



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS

ICS1113 – OPTIMIZACIÓN

# Informe 2

**Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en transporte de giras musicales**

**Grupo 21**

**Florencia Aqueveque Saavedra - 21639612 - Sección 3**

**Matías Jara Novoa - 1920583J - Sección 2**

**Trinidad Muñoz Pardo - 19626053 - Sección 1**

**Katerina Reyes Salas - 2163937J - Sección 1**

**Gustavo Vidal San Martín - 21203911 - Sección 1**

**Fecha entrega: 11 de octubre de 2023**

# 1. Descripción del Problema

## 1.1 Problema y principales desafíos

En el contexto del cambio climático, surge la necesidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en todos los aspectos de la vida. Un área poco estudiada en estos términos es la de la música, específicamente la música en vivo. Un estudio publicado en 2019 en la revista académica *Popular Music* calculó las emisiones de GEI de cinco artistas que estuvieron de gira por un período de seis meses, y concluyó que estos emitieron 19.314 kg de CO<sub>2</sub>. Otro estudio, esta vez de la fundación británica *Julies's Bicycle*, concluyó que en el año 2009 se emitieron 85.000 toneladas de CO<sub>2</sub> en giras musicales realizadas en el Reino Unido.

Según la investigación de Muñoz et al. (2010), el humano promedio produce 2.100 Kg de CO<sub>2</sub> por año, es decir, en el 2009 los conciertos realizados sólo en el Reino Unido produjeron 40 veces más que una persona promedio. Estos números demuestran que la música en vivo y las giras musicales tienen un gran impacto ambiental que puede ser reducido utilizando medios alternativos de transporte y fuentes alternativas de energía, entre otras cosas. Cabe destacar, que la principal fuente de emisiones de GEI en giras musicales corresponden al transporte de equipamiento y personas.

## 1.2 ¿Por qué es valioso optimizar?

Se debe considerar que, posterior a la pandemia, los eventos musicales presenciales han aumentado significativamente, de tal manera que, para finales de 2023, se habrán realizado aproximadamente 30 conciertos y festivales dentro del país (La Tercera).

Tomando como ejemplo el concierto de Bad Bunny en Chile en 2022 (como destino de su gira mundial), para el cual se utilizaron dos aviones Boeing 747 y 36 camiones para transportar las 100 toneladas de carga y 100 personas de equipo necesarias, este concierto en particular generó 484 toneladas de GEI considerando únicamente el transporte en avión desde República Dominicana a Chile.

Al ser este uno de los muchos conciertos realizados en Chile, no es difícil imaginar la magnitud de las emisiones de GEI asociadas al transporte en las decenas de festivales y conciertos que se realizan en Chile anualmente. Esta es la razón por la que consideramos que el problema de las emisiones de GEI en relación al transporte de carga y personas es valioso de estudiar debido al gran impacto ambiental que tiene. De este modo, el problema a abordar se centrará en minimizar las emisiones de GEI en el transporte asociado a las giras musicales dentro de Chile.

### **1.3 ¿Qué objetivo tiene nuestro tomador de decisiones?**

Debido a todo lo anterior, es que, durante el periodo de planificación y ejecución del tour, el cual dura en promedio 1 año, los artistas y sus equipos de logística deben comprometerse con el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en el transporte, con una proyección en la disminución de estos en un 20%. Para esto, los equipos de planificación deben tomar decisiones tales como: qué ruta seguir en la gira, qué tipos de vehículos de transporte se van a utilizar, cuántos vehículos de cada tipo tendrán a su disposición y la cantidad de vehículos extra que se pueden arrendar si así se requiere.

Todas las decisiones mencionadas anteriormente están sujetas a restricciones tales como el presupuesto de transporte que se tiene para la gira, el presupuesto asociado al sueldo de los conductores, la capacidad máxima de almacenamiento de cada vehículo, la cantidad de vehículos que se tiene disponibles y el largo del periodo de tiempo entre conciertos.

Así como se mencionó antes, hay múltiples variables que corresponden a los equipos de logística de los artistas. El tener la oportunidad de optimizar la toma de decisiones les permitirá agilizar el orden de los lugares a visitar, la cantidad de vehículos y las personas necesarias. Al optimizar los factores ya mencionados, se logrará reducir los costos de transporte, disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y reducir el tiempo necesario para completar la gira.

## 2. Modelación

### 2.1 Parámetros:

#### 2.1.1 Vehículos

- $\rho_v$ : Constante de emisión de  $CO_2$  por litro y peso del auto  $v$  ( $CO_2/lt * kg$ )
- $\varepsilon_v$ : Eficiencia del vehículo  $v$
- $M_v$ : Carga máxima en kg para el vehículo  $v$
- $W_v$ : Peso en kg del vehículo  $v$
- $\omega_{v,t}$ : Precio que cobra un conductor por conducir el vehículo  $v$  en el trayecto  $t$ .
- $B_v = \{1, 0\}$  1 si el vehículo  $v$  usa bencina, 0 en caso contrario.
- $D_v = \{1, 0\}$  1 si el vehículo  $v$  usa petróleo, 0 en caso contrario.
- $S$ : Costo de la bencina por litro.
- $R$ : Costo del petróleo por litro.

