

El proyecto del curso de Optimización cuenta con el **sello IPCh** (Ingeniería Para Chile) cuyo objetivo es incorporar un fin social a trabajos y proyectos de la Escuela. Para inspirar a los estudiantes a buscar este fin social en sus propuestas de proyecto, **se programarán presentaciones de especialistas** que presentarán ejemplos de algunos desafíos sociales relacionados con el tema y potenciales fuentes de información relevante. Las charlas se realizarán desde la segunda semana de clases, probablemente vía Zoom los Jueves a las 17:00 hrs.

## Condiciones al problema escogido y modelo planteado

El problema que cada grupo escoja y su respectivo modelo de optimización planteado deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. El problema debe ser **realista**. Si bien no se exige plantear un problema con datos reales, debe al menos ser ideado con supuestos realistas y justificables en datos, restricciones y objetivos.
2. Se premiará a aquellos proyectos que **usen datos reales** o que su problema sea fruto de **colaborar con una organización real**.
3. El grupo debe justificar **cuantitativamente** que estudiar su problema con técnicas de optimización puede generar un valor significativo para la sociedad (por ejemplo, ahorro monetario,

justicia, ahorro de tiempo, bienestar social, sustentabilidad, mejor uso de recursos, etc.). Una forma de hacer esto es comparar su propuesta de toma de decisión optimizada contra una toma de decisión que potencialmente estaría haciendo la organización estudiada actualmente sin aplicar técnicas de optimización.

4. Se premiará a aquellos proyectos cuyos problemas y/o respectivos modelos tengan un grado de **creatividad**. En este sentido, plantear un problema estándar de libro o visto en clases, no cumple con los objetivos. Problemáticas trabajadas por más de un grupo es un signo de un proyecto poco creativo.
5. El problema y su modelo respectivo deben ser **lo suficientemente complejos** como para que no resulte fácil de resolverse por intuición, inspección visual, en lápiz y papel o con gráficos.
6. En el modelo el uso de variables y restricciones debe ser **eficiente y compacto**. El grupo se debe preocupar por no definir variables o restricciones redundantes, datos innecesarios o variables innecesariamente integrales. Se espera que todo el modelo no sea separable, es decir, que no sea posible dividirlo en dos o más modelos equivalentes de menor dimensión. Se recomienda consultar al ayudante a cargo de su grupo en caso de tener dudas con respecto a este punto.
7. No se permite un modelo con restricciones y objetivo no lineales. Los problemas no lineales son significativamente más difíciles, por eso el requerimiento. Tampoco se recomienda un uso excesivo de variables enteras, pues un modelo entero también es considerablemente más difícil que un modelo continuo.
8. Se espera que el modelo de optimización planteado sea resuelto con un grado de precisión y exactitud acorde a su complejidad y contexto de uso. Por ejemplo, el grupo debería resolver al óptimo un modelo lineal con variables continuas o un problema en donde su contexto exige precisión. Por otro lado, se puede entregar soluciones aproximadas (a un porcentaje del valor óptimo u óptimos locales) para un modelo más complejo (*e.g.*, de optimización entera con una gran cantidad de variables y restricciones) o, alternativamente, cuando se planifica aproximadamente en el largo plazo. Independiente del caso, el grupo debe justificar que el grado de exactitud en la resolución de su problema es compatible con su uso.

## Pasos en el proyecto

En el desarrollo del proyecto el grupo deberá seguir los siguientes pasos:

- a) Seleccionar un problema adecuado: Se debe contextualizar el problema, definirlo a grueso modo y discutir por qué es valioso resolverlo. Discutir brevemente los datos requeridos: ¿Cómo obtendría o simularía la información relevante?
- b) Describirlo en palabras: explicar con detalle el problema, las decisiones involucradas, el objetivo que persigue y todas sus restricciones asociadas.
- c) Modelar el problema: formular matemáticamente un modelo de optimización que representa la realidad de su problema, sus decisiones, objetivo y restricciones. El grupo debe explicar

en palabras lo que modela cada una de las relaciones involucradas en restricciones y objetivo detallando por qué es necesaria. Debe estar definido de forma algebraica y ser independiente de datos particulares.

