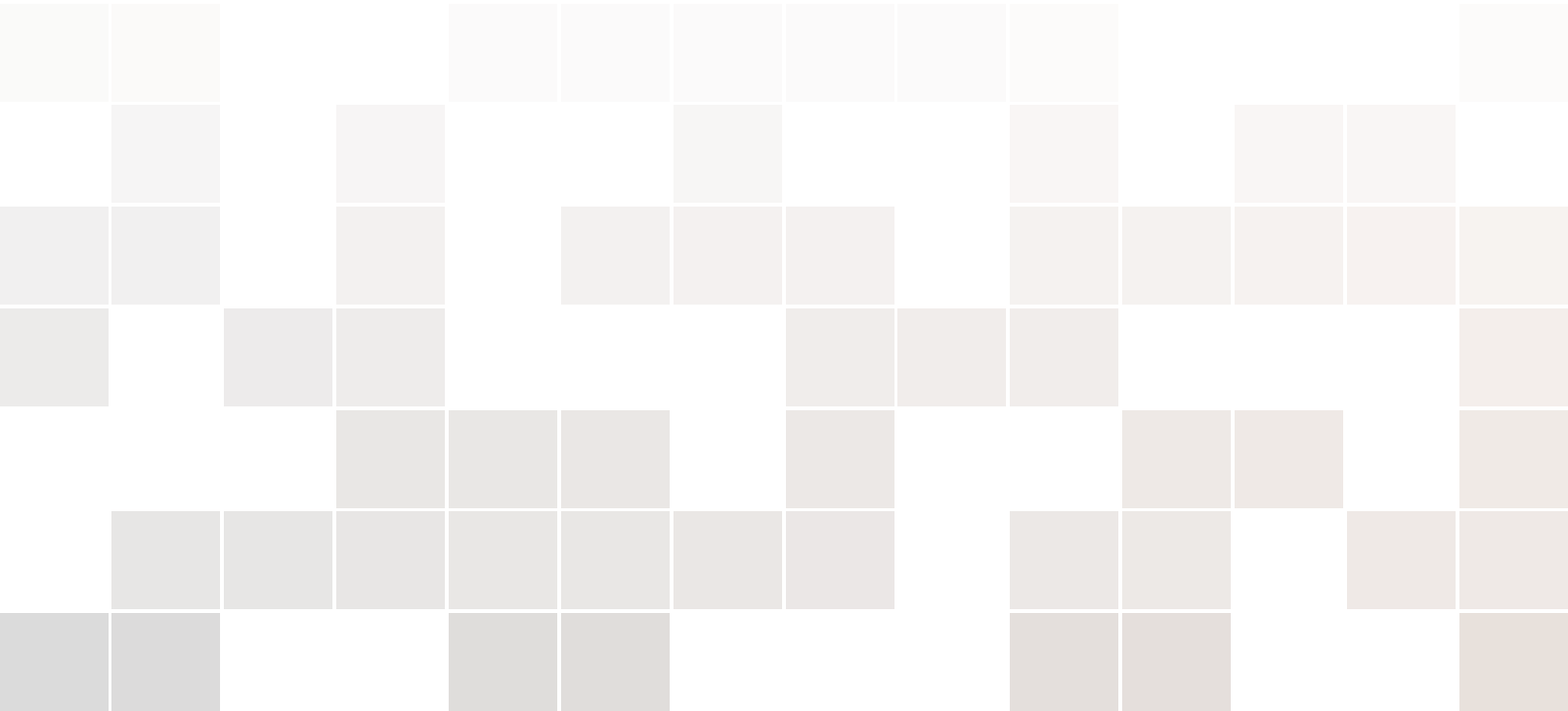




# Aplicación computacional para la evaluación de ofertas económicas, licitación de energía 2021

## Manual de Usuario

29 de junio de 2021



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Condiciones necesarias para que la aplicación pueda ser utilizada.</b>	<b>2</b>
<b>3. Estructura de la aplicación</b>	<b>2</b>
<b>4. Modo de uso</b>	<b>3</b>
4.1. Resumen mecanismo de adjudicación . . . . .	3
4.2. Ingreso de datos . . . . .	5
4.2.1. Hoja Configuración. . . . .	5
4.2.2. Hoja Indexadores. . . . .	6
4.2.3. Hoja Proponentes. . . . .	7
4.2.4. Hoja Ofertas . . . . .	8
4.2.5. Hoja Restricciones . . . . .	9
4.3. Ejecución de la licitación . . . . .	10
4.4. Interpretación de los resultados . . . . .	11
4.4.1. Hoja Reporte de Bloques . . . . .	11
4.4.2. Hoja Reporte de Ofertas . . . . .	11
4.4.3. Hoja Bloques Subasta . . . . .	12