#### 2.1.2 Carga

- $L$ : Cantidad de elementos que se deben transportar
- $H$ : Cantidad de personas que se deben transportar.
- $O_c$ : Peso del elemento  $c$
- $P_h$ : Peso de la persona  $h$

#### 2.1.3 Otros

- $k_t$ : Kilómetros en el trayecto  $t$
- $\tau$ : Presupuesto para transporte total
- $Q$ : Presupuesto para sueldos de conductores total
- $U$ : Presupuesto total del tour

### 2.2 Índices:

- $c \in C$ ,  $C = \{1, \dots, C\}$  Elementos
- $v \in V$ ,  $V = \{1, \dots, V\}$  Vehículos
- $t \in T$ ,  $T = \{1, \dots, T\}$  Trayectos del tour
- $h \in H$ ,  $H = \{1, \dots, H\}$  Personas

## 2.3 Variables

- $x_{v,t} = \{1, 0\}$ : Toma el valor de 1 si el vehículo  $v$  se elige para el trayecto  $t$ . 0 en caso contrario.
- $g_{h,v,t} = \{1, 0\}$ : Toma el valor de 1 si la persona  $h$  se transporta en el vehículo  $v$ , durante el trayecto  $t$ . 0 en caso contrario.
- $i_{v,c,t} = \{1, 0\}$ : Toma el valor de 1 si el elemento  $c$  se transporta en el vehículo  $v$ , durante el trayecto  $t$ . 0 en caso contrario.

## 2.4 Función Objetivo

$$\min \sum_{v \in V} [(\sum_{t \in T} (x_{v,t} \cdot k_t \cdot (\sum_{c \in C} (i_{v,c,t} \cdot O_c) + W_v))) \cdot \rho_v]$$

## 2.5 Restricciones

- El peso de la carga del vehículo  $v$  no debe superar el máximo permitido

$$\sum_{h \in H} g_{h,v,t} \cdot P_h + \sum_{c \in C} i_{v,c,t} \cdot O_h \leq M_v, \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

- La cantidad de vehículos  $v$  usados en el trayecto  $t$  no debe superar la cantidad disponible de vehículos

$$\sum_{v \in V} x_{v,t} \leq V, \quad \forall t \in T$$

- El peso mínimo de la carga del vehículo  $v$  tiene que ser mayor o igual al 50% de la carga máxima de este

$$0.5M_v \leq \sum_{h \in H} g_{h,v,t} \cdot P_h + \sum_{c \in C} i_{v,c,t} \cdot O_h, \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

- Los costos de transporte del tour no deben superar el presupuesto para transporte

$$\sum_{v \in V} [(\sum_{t \in T} x_{v,t} \cdot k_t) \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \cdot (S \cdot B_v + R \cdot D_v)] \leq \tau$$

- Los costos de sueldos no deben superar el presupuesto de salario

$$\sum_{v \in V} \sum_{t \in T} x_{v,t} \cdot \omega_{v,t} \leq Q, \quad \forall t \in T$$

- Los gastos totales deben ser menor o igual al presupuesto final

$$\sum_{v \in V} \sum_{t \in T} x_{v,t} \cdot w_{v,t} + \sum_{v \in V} [(\sum_{t \in T} x_{v,t} \cdot k_t) \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \cdot (S \cdot B_v + R \cdot D_v)] \leq U$$

- En cada trayecto se deben transportar todos los elementos

$$\sum_{v \in V} \sum_{c \in C} i_{v,c,t} \leq L, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{c \in C} i_{v,c,t} \geq L, \quad \forall t \in T$$

- En cada trayecto se deben transportar todas las personas

$$\sum_{v \in V} \sum_{h \in H} g_{v,h,t} \leq H, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{h \in H} i_{v,h,t} \geq H, \quad \forall t \in T$$

- Naturaleza de las variables

$$x_{v,t} \in \{0, 1\}$$

$$i_{v,c,t} \in \{0, 1\}$$

$$g_{v,h,t} \in \{0, 1\}$$

## Referencias

- Muñoz, I., Canals, L. M. I., & Fernández-Alba, A. R. (2010). Life cycle assessment of the average Spanish diet including human excretion. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(8), 794-805. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0188-z>
- Arts, B. (s/f). *Managing the carbon impacts of our touring*. Juliesbicycle.com. Recuperado el 2 de septiembre de 2023, de [https://judiesbicycle.com/wp-content/uploads/2022/01/MA\\_Vol1\\_Touring\\_Bands\\_Report\\_2010.pdf](https://judiesbicycle.com/wp-content/uploads/2022/01/MA_Vol1_Touring_Bands_Report_2010.pdf)
- Brennan, M. (2020b). The environmental sustainability of the music industries. En *Springer eBooks* (pp. 37-49). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49384-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49384-4_4)
- Zambra, D. (2023). *Los conciertos y festivales que no te puedes perder el segundo semestre de 2023*. finde.latercera.com. Recuperado el 3 de septiembre de 2023, de <https://finde.latercera.com/musica/conciertos-chile-2023-festivales-agosto/>