- d) Definir una (o más de una) instancia de datos realista, es decir, conjuntos de valores de los parámetros correspondientes a un escenario específico del problema que hayan elegido.
- e) Resolver una instancia usando la interfaz Python-Gurobi: explicar la implementación de su software, entregar respaldo del código fuente y presentar un resumen de los resultados obtenidos (solución y valor óptimo). Un resumen efectivo de la solución identificada exige representarla de forma agregada, didáctica y fácil de entender mediante apoyos visuales como figuras, gráficos, tablas, etc.
- f) Validar y justificar la factibilidad y optimalidad de su solución. Una solución factible es una que cumple con las restricciones del problema y una óptima es aquella que supera al resto de las soluciones efectivas en valor objetivo. Esta justificación exige un análisis crítico sobre la representación agregada de la solución y debe ir más allá de simplemente señalar: “GUROBI entregó una solución factible”. El análisis podría incorporar chequeos consistentes con lo esperado y justificar que la solución hace sentido para resolver la problemática real para la cual fue diseñada.
- g) Hacer análisis de sensibilidad: Estudiar qué sucede al realizar modificaciones sobre parámetros relevantes de su modelo. La relevancia o no del parámetro depende del problema a estudiar, por lo que cada grupo deberá escoger al menos tres parámetros así en función de su contexto. Se entiende como “parámetro relevante” un dato del problema que podría estar mal estimado por el modelador, estar afecto a incertidumbre por ser un pronóstico del futuro o un recurso que limite significativamente la capacidad de lograr. También podría ser una restricción basada en un mejor objetivo puesto cuestionable cuya validez podría ser puesta en duda. Ejemplo de este análisis son estudios frente a cambios en recursos relevantes de restricciones, costos relevantes en la función objetivo, inclusión, edición o remoción de restricciones, entre otros. Se espera que realicen, a través de esto, un análisis crítico de sus resultados y los cuestionen y deduzcan lecciones sobre el comportamiento de su modelo.
- h) Valorizar el potencial que proporcionaría su solución al ser implementada en la organización escogida. Por ejemplo: ahorro de costos, aumento de ventas, reducción de tiempos, aumento de clientes atendidos, ahorro de tiempo en planificadores de solución, etc. Este punto está fuertemente ligado con la función objetivo escogida.

## Aspecto administrativos

### Grupos

El trabajo será realizado en grupos de mínimo cinco y máximo seis estudiantes. Es responsabilidad de cada grupo:

- Formarse.

- Coordinar reuniones grupales y mantener un trabajo adecuado a lo largo del semestre. Esto incluye establecer liderazgos necesarios dentro del grupo, planificar el trabajo, agendar reuniones, repartir y asignar responsabilidades entre los integrantes del grupo y resolver conflictos internos.
- Mantener buenas relaciones de trabajo entre los integrantes del grupo.
- Resolver internamente problemas internos debido a la falta de participación de alguno de sus integrantes, teniendo como herramienta la evaluación de pares descrita más abajo.
- Redistribuir y mantener el trabajo en caso de perder a integrantes del grupo debido a un abandono del curso. En casos críticos (múltiples abandonos) el equipo docente podría reasignar grupos que hayan quedado muy disminuidos, pero **no hay garantía** de que esto suceda.

## Entregas

Los grupos deberán realizar las siguientes tres entregas de acuerdo a lo que se especifica, como máximo en las fechas indicadas. Estas fechas de entrega son impostergables, deben desde ya comenzar a trabajar y organizarse para cumplirlas. Se penalizarán entregas atrasadas, descontando 3 décimas por hora de atraso a la nota de la entrega correspondiente (redondeando hacia arriba).

### Entrega 1: Viernes 9 de Septiembre

Consiste en un informe que describa en detalle el problema elegido y el modelo, es decir, las etapas a, b y c. Deberá indicar las referencias apropiadas si corresponde. El archivo PDF del informe debe ser subido al cuestionario respectivo en la Web del curso, a más tardar ese mismo día. El objetivo de este informe es que los ayudantes puedan evaluar el problema escogido, su modelo y entregarles un feedback apropiado para la siguiente entrega. Si el proyecto propuesto por el grupo no cumple, o cumple pobremente, las condiciones discutidas, entonces el corrector **rechazará el proyecto**. Esto implica que el problema y/o el modelo deberán reformularse para la segunda entrega. En este caso la entrega 1 tendrá nota 3,5 como máximo.

### Entrega 2: Viernes 14 de Octubre

Corresponde a un segundo informe que cubre los puntos a, b, c, d, e y f. El objetivo es corregir el informe anterior en base a la retroalimentación recibida e incluir los puntos adicionales. Después de esta entrega no hay posibilidad de alterar la idea general del proyecto. El archivo PDF del informe, así como los archivos computacionales utilizados con su modelo, deben ser subidos (comprimidos) al cuestionario respectivo en la Web del curso, a más tardar ese mismo día.

### Entrega 3: Miércoles 23 de Noviembre

Esta entrega consiste en el informe completo, es decir, hasta el punto h. A su reporte debe adjuntar los archivos fuente del código y subirlos al cuestionario respectivo en la Web del curso, a más tardar ese mismo día.