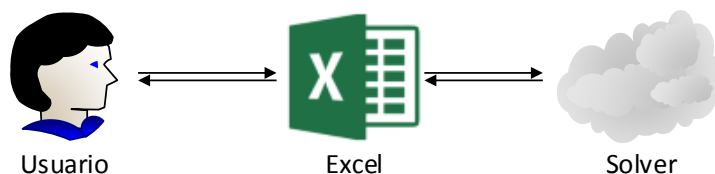


Figura 1: Representación general de la arquitectura de la aplicación.

## 1. Introducción

En el marco del proceso de licitación pública de suministro de energía 2021/01, cuyo objetivo es que las concesionarias de distribución dispongan de contratos de suministro de largo plazo para satisfacer los consumos de sus clientes sometidos a regulación de precios, se ha desarrollado una aplicación computacional que permite automatizar el proceso de adjudicación de dicha licitación. El presente documento corresponde al manual de usuario de la aplicación computacional ya mencionada.

Esta aplicación está diseñada específicamente para resolver los modelos de optimización descritos en los literales 9.2.4.2.c, 9.2.4.2.f y 9.2.4.2.h de las bases; denominados en este manual como *modelo 1*, *modelo 2* y *modelo 3* respectivamente. Debido a la complejidad computacional de dichos modelos, se utiliza un motor de cálculo especializado en problemas de programación entera (*solver*) para su resolución. El ingreso de datos de entrada y la obtención de resultados se realiza a través de una interfaz de usuario implementada en un entorno de Microsoft Excel. De esta forma se combina la versatilidad y ubicuidad de Microsoft Excel y el poder computacional de un *solver* especializado (ver Figura 1).

En la práctica, la aplicación es un archivo Excel (con extensión *xlsm*<sup>1</sup>) que funciona siempre y cuando se encuentre en el mismo directorio que 2 carpetas adjuntas que contienen el motor de cálculo y los modelos matemáticos correspondientes. El presente documento no pretende explicar de forma exhaustiva el funcionamiento interno de la aplicación, sino que abarcar lo pertinente a nivel de usuario de la forma más clara posible para garantizar su uso adecuado y máximo aprovechamiento.

---

<sup>1</sup>Habilitado para macros.

## 2. Condiciones necesarias para que la aplicación pueda ser utilizada.

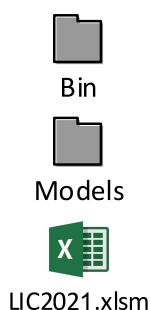


Figura 2: Elementos en el directorio principal de la aplicación.

La aplicación consiste en un libro Excel, que por defecto se llama LIC2021.xlsm, y que debe funcionar necesariamente en el mismo directorio que la carpeta Bin y la carpeta Models. **Estas carpetas no deben ser modificadas desde que se hace efecto la entrega de la aplicación.**

Pueden haber varias copias del archivo LIC2021.xlsm para tratar diferentes casos de estudio. Por ejemplo, LIC2021\_caso1.xlsm, LIC2021\_caso2.xlsm, etc. Como se dijo anteriormente, la condición que debe cumplirse es que estén contenidas en el mismo directorio que las carpetas Bin y Models.

## 3. Estructura de la aplicación

La estructura del libro Excel LIC2021.xlsm está pensada para ser lo más modularizada y estándar posible, con tal de facilitar el tratamiento posterior de los datos de salida, por parte del usuario. Por esta razón se ha escogido que a cada tabla le corresponda una hoja diferente del libro, con una estructura fija. Esto facilitará el tratamiento de los resultados a través de macros de Excel u otro tipo de herramientas de análisis. A continuación se presenta un breve resumen con la descripción de las diferentes hojas que componen el libro. Se ha hecho explícito cuales actúan como entrada en la aplicación (input) y cuales son resultado de la resolución del mecanismo de adjudicación (output).

