



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

TRABAJO FIN DE MÁSTER (MII)

***“EL COMERCIO INTERNACIONAL BAJO LA
PERSPECTIVA DE LA TEORÍA DE JUEGOS”***

Autor: Bárbara Claudia del Arroyo Perconig

Director: Félix Fernández Menéndez

Madrid

Junio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **Bárbara Claudia del Arroyo Perconig**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **EL COMERCIO INTERNACIONAL BAJO LA PERSPECTIVA DE LA TEORIA DE JUEGOS**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 18 de junio de 2019

ACEPTA

Bárbara Claudia del Arroyo Perconig

Fdo



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **EL COMERCIO INTERNACIONAL BAJO LA PERSPECTIVA DE LA TEORIA DE JUEGOS** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Bárbara Claudia del Arroyo Perconig Fecha: 18/06/2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Félix Fernández Menéndez Fecha: 18/06/2019

Índice de la memoria

Parte I	Memoria	14
Capítulo 1	Introducción.....	15
1.1	Motivación del proyecto	16
1.1.1	Riesgo del empleo	22
1.2	Objetivos	25
1.3	Metodología / Solución desarrollada.....	26
1.4	Recursos / herramientas empleadas	26
1.5	Conclusiones	27
Capítulo 2	Estudio del arte.....	28
2.1	Teoría de juegos	29
2.2	Acción individual o instituciones	33
2.3	Conclusiones	36
Capítulo 3	Análisis cualitativo.....	38
3.1	Conclusiones	42
Capítulo 4	Análisis cuantitativo.....	43
4.1	Funciones Objetivos y Restricciones	44
4.1.1	Regresión Estados Unidos	49
4.1.2	Regresión China	53
4.2	Planteamiento Problemas de Optimización.....	58
4.3	Relación entre las variables dependientes	61
4.4	Conclusiones	63
Capítulo 5	Resultados.....	64
5.1	Problema Básico.....	64

5.2	Problema Simple	75
5.3	Problema General.....	78
5.4	Conclusiones	81
<i>Capítulo 6</i>	<i>Conclusiones</i>	<i>83</i>
<i>Capítulo 7</i>	<i>Futuros desarrollos.....</i>	<i>86</i>
<i>Capítulo 8</i>	<i>Bibliografía.....</i>	<i>87</i>
<i>Parte II</i>	<i>ANEXOS.....</i>	<i>89</i>



Índice de figuras

Ilustración 1: Estudiantes internacionales entre EE.UU y China	16
Ilustración 2: Batalla arancelaria EE.UU – China	20
Ilustración 3: Sectores afectados por los aranceles en EE.UU y China.....	21
Ilustración 4: Aranceles históricos impuestos por EE.UU.....	21
Ilustración 5: Intercambio comercial entre EE.UU y China	22
Ilustración 6: Dependencia comercial EE.UU - China	23
Ilustración 7: Riesgo sector laboral en EE.UU	23
Ilustración 8: Dilema del Prisionero EE.UU - China.....	39
Ilustración 9: Modelo secuencial estrategias EE.UU - China.....	41
Ilustración 10: Correlación Y-X	61
Ilustración 11: Correlación X-Y	62

Índice de tablas

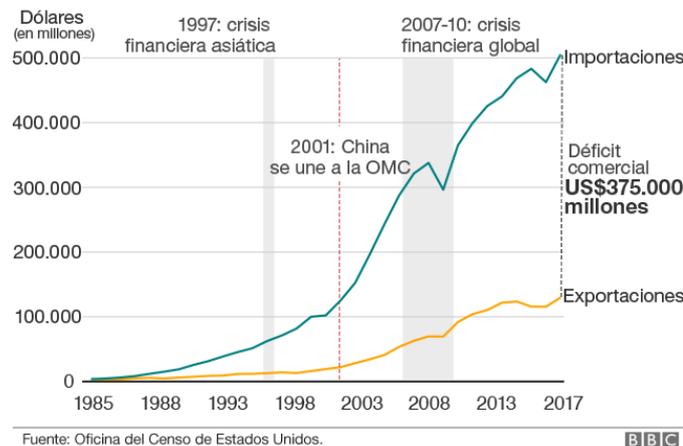
Tabla 1: Prioridades bilaterales por parte de EE.UU [2]	18
Tabla 2: Prioridades bilaterales por parte de China [2]	18
Tabla 3: Datos históricos exportaciones e importaciones de EE.UU con China ...	47
Tabla 4: Tabla 3: Resultados regresión F.O EE.UU 1	50
Tabla 5: Tabla 3: Resultados regresión F.O EE.UU 2	51
Tabla 6: Resultados regresión F.O EE.UU 3	52
Tabla 7: Resultados regresión F.O China 1	54
Tabla 8: Resultados regresión F.O China 2	55
Tabla 9: Resultados regresión F.O China 3	56
Tabla 10: Resultados regresión Y-X	62
Tabla 11: Resultados regresión X-Y	62
Tabla 12: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China	75
Tabla 12: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China	99
Tabla 12: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China	110