## Presentación Final: última semana de clases

Corresponde a realizar una presentación final efectiva y resumida que contenga la información de su proyecto. Debe incluir motivación y definición del problema, modelación del problema, estimación de datos, solución y análisis más relevante (análisis de sensibilidad), valoración de su solución y conclusiones. El grupo debe escoger a uno de sus integrantes como el encargado de presentar y cada integrante del grupo deberá estar preparado para responder preguntas que hagan sus profesores o ayudantes. El archivo de presentación a utilizar deberá ser enviado antes de la presentación, en plazos y formatos a informar. Es obligatorio que todos los integrantes del grupo asistan a la presentación salvo situaciones excepcionales las cuales deben ser aprobadas por su profesor. Alguien que no asista a la presentación de su grupo sin una correcta justificación tendrá un 1.0 en la presentación (no así su grupo). Se darán más detalles (de formato y dinámica de presentación, por ejemplo) en el momento oportuno.

## Sobre el formato de cada reporte

En cuanto a las entregas, se exige un nivel profesional en cuanto a presentación, estructura, redacción, ortografía, etc. Debe estar justificado, letra Arial tamaño 12 (para word), interlineado 1,5 y ajustarse al formato de la portada que será publicado en la Web del curso. Se exige utilizar un editor de ecuaciones (no escribir ecuaciones como texto). Se recomienda utilizar  $\text{\LaTeX}$  para sus reportes, pues facilita escribir modelos matemáticos. Se subirá una portada para  $\text{\LaTeX}$  en la web del curso con la letra e interlineado que se deben ocupar. Los informes que no cumplan con estas normas de presentación serán penalizados. Los datos, resultados de sensibilidad y recomendaciones entregadas por la solución propuesta deberán ser presentados de forma resumida y comprensible.

## Calificación:

- Entrega 1: Corresponde al 15 % de la nota final del proyecto.
- Entrega 2: Corresponde al 35 % de la nota final del proyecto.
- Entrega 3: Corresponde al 30 % de la nota final del proyecto.
- Presentación final : Corresponde al 20 % de la nota final del proyecto.

Después de cada entrega, se realizará una evaluación entre los integrantes de cada grupo. Cada integrante podrá repartir un total de  $4 \cdot (n - 1)$  puntos entre los otros integrantes del grupo (siendo  $n$  la cantidad de integrantes del grupo). Se podrá también dejar puntos sin asignar. Al repartir puntos al resto de sus compañeros, cada estudiante deberá considerar la siguiente escala de asignación:

- 0 puntos: no contribuye al proyecto.
- 1, 2, 3 puntos: contribuye al proyecto significativamente menos que un estudiante promedio de su grupo.
- 4 puntos: contribuye al proyecto a la par que un estudiante promedio de su grupo.
- $\geq 5$  puntos: contribuye al proyecto significativamente más que un estudiante promedio de su grupo.

Para ejecutar la evaluación, cada estudiante podrá responder un cuestionario que será informado de forma oportuna. No responder el cuestionario implica que la evaluación del estudiante será neutra (entregará 4 puntos a cada uno de sus compañeros). Pasada la fecha de la evaluación de pares no podrá retractarse de su evaluación.

Alguien que haya eliminado el curso o suspendido el semestre durante la entrega, será considerado como una evaluación neutra y eliminado del grupo para la próxima evaluación.

Después de la evaluación, se calculará por alumno el valor  $x$  (el porcentaje de puntos promedio recibidos en comparación con la evaluación promedio) igual a

$$x := \frac{\text{puntos recibidos}}{(n - 1) \cdot 4}.$$

Luego, se calculará el factor  $P$  a multiplicar su nota de la entrega igual a

$$P = \begin{cases} 0,5 & \text{si } x < 0,5 \\ x & \text{si } 0,5 \leq x < 1 \\ 0,8 + 0,2 \cdot x & \text{si } 1 \leq x \leq 1,5 \\ 1,1 & \text{otro caso} \end{cases}.$$

La nota final del proyecto (NP) será igual a:

$$NP = 0,15 \cdot P_1 \cdot E_1 + 0,35 \cdot P_2 \cdot E_2 + 0,30 \cdot P_3 \cdot E_3 + 0,2 \cdot P_4 \cdot E_4,$$

donde  $P_i$  es el ponderador de cada entrega y  $E_i$  es la nota de cada entrega para  $i \in \{1, 2, 3, 4\}$  siendo  $E_4$  la presentación final. Si  $NP$  es menor que 1 o mayor que 7, entonces será ajustada al caso extremo según corresponda.

## Apoyo de Ayudantes

A cada grupo se le asignará un ayudante para consultas específicas y guía en el desarrollo del proyecto. La información de contacto del ayudante será entregada de forma oportuna. **Será requisito para aprobar el curso tener mínimo una reunión con el ayudante asignado antes de la Entrega 2.** Es su responsabilidad contactar al ayudante y agendar la reunión. La ayudante coordinadora del proyecto es Javiera Gebhardt. Consultas relativas al proyecto deberán hacerse en primera instancia a su ayudante asignado y en segunda instancia a Javiera ([javieragr@uc.cl](mailto:javieragr@uc.cl)).

## Talleres

Se entregará material de Python-Gurobi (tutorial de descarga y cápsulas grabadas) y se realizarán sesiones de consultas presenciales en el horario de taller con previo aviso.