### Configuración (input)

Se encuentran los parámetros globales usados como datos para llevar a cabo el mecanismo de adjudicación. Además funciona como el panel principal de la aplicación.

### Indexadores (input)

Tabla con los valores para las distintas proyecciones de precios de combustibles <sup>2</sup> para el cálculo del precio nivelado.

### Bloques (input)

Los bloques que se van a licitar. La información de cada bloque comprende el número de sub-bloques, la energía licitada, el precio de reserva y el margen de reserva.

---

<sup>2</sup>Según el Annual Energy Outlook 2021 del U.S. Energy Information Administration (EIA).

**Proponentes (input)**

Listado con los proponentes que ofertan en la licitación, la suma de las boletas de garantía con la que cada uno respalda sus ofertas y la respuesta a la consulta sobre si participa, en caso de haber ofertado por sobre el precio de reserva.

**Ofertas (input)**

Ofertas realizadas por los proponentes de la licitación.

**Restricciones (input)**

Listado de las ofertas ligadas, de acuerdo al documento 16 de presentación de ofertas con restricción.

**Reporte Bloques (output)**

Reporte sobre los bloques, principalmente acerca del nivel de cobertura de cada bloque luego de ejecutada la adjudicación.

**Reporte Ofertas (output)**

Reporte de adjudicación de cada oferta en específico.

**Bloques Subasta (output)**

Reporte con los sub-bloques que participan de la subasta, según el literal (h) del numeral 9.2.4.2 de las respectivas bases.

## **4. Modo de uso**

El mecanismo de adjudicación es entendido según el numeral 9.2.4 de las bases y se encuentra resumido en el diagrama de la Figura 3. La intención, en parte, es que no sea necesario comprender en detalle el mecanismo de adjudicación para hacer uso de esta aplicación. A grandes rasgos, funciona siguiendo los pasos descritos a continuación.

### **4.1. Resumen mecanismo de adjudicación**

1. Se recibe un conjunto de ofertas, cada una asociada a un bloque y un proponente determinado.
2. Se verifica que la energía total ofertada por cada proponente esté respaldada con las boletas de garantía que haya presentado.
3. Se resuelve la adjudicación de las ofertas para los bloques N°1-A, N°1-B y N°1-C
  - a) **ETAPA 1 - Modelo 1:** Se elige el conjunto de ofertas más conveniente, es decir, que minimice el precio nivelado medio ponderado del conjunto conformado por los Bloques de Suministro N°1-A, N°1-B y N°1-C. Si esta adjudicación abastece el consumo entonces resultan oficialmente adjudicadas las ofertas pertenecientes a dicho conjunto. En caso contrario se pasa a la segunda etapa.

