1 Modelación del problema

A continuación, se presentará el modelo planteado creado para optimizar el problema.

1.1 Conjuntos

Los conjuntos definidos para la resolución del problema son los siguientes:

- m: Medicamentos {1,...,M}
- m_p: Medicamentos que provee el productor p {1,...,M_p}
- c_p: Camiones disponibles por productor p {1,...,C_p}
- c_d: Camiones disponibles por CENABAST {1,...,C_d}
- p: Productores {1,...,P}
- c: Centros a repartir {1,...,C}
- d: Días a planificar {1,...,D}

1.2 Parámetros

Los parámetros definidos son los siguientes:

- v_m: Volumen del medicamento m.
- a_m: Duración del medicamento m antes de su vencimiento.
- b_m^p: Costo de transporte del productor p por unidad del medicamento m a las bodegas.
- e: Volumen que pueden transportar los camiones de los productores.
- f_p: Costo fijo por uso de camión del productor p.
- c: Costo de arriendo por bodega.
- g: Volumen por bodega.
- M: Valor numérico mucho mayor que cero.
- h_b: Tiempo de transporte entre bodegas y centro b.
- i_b: Costo de transporte por recorrido entre bodega y centro b.
- j_c: Volumen que puede mover el camión c de la CENABAST.
- d_{mb}^d: Demanda del medicamento m en el centro b el día d.
- K_b: Volumen de almacenamiento del centro b.

- l_b^a: Tiempo de transporte entre centros a y b.
- m_b^a: Costo de transporte por recorrido entre centros b y a.
- t: Tiempo máximo de trabajo del camión.
- ϵ_p: Intervalo de días en que el producto p no va a dejar medicamentos a ningun centro.
- s_m: Unidades almacenadas del medicamento m en bodegas al inicio del programa.
- t_m^b: Unidades almacenadas del medicamento m en centro b al inicio del programa.
- γ_p: Volumen mínimo requerido por el productor p para despachar los medicamentos.

1.3 Variables

Las variables creadas para la resolución del problema son las siguientes:

- X_{pc}^{md}: Unidades transportadas del medicamento m por el camión c del productor p el día d.
- Y_{pc}^{d}:

$$\begin{cases} 1 & \text{Si el camión } c \text{ del productor } p \text{ va a bodegas el día } d. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

- W_m^d: Unidades almacenadas del medicamento m en bodegas desde el día d hasta siguiente día $(d+1)$.
- Z_m^d:

$$\begin{cases} 1 & \text{Si llega medicamento } m \text{ a la bodega el día } d. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

- β: Número de bodegas que se deben arrendar.
- u_{cb}^d:

$$\begin{cases} 1 & \text{Si el camión } c \text{ va desde las bodegas al centro } b \text{ el día } d. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

- r_{mc}^{bd}: Unidades transportadas del medicamento m por el camión c al centro b el día d.
- q_{bm}^d: Unidades almacenadas del medicamento m en el centro b el día d.

- p_{ab}^{cd}:

$$\begin{cases} 1 & \text{Si el camión } c \text{ va desde el centro } a \text{ al centro } b \text{ el día } d\ (a \neq b). \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

- o_{cab}^{md}: Unidades transportadas del medicamento m por el camión c desde centro a al centro b el día d.

- f_{cb}^{d}:

$$\begin{cases} 1 & \text{Si el camión } c \text{ va desde el centro } b \text{ a las bodegas el día } d. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

- ll_{bc}^{md}: Unidades transportadas del medicamento m por el camión c desde el centro b a las bodegas el día d.

1.4 Función objetivo

El objetivo es minimizar los costos asociados al uso de bodegas y transportes, que conlleva igualmente que no exista vencimiento de remedios en las bodegas. Entonces, la función objetiva estaría definida de la siguiente forma:

$$\sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{c \in C_p} (Y_{pc}^{d} * f_p + \sum_{m \in M_p} (X_{pc}^{md} * b_{pm})) + \beta_c + \sum_{d \in D} \sum_{c \in C_d} \sum_{b \in C} ((u_{cb}^{d} + f_{cb}^{d}) * i_b + \sum_{a \in C} p_{ab}^{cd} * m_b^a)$$

1.5 Restricciones

1. Se transportarán medicamentos sólo si existe pedido ese día.

$$\sum_{m \in M_p} X_{pc}^{md} \leq Y_{pc}^{d} * M; \forall d \in D; \forall p \in P; \forall c \in C_p$$