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

La principal motivación del proyecto ha sido tratar de analizar, desde la Teoría de Juegos, el conflicto comercial entre Estados Unidos y China debido al déficit comercial estadounidense de 336 mil millones de dólares en 2018. Dicho déficit se debe a que China exporta al país estadounidense 524 mil millones de dólares y únicamente importa 188 mil millones de dólares.

Comercio de productos entre EE.UU. y China



Para ello, se ha realizado un estudio de las posibles soluciones que pueden tomar ambos países. Dicho análisis se han compuesto de un estudio cualitativo haciendo referencia al equilibrio de Nash y un segundo estudio cuantitativo basado en la creación de un acuerdo bilateral entre EE.UU y China, mediante el uso de las herramientas MATLAB y GAMS.

2. ANÁLISIS CUALITATIVO

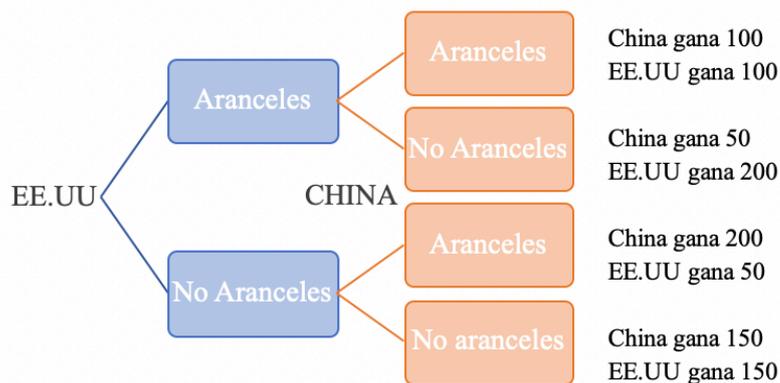
Se ha analizado la relación entre la política comercial de Estados Unidos y China, describiendo las decisiones que toman los países cuando tratan de influir en el resultado final de la interacción comercial.

A partir del dilema del prisionero se ha concluido que ambos países tienden hacia una estrategia proteccionista, donde el empleo de aranceles es la mejor respuesta

para ambas potencias, aun siendo esta un resultado sub-óptimo para ambos (Equilibrio de Nash).

		EE.UU	
		No Aranceles	Aranceles
CHINA	No Aranceles	China gana 150 EE.UU gana 150	China gana 50 EE.UU gana 200
	Aranceles	China gana 200 EE.UU gana 50	China gana 100 EE.UU gana 100

A la misma conclusión se ha llegado mediante una estrategia líder-seguidor basado en el equilibrio de Stackeberg, en el que el primero en actuar es EE.UU y China reacciona ante las decisiones tomadas previamente por el país estadounidense.



3. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Un resultado óptimo en el que cada país lleva una estrategia de libre comercio es posible si se realizan acuerdos bilaterales o mediante la existencia de una institución que regule el comercio internacional.

Se ha analizado la posibilidad de llevar a cabo un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y China a partir de los objetivos nacionales de cada país.

Para ello, se ha planteado un problema de optimización para ambas potencias, dicho planteamiento está constituido por una función objetivo y una restricción que relaciona los objetivos nacionales de ambos países con sus intercambios comerciales (exportaciones e importaciones).