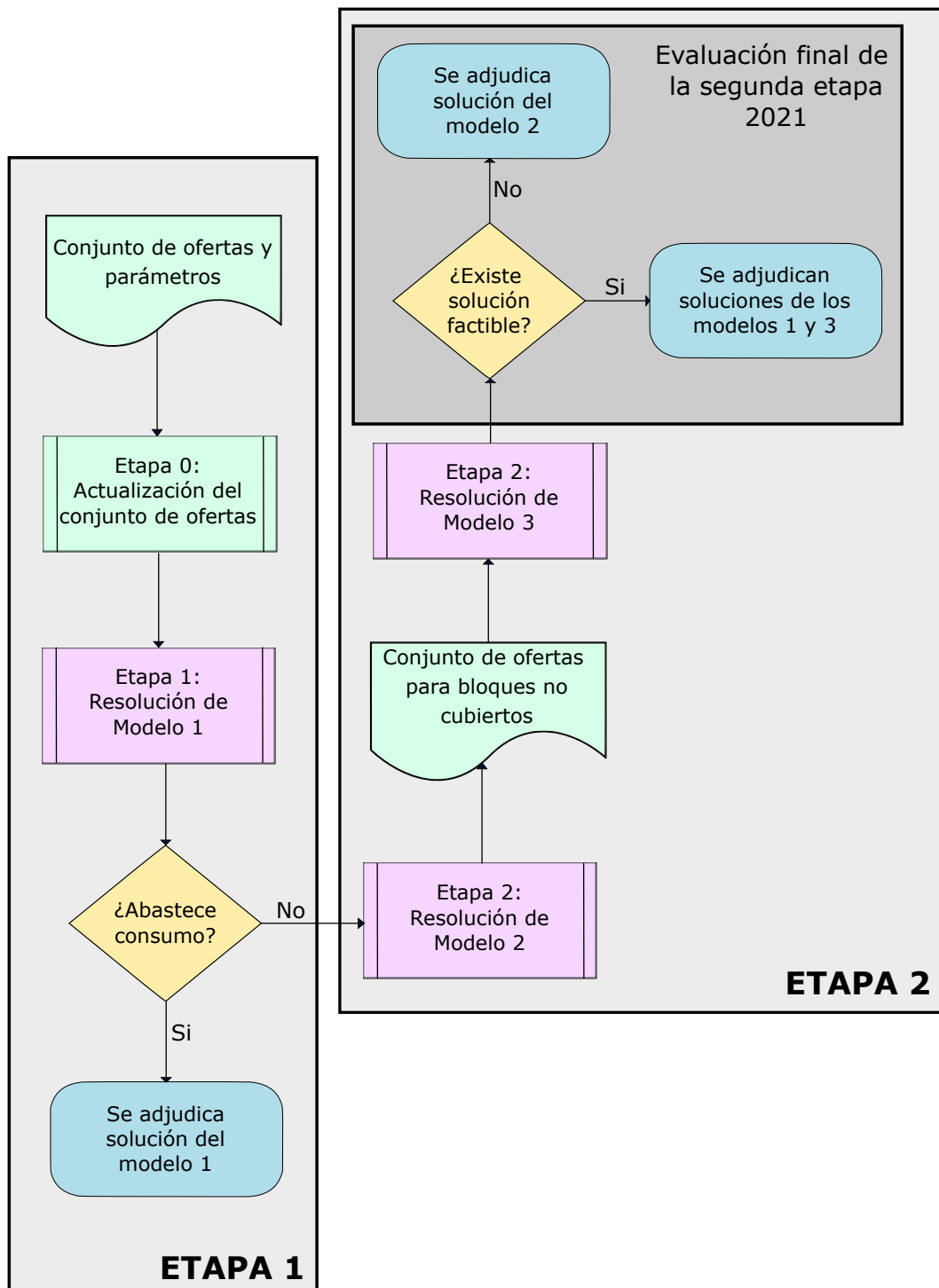


Figura 3: Diagrama de flujo mecanismo de adjudicación.

- b) **ETAPA 2 - Modelo 2:** Se elige el conjunto de ofertas más conveniente al igual que en primera etapa pero sujetas a la restricción de que la combinación contemple la adjudicación de la misma cantidad de sub-bloques para cada bloque de suministro N°1-A, N°1-B y N°1-C. El precio medio ponderado por cada bloque que da como resultado del conjunto de ofertas seleccionadas en esta etapa se usa como información para realizar una subasta por los sub-bloques no adjudicados en primera etapa.
- c) **ETAPA 2 - Modelo 3:** Se comunica la apertura de una subasta por los sub-bloques no adjudicados en primera etapa y se vuelven a recibir ofertas por dichos sub-bloques. El criterio para elegir la combinación de ofertas más conveniente es el mismo que en primera etapa, minimizando el precio nivelado medio ponderado del conjunto conformado por los bloques de suministro N°1-A, N°1-B y N°1-C. Sin embargo, se agrega la restricción de que todos los sub-bloques subastados deben ser adjudicados (suficiencia). En caso de que el Modelo 3 sea infactible, se adjudicarán las ofertas elegidas con el Modelo 2 descrito en el punto anterior.

El procedimiento para resolver la adjudicación con esta aplicación es bastante simple:

1. Se ingresa la información requerida por las hojas correspondientes a la entrada (input)
2. Se selecciona el modelo que se resolverá
3. Se ejecuta la aplicación

En las siguientes secciones se explicará detalladamente cómo ingresar los datos de entrada necesarios, cómo seleccionar el modo de uso pertinente y cómo interpretar los resultados obtenidos luego de ejecutar la aplicación.

## 4.2. Ingreso de datos

La data de entrada requerida para llevar a cabo la adjudicación se detallará a continuación. El formato de entrada de datos se encuentra detallado en los siguientes párrafos<sup>3</sup>.