2. No se puede sobrepasar el volumen máximo de los camiones de los productores.

$$\sum_{m \in M_p} X_{pc}^{md} * v_m \leq e; \forall d \in D; \forall p \in P; \forall c \in C_p$$

3. Se debe cumplir el volumen mínimo requerido por el productor para que este haga el despacho de los medicamentos.

$$\sum_{m \in M_p} \sum_{c \in C_p} X_{pc}^{md} * v_m \leq \sum_{c \in C_p} Y_{pc}^{d} * \gamma_p; \forall p \in P; \forall d \in D$$

4. Inventario dentro de bodegas.

$$W_m^d = W_m^{d-1} + \sum_{p \in P} \sum_{c \in C_p} X_{pc}^{md} + \sum_{b \in C} \sum_{c \in C_d} ll_{bc}^{md} - \sum_{b \in C} \sum_{c \in C_d} r_{mc}^{bd}; \forall d \in D; \forall m \in M$$

$$W_m^0 = s_m; \forall m \in M$$
$$W_m^D = 0; \forall m \in M$$

5. Se transportarán medicamentos sólo si existe transporte ese día.

$$\sum_{m \in M} r_{mc}^{bd} \leq u_{cb}^d * M; \forall d \in D; \forall c \in C_d; \forall b \in C$$

6. Cada camión sólo sale una vez de las bodegas al día.

$$\sum_{b \in C} u_{cb}^d = 1; \forall d \in D; \forall c \in C_d$$

7. No se puede sobrepasar el volumen máximo de los camiones de la CENABAST.

$$\sum_{m \in M} (r_{mc}^{bd} * v_m) \leq j_c; \forall d \in D; \forall c \in C_d; \forall b \in C$$

8. Transportar unidades de medicamentos sólo si existe transporte ese día.

$$\sum_{m \in M} o_{cab}^{md} \leq p_{ab}^{cd} * M; \forall d \in D; \forall c \in C_d; \forall a, b \in C$$

9. No sobrepasar el volumen de los camiones en repartos entre centros.

$$\sum_{m \in M} (o_{cab}^{md} * v_m) \leq j_c; \forall d \in D; \forall c \in C_d; \forall a, b \in C$$

10. Continuidad de flujo en los centros.

$$q_{bm}^d = q_{bm}^{d-1} + \sum_{b \in C} (r_{mc}^{bd} + \sum_{a \in C} (o_{cab}^{md} - o_{cab}^{md}) - ll_{bc}^{md}) - d_{mb}^d; \forall d \in D; \forall m \in M; \forall b \in C$$
$$q_{bm}^0 = t_m^b; \forall m \in M; \forall b \in C$$
$$q_{bm}^D = 0; \forall m \in M; \forall b \in C$$

11. No exceder el volumen máximo de almacenamiento de los centros.

$$\sum_{m \in M} (q_{bm}^d * v_m) = K_b; \forall b \in C; \forall d \in D$$

12. Se transportarán unidades sólo si existe transporte ese día.

$$\sum_{m \in M} ll_{bc}^{md} \leq f_{cb}^d * M; \forall b \in C; \forall d \in D; \forall c \in C_d$$

13. Camiones sólo vuelven a la bodega una vez al día.

$$\sum_{b \in C} f_{cb}^{d} = 1; \forall d \in D; \forall c \in C_d$$

14. No exceder volumen máximo de los camiones que transportan entre centros.

$$\sum_{m \in M} (ll_{bc}^{md} * v_m) \leq j_c; \forall b \in C; \forall d \in D; \forall c \in C_d$$

15. Cada camión como máximo entra una vez a cualquier centro en un mismo día.

$$u_{cb}^{d} + \sum_{a \in C} p_{ab}^{cd} \leq 1; \forall c \in C_d; \forall d \in D; \forall b \in C$$

16. Cada camión como máximo sale una vez de cualquier centro en un mismo día.

$$f_{cb}^{d} + \sum_{a \in C} p_{ba}^{cd} \leq 1; \forall c \in C_d; \forall d \in D; \forall b \in C$$

17. Si se entra a un centro dentro de un día, se debe salir del mismo dentro del mismo día.

$$u_{cb}^{d} + \sum_{a \in C} p_{ab}^{cd} = f_{cb}^{d} + \sum_{a \in C} p_{ba}^{cd}; \forall c \in C_d; \forall d \in D; \forall b \in C$$

18. No superar las horas de trabajo máximas de los camiones de la CENABAST.

$$\sum_{b \in C} (u_{cb}^{d} * h_b + \sum_{a \in C} p_{ab}^{cd} * l_b^a + f_{cb}^{d} * h_b); \forall c \in C_d; \forall d \in D$$