Con el fin de encontrar la expresión que conforme la función objetivo de cada uno, se ha llevado a cabo una regresión con el programa MATLAB. La regresión permite realizar un proceso estadístico para estimar la relación entre el objetivo primordial de cada país (variable dependiente) y las exportaciones realizadas entre ellos (variables independientes). De este modo, el análisis estadístico muestra cómo el valor de la variable dependiente varía al realizar modificaciones en las variables independientes.

El objetivo de construir un problema de optimización para cada país, que pueda resolverse conjuntamente más adelante, es poder reproducir la realidad del conflicto internacional entre Estados Unidos y China de la manera más fiel posible en el ámbito matemático, tratando de entender como se comporta cada potencia y obteniendo resultados que se pueden suponer de determinadas acciones.

Finalmente, se ha llegado a tres posibles problemas de optimización, en base al nivel de complejidad de la estructura de las funciones objetivos. Estos problemas de optimización son:

A. PLANTEAMIENTO PROBLEMA BÁSICO:

F.O Estados Unidos:

$$MAX \text{ Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -94211 + 1.3578 X$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

B. PLANTEAMIENTO PROBLEMA SIMPLE

F.O Estados Unidos:

$$MAX \text{ Tasa de empleo }_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología }_{CHINA} = -26401 + 4.9208 Y$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

C. PLANTEAMIENTO PROBLEMA GENERAL

F.O Estados Unidos:

$$MAX \text{ Tasa de empleo }_{EE.UU} = 73.986 + 1.5345e^{-5}(Y - X)$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología }_{CHINA} = -1.118^5 - 1.840 (Y - X)$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

4. RESULTADOS

	BÁSICO		SIMPLE		GENERAL	
SIN COTAS	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL
	VAR X	0	VAR X	0	VAR X	0
	VAR Y	0	VAR Y	0	VAR Y	0
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	1.7596	VAR U2	1.8065	VAR U2	17.090
CON COTAS	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL
	VAR X	339.00	VAR X	339.00	VAR X	339.00
	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	0	VAR U2	0	VAR U2	0

Tabla 1: Tabla resumen resultados problemas de optimización

Los resultados obtenidos en los problemas sin cotas son todas las variables cero menos la variable U2. El resultado es lógico debido a que a Estados Unidos le interesa el menor X posible, es decir minimizar las importaciones de China para aumentar su tasa laboral.

La variable U2 depende del valor de a_1 , coeficiente que acompaña a la variable en la función objetivo de China, el cual varía para cada problema. Por ello, el valor de U2 es diferente para el problema básico, simple y general.

$$U2 = \frac{a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y}}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t}$$

Los resultados obtenidos al implementar las cotas son iguales para cada tipo de problema, la variable X toma su valor mínimo 339 billones de dólares y la variable Y toma un valor de 328 billones de dólares.

El valor de la variable X tiende a su valor mínimo, debido a que en los tres posibles problemas la función objetivo de Estados Unidos trata de minimizar dicha variable. Sin embargo, el valor de la variable Y debido a que la conjetura de China impuesta es $\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$, se despeja la variable Y de la restricción impuesta a China:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 328$$

iu: inflación EE.UU

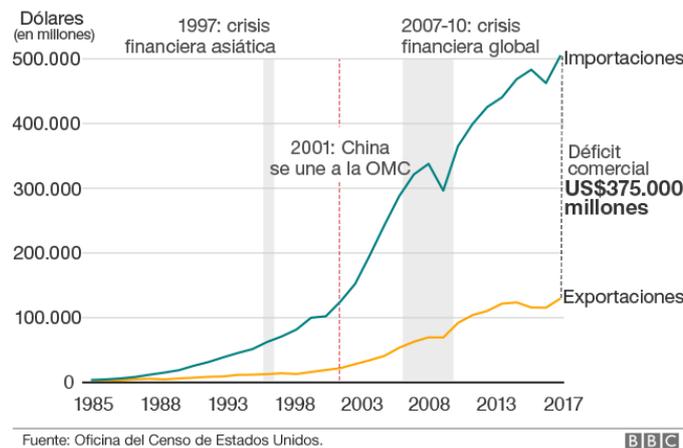
ic: inflación China

SUMMARY

1. INTRODUCTION

The main motivation of the project has been to try to analyze, from the Game Theory, the commercial conflict between the United States and China due to the US trade deficit of 336 billion dollars in 2018. This deficit is due to China exports to the United States 524 billion dollars and only imports 188 billion dollars.