### 4.2.1. Hoja Configuración.

PARÁMETROS DEL PROCESO DE ADJUDICACIÓN	
Número de bloques	3
Número de proponentes	6
Número de ofertas	18
Número de restricciones	7

PARÁMETROS PARA EL CALCULO DEL PRECIO NIVELADO	
Número de años considerados para la proyección (N)	5
Tasa de descuento anual (r)	0.1
Año de inicio de suministro (Inicio)	5

<sup>3</sup>Si, por parte del usuario, hay un error en el ingreso de datos aparecerá un mensaje de aviso en pantalla.

**Número de bloques**

Número entero positivo correspondiente a la cantidad de bloques involucrados en la licitación. Originalmente existen 3 bloques: N° 1-A, N° 1-B y N° 1-C.

**Número de proponentes**

Número entero positivo correspondiente a la cantidad de proponentes considerados en la licitación.

**Número de ofertas**

Número entero positivo correspondiente a la cantidad total de ofertas presentadas en la licitación.

**Número de restricciones**

Número entero positivo correspondiente a restricciones binarias entre ofertas. Las restricciones entre ofertas se ingresan como restricciones entre pares de ofertas, por ejemplo, si un proponente ingresa una restricción que requiera adjuntar de forma conjunta tres ofertas, denominadas ofertaA, ofertaB y ofertaC; dicha restricción se debe representar como ligas entre pares, e.g., ofertaA - ofertaB y ofertaB - ofertaC. Lo anterior cuenta como 2 restricciones. Dicho de otra forma, el Número de Restricciones representa el número de filas correspondientes a restricciones binarias en la Hoja de Restricciones.

**Parámetros para el cálculo del precio nivelado**

Estos parámetros están descritos en el numeral 9.2.4.1 de las bases y en este cuadro tienen la misma nomenclatura. De la misma forma, en la hoja configuración se encuentra explícita una tabla con los indexadores usados en el cálculo del precio nivelado de las ofertas.

**4.2.2. Hoja Indexadores.**

INDEXADORES			
Índice	Pldiesel	Plbrent	Plgnl
<b>Campo Annual Energy Outlook 2017</b>	Real Petroleum Prices: Industrial: Distillate Fuel Oil	Real Petroleum Prices: Crude Oil: Brent Spot	Natural Gas: Henry Hub Spot Price
<b>Unidad</b>	dólares de 2020 por galón	dólares de 2020 por barril	dólares de 2020 por millón de Btu
2021	2.443357	46.575745	3.100730
2022	2.466678	49.829048	3.225684
2023	2.584616	54.863232	2.992324
2024	2.596244	58.333694	2.801792
2025	2.577383	61.118706	2.880324
2026	2.548840	64.106987	2.984331
2027	2.589945	66.325333	3.042141
2028	2.654747	68.645477	3.175510
2029	2.685789	70.636726	3.290631
2030	2.741487	72.755272	3.343955



Tabla con los valores para las distintas proyecciones de precios de combustibles, según el Annual Energy Outlook 2021 del U.S. Energy Information Administration (EIA), para el cálculo del precio nivelado.

#### 4.2.3. Hoja Proponentes.

PROPONENTES			
ID	Nombre Proponente	Boletas de Garantía [UF]	Participa?
1	GEN_CO_1	1000000	1
2	GEN_CO_2	1000000	1
3	GEN_CO_3	1000000	0
4	GEN_CO_4	1000000	1
5	GEN_CO_5	1000000	1
6	GEN_CO_6	1000000	1

**ID** Es el identificador numérico del proponente respectivo a cada fila. Deben ser números enteros positivos ordenados desde el 1.

##### Nombre del proponente

Corresponde al identificador literal, usualmente se usa una abreviación del nombre. Este atributo solo se usa para facilitar la identificación por el usuario, no se utiliza internamente en los cálculos.

##### Boletas de Garantía (UF)

Corresponde al monto total, en UF, de las boletas de garantía de seriedad de la oferta o boletas de garantía de constitución de sociedad anónima o sociedad por acciones de giro generación de electricidad.