19. Definición de variable β.

$$\sum_{m \in M} (W_m^d * v_m) \leq g * \beta; \forall d \in D$$

20. Demanda de un día se debe satisfacer con el inventario del día anterior.

$$q_{bm}^{d-1} \geq d_{bm}^{d}; \forall d \in D; \forall b \in C; \forall m \in M$$

21. Para evitar vencimiento, se debe cumplir que no existan más unidades que las que se puedan vencer dentro del circuito.

$$W_m^d + \sum_{b \in C} q_{bm}^{d} \leq \sum_{i=d}^{d+a_m} \sum_{b \in C} d_{mb}^{i}; \forall d \in \{1, ..., D - a_m\}; \forall m \in M$$

22. Para evitar vencimiento, se debe cumplir que no haya más unidades de medicamentos necesarios para satisfacer la demanda hasta el día de vencimiento almacenados en un centro.

$$q_{bm}^{d} \leq \sum_{i=d+1}^{d+a_m} d_{mb}^{i}; \forall m \in M; \forall b \in C; \forall d \in \{1, ..., D - a_m\}$$

23. El productor solo proveerá cada cierta cantidad de días, no antes de eso.

$$\sum_{i=d}^{d+\epsilon_p} \sum_{c \in C_p} Y_{pc}^{i} = 1; \forall p \in P; \forall d \in \{1, ..., D - \epsilon_p\}$$

24. Activación de variable Z_m^d.

$$\sum_{p \in P} \sum_{c \in C_p} X_{pc}^{md} \leq Z_m^d * M; \forall m \in M; \forall d \in D$$

25. El día que llegue un cierto medicamento a las bodegas, no debe existir de este medicamento dentro de ellas, con el fin de evitar vencimiento y aprovechar espacio.

$$W_m^{d-1} \leq (1 - Z_m^d) * M; \forall m \in M; \forall d \in D$$

26. La cantidad almacenada de un medicamento por vencer en el centro b no exceda a la cantidad demandada en el mismo centro hasta el día de su vencimiento.

$$q_{bm}^{d-1} - M*(1-Z_m^l) \leq Z_m^d * \sum_{i=d}^{l+a_m} + M*(1-Z_m^d) + M*(\sum_{i=l+1}^{d-1} Z_m^i); \forall b \in C; \forall m \in M$$

$$\forall d \in D; \forall l \in \{1, ..., D - a_m\} : l < d$$

27. Evitar el movimiento entre distintos centros de medicamentos que llegaron un día l, despues de la llegada de más medicamentos del mismo tipo un día d $(d > l)$ con tal de evitar el vencimientos de los medicamentos que llegaron el día l.

$$q_{bm}^{a} \geq q_{bm}^{d-1} - \sum_{i=d}^{a} d_{mb}^{i} - M * (1 - Z_m^d) - M * (1 - Z_m^l); ; \forall b \in C; \forall m \in M$$

$$\forall d \in D; \forall l \in \{1, ..., D - a_m\}; \forall a \in \{d + 1, ..., min(D, l + a_m)\}$$

28. Naturaleza de las variables.

$$X_{pc}^{md} \geq 0; \forall m \in M; \forall c \in C_d; \forall d \in D; \forall b \in C$$

$$Y_{pc}^{d} \in \{0,1\};\forall c \in C_d;\forall d \in D;\forall b \in C$$
$$W_{m}^{d} \geq 0;\forall d \in D;\forall m \in M$$
$$Z_{m}^{d} \in \{0,1\};\forall d \in D;\forall m \in M$$
$$\beta \geq 0;$$
$$u_{cb}^{d} \in \{0,1\};\forall d \in D;\forall c \in C_d;\forall b \in C$$
$$r_{mc}^{bd} \geq 0;\forall b \in C;\forall d \in D;\forall c \in C_d;\forall m \in M$$
$$q_{bm}^{d} \geq 0;\forall d \in D;\forall b \in C;\forall m \in M$$
$$p_{ab}^{cd} \in \{0,1\};\forall d \in D;\forall c \in C_d;\forall a \in C;\forall b \in B$$
$$o_{cab}^{md} \geq 0;\forall m \in M;\forall d \in D;$$
$$\forall c \in C_d;\forall a \in C;\forall b \in C$$
$$f_{cb}^{d} \in \{0,1\};\forall b \in C;\forall c \in C_d;\forall d \in D$$
$$ll_{bc}^{md} \geq 0;\forall b \in C;\forall d \in D;\forall c \in C_d;\forall m \in M$$