#### 4.2.4. Hoja Ofertas

OFERTAS ECONÓMICAS DE SUMINISTRO											
ID	Nombre Oferta	N° proponente	N° bloque de suministro	N° mínimo de Sub-bloques de la Oferta	N° máximo de Sub-bloques de la Oferta	Precio de Oferta de energía (US\$/MWh)	Coeficientes de indexación				Modifica?
							a1	a2	a3	a4	
1	Oferta_1_1	1	1	65	65	60	0.2	0.2	0.2	0.4	0
2	Oferta_1_2	1	2	65	65	91	0	0.4	0.3	0.3	0
3	Oferta_1_3	1	3	65	65	92	0.2	0.2	0.2	0.4	0
4	Oferta_2_1	2	1	55	55	100	0.2	0.3	0.1	0.4	0
5	Oferta_2_2	2	2	55	55	100	0.2	0.3	0.2	0.3	0
6	Oferta_2_3	2	3	55	55	88	0	0	0	1	0
7	Oferta_2_4	2	1	65	70	95	0.6	0	0	0.4	0
8	Oferta_2_5	2	2	65	70	97	0	0	0	1	0
9	Oferta_2_6	2	3	65	70	88	0	0.5	0	0.5	0
10	Oferta_3_1	3	1	70	70	100	0.3	0.2	0	0.5	0
11	Oferta_3_2	3	2	65	65	89	0	0	0	1	0
12	Oferta_3_3	3	3	60	60	91	0	0	0	1	0
13	Oferta_4_1	4	1	45	45	100	0	0	0	1	0
14	Oferta_4_2	4	2	65	65	88	0	0	0	1	0
15	Oferta_4_3	4	3	55	55	90	0	0	0	1	0
16	Oferta_5_1	5	1	60	60	92	0	0	0	1	0
17	Oferta_5_2	5	2	55	55	90	0	0	0	1	0
18	Oferta_5_3	5	3	80	80	89	0	0	0	1	0

**ID** Identificador numérico de la oferta respectiva a cada fila. Deben, necesariamente, ser números enteros positivos ordenados desde el 1.

#### Nombre Oferta

Identificador literal de cada oferta, no se usa en los cálculos internos.

#### ID Proponente

Identificador numérico asociado al proponente que realiza la oferta respectiva a la fila. Por supuesto debe corresponder a algún identificador numérico de la hoja de Proponentes.

#### ID Bloque de suministro

Identificador numérico asociado bloque sobre el cual está hecha la oferta respectiva. Actúa como foreign key para relacionarlo con la tabla de Bloques de suministro. Por supuesto debe corresponder a algún identificador numérico de la hoja de bloques.

#### N° Mínimo de sub-bloques ofertados

Es el número mínimo de sub-bloques ofertados. En este caso no es un parámetro opcional. Si se quiere ofertar solo una cantidad fija de sub-bloques entonces el N° Mínimo de sub-bloques ofertados debe ser igual al N° Máximo de sub-bloques ofertados. Debe ser un número entero positivo.

#### N° Máximo de sub-bloques ofertados

Es, según la nomenclatura de las bases, el “Número de sub-bloques ofertados”. Por supuesto, debe ser un número entero positivo, mayor que el N° Mínimo de sub-bloques ofertados.

#### Precio de Oferta de energía (US\$/MWh)

Es el precio de la energía que ofrece el proponente.

### Coeficientes de indexación a1,...,a4

Los coeficientes de indexación, o ponderadores, se utilizan en el cálculo del precio nivelado de acuerdo a lo descrito en el numeral 9.2.4.1 de las bases. Deben ser números reales positivos, cuya suma sea igual a uno.

### Modifica?

Este parámetro puede aceptar los valores de 1, 0 y -1 con el siguiente significado:

- 1:** Acepta modificar la oferta.
- 0:** No acepta modificar su oferta.
- 1:** No aplica. Esto quiere decir que la oferta proviene de una etapa anterior del proceso, por ejemplo, que se esté resolviendo la adjudicación para los bloques N°2-A, N°2-B, N°2-C, N°2-D y que hayan ofertas ligadas por todos los bloques que no hayan sido adjudicadas en la adjudicación de los bloques N°1-A, N°1-B, N°1-C

### 4.2.5. Hoja Restricciones

RESTRICCIONES				
ID	Nombre Restricción	ID Proponente	ID Oferta i	ID Oferta j
1	Restriccion_1_1_2	1	1	2
2	Restriccion_1_2_3	1	2	3
3	Restriccion_2_4_5	2	4	5
4	Restriccion_2_6_7	2	5	6
5	Restriccion_2_7_8	2	7	8
6	Restriccion_2_8_9	2	8	9
7	Restriccion_5_16_17	5	16	17

**ID** Identificador numérico de la restricción de la respectiva fila. Deben ser números enteros positivos que comiencen desde 1.

### Nombre Restricción

Identificador literal de la restricción. No se usa en cálculos internos.

### N° Oferta i

Representa el identificador numérico de la oferta i involucrada en la restricción correspondiente a la fila. El formato usado en la hoja representa las restricciones ligando las ofertas de a pares. En el caso que aparece como ejemplo, se puede apreciar que la oferta 1 esta ligada a la 6 y que la oferta 6 esta ligada a la 11, representando una restricción que une a las ofertas 1, 6 y 11, por lo tanto pese a representar las restricciones por pares de ofertas ligadas no hay perdida de generalidad para representar cualquier tipo de restricción.

Existe una condición de que no puede repetirse la misma oferta en otra celda de la misma columna. Esta condición es debido a que una misma oferta no puede aparecer en más de una restricción.

## Nº Oferta j

Representa el identificador numérico de la oferta j involucrada en la descripción. De tal forma que las ofertas i y j de la misma fila estarán ligadas.

### 4.3. Ejecución de la licitación

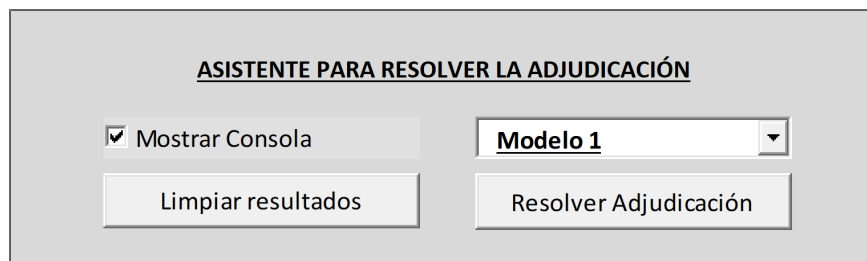


Figura 4: Panel principal en la hoja Configuración.

La hoja "Configuración" contiene al panel principal que se muestra en la Figura 4. Desde aquí se ejecutará el motor de cálculo una vez ingresados los datos necesarios como entrada. A continuación se caracterizan cada uno de los componentes del panel principal.

1. El selector de modelo es un cuadro de opciones que permite seleccionar entre tres posibles modelos matemáticos con los que resolver la adjudicación. El modelo 1 fue diseñado para cumplir con lo establecido en el literal (c) del numeral 9.2.4.2 Por lo tanto, se selecciona del total de combinaciones factibles a partir de las ofertas económicas ingresadas como entrada en la hoja Ofertas, aquélla que minimice el precio nivelado medio ponderado del conjunto conformado por los bloques de suministro ingresados como entrada en la hoja Bloques. Por otra parte, el Modelo 2 fue diseñado para resolver la adjudicación de acuerdo al literal (f) del numeral 9.2.4.2 Por lo tanto, se selecciona del total de combinaciones factibles a partir de las ofertas económicas ingresadas como entrada en la hoja Ofertas, aquélla que minimice el precio nivelado medio ponderado del conjunto conformado por los bloques de suministro ingresados como entrada en la hoja Bloques, sujeto a la condición de que la combinación contemple la misma cantidad de sub-bloques en cada bloque de suministro. Finalmente, el modelo 3 resuelve la adjudicación de acuerdo al literal 9.2.4.2.h. Este es equivalente al modelo 1 solo que con la restricción de que se deben abastecer todos los sub-bloques subastados.
2. Si se tiene interés en los procesos que suceden de fondo, es posible habilitar una consola cmd de Windows, al darle check a la pestaña de "Mostrar Consola", que estará imprimiendo en pantalla información sobre la resolución del problema de optimización asociado al mecanismo de adjudicación.
3. El botón "Limpiar resultados" vacía las hojas de resultados y las oculta.
4. El botón "Resolver Adjudicación" ejecuta la función principal de la aplicación y resuelve la adjudicación de acuerdo a la entrada previamente ingresada. Luego de haber presionado dicho botón, se llenan las hojas de resultados y se muestran.

## 4.4. Interpretación de los resultados

### 4.4.1. Hoja Reporte de Bloques

Config	BLOQUES								
ID	N° bloque de suministro	Energía Licitada (GWh)	Cantidad de Sub-bloques	Precio de Reserva (US\$/MWh)	Margen de Reserva (%)	Precio nivelado medio [US\$/MWh]	Cobertura	Energía Adjudicada [GWh]	Sub-bloques adjudicados
1	1-A	528	85	94	0.025	94.001	0	0	0
2	1-B	778	85	94	0.025	89.412	0.7647059	594.94118	65
3	1-C	394	85	94	0.025	89.294176	0.9411765	370.82353	80
						90.809982	0.5680969		

#### Precio nivelado medio (US\$/MWh)

Precio nivelado medio del bloque, en US\$/MWh.

#### Cobertura

Fracción cubierta por la adjudicación con respecto al total de sub-bloques del bloque.

#### Energía Adjudicada (GWh)

Energía adjudicada total del bloque en GWh

#### Sub-bloques adjudicados

Cantidad de sub-bloques adjudicados de la oferta.

#### Energía adjudicada (GWh)

Valor total de energía adjudicada correspondiente al bloque.

#### Sub-bloques adjudicados

Cantidad de sub-bloques adjudicados

### 4.4.2. Hoja Reporte de Ofertas

Config	OFERTAS ECONÓMICAS DE SUMINISTRO												
ID	Nombre Oferta	Nombre Proponente	N° bloque de suministro	N° mínimo de Sub-bloques de la Oferta	N° máximo de Sub-bloques de la Oferta	Precio de Oferta de energía (US\$/MWh)	Coeficientes de indexación				Precio nivelado	Sub-bloques adjudicados	Energía adjudicada [GWh]
							a1	a2	a3	a4			
1	Oferta_1_1	GEN_CO_1	1-A	65	65	60	0.2	0.2	0.2	0.4	66.669098	0	0
2	Oferta_1_2	GEN_CO_1	1-B	65	65	91	0	0.4	0.3	0.3	108.23284	0	0
3	Oferta_1_3	GEN_CO_1	1-C	65	65	92	0.2	0.2	0.2	0.4	102.22595	0	0
4	Oferta_2_1	GEN_CO_2	1-A	55	55	100	0.2	0.3	0.1	0.4	115.57749	0	0
5	Oferta_2_2	GEN_CO_2	1-B	55	55	100	0.2	0.3	0.2	0.3	115.7329	0	0
6	Oferta_2_3	GEN_CO_2	1-C	55	55	88	0	0	0	1	88	0	0
7	Oferta_2_4	GEN_CO_2	1-A	65	70	95	0.6	0	0	0.4	99.471266	0	0
8	Oferta_2_5	GEN_CO_2	1-B	65	70	97	0	0	0	1	97	0	0
9	Oferta_2_6	GEN_CO_2	1-C	65	70	88	0	0.5	0	0.5	108.31805	0	0
13	Oferta_4_1	GEN_CO_4	1-A	45	45	100	0	0	0	1	100	0	0
14	Oferta_4_2	GEN_CO_4	1-B	65	65	88	0	0	0	1	88	65	594.94118
15	Oferta_4_3	GEN_CO_4	1-C	55	55	90	0	0	0	1	90	0	0
16	Oferta_5_1	GEN_CO_5	1-A	60	60	92	0	0	0	1	92	0	0
17	Oferta_5_2	GEN_CO_5	1-B	55	55	90	0	0	0	1	90	0	0
18	Oferta_5_3	GEN_CO_5	1-C	80	80	89	0	0	0	1	89	80	370.82353

**Precio Nivelado**

Precio nivelado de la oferta en US\$/MWh.

**Sub-bloques adjudicados**

Cantidad de sub-bloques adjudicados de la oferta.

**Energía adjudicada (GWh)**

Energía total adjudicada de la oferta.

**4.4.3. Hoja Bloques Subasta**

Config	BLOQUES		
ID	N° bloque de suministro	Energía Licitada (GWh)	Cantidad de Sub-bloques
1	1-A	528	85
2	1-B	183.058824	20
3	1-C	23.1764706	5

**Cantidad de sub-bloques**

Cantidad de sub-bloques no adjudicados por el modelo ejecutado.

**Energía Licitada (GWh)**

Energía no adjudicada por el modelo de adjudicación ejecutado.