Comercio de productos entre EE.UU. y China



Therefore, a study of the possible solutions that both countries can take has been made. This analysis has been made up of a qualitative study referring to the Nash equilibrium and a second quantitative study based on the creation of a bilateral agreement between the US and China, through the use of the MATLAB and GAMS tools.

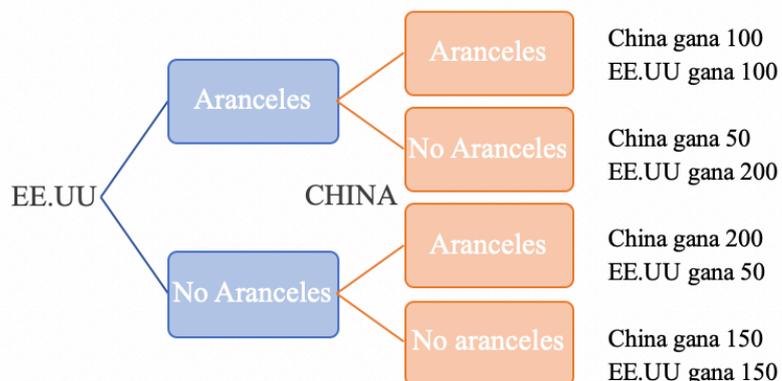
2. QUALITATIVE ANALYSIS

The relationship between US and Chinese trade policy has been analyzed, describing the decisions that countries take when trying to influence the final outcome of commercial interaction.

From the dilemma of the prisoner it has been concluded that both countries tend towards a protectionist strategy, where the use of tariffs is the best answer for both powers, even though this is a sub-optimal result for both (Nash equilibrium).

		EE.UU	
		No Aranceles	Aranceles
CHINA	No Aranceles	China gana 150 EE.UU gana 150	China gana 50 EE.UU gana 200
	Aranceles	China gana 200 EE.UU gana 50	China gana 100 EE.UU gana 100

The same conclusion has been reached through a leader-follower strategy based on Stackeberg's equilibrium, in which the first to act is the US and China reacts to the decisions previously made by the US country.



3. QUANTITATIVE ANALYSIS

An optimal result in which each country carries a free trade strategy is possible if bilateral agreements are made or through the existence of an institution that regulates international trade.

The possibility of carrying out a bilateral agreement between the United States and China based on the national objectives of each country has been analyzed.

For this, an optimization problem has been posed for both powers, this approach is constituted by an objective function and a restriction that relates the national objectives of both countries with their commercial exchanges (exports and imports).

In order to find the expression that according to the objective function of each one, a regression has been carried out with the MATLAB program. The regression allows to perform a statistical process to estimate the relationship between the primary objective of each country (dependent variable) and the exports made between them (independent variables). In this way, the statistical analysis shows how the value of the dependent variable varies when making changes in the independent variables.

The objective of building an optimization problem for each country, which can be solved jointly later, is to be able to reproduce the reality of the international conflict between the United States and China in the most faithful way possible in the mathematical field, trying to understand how each one behaves. power and obtaining results that can be assumed from certain actions.

Finally, three possible optimization problems have been reached, based on the level of complexity of the structure of the objective functions. These optimization problems are:

BASIC PROBLEM APPROACH:

O.F United States:

$$MAX \text{ Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICTION United States:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

O.F China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -94211 + 1.3578 X$$

RESTRICTION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

SIMPLE PROBLEM APPROACH

O.F United States:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICTION United States:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

O.F China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -26401 + 4.9208 Y$$

RESTRICTION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{china})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

GENERAL PROBLEM APPROACH

O.F United States:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 + 1.5345e^{-5}(Y - X)$$

RESTRICTION United States:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

O.F China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -1.118^5 - 1.840 (Y - X)$$

RESTRICTION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{china})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

4. RESULTS

	BÁSICO		SIMPLE		GENERAL	
	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL
SIN COTAS	VAR X	0	VAR X	0	VAR X	0
	VAR Y	0	VAR Y	0	VAR Y	0
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	1.7596	VAR U2	1.8065	VAR U2	17.090
CON COTAS	VAR X	339.00	VAR X	339.00	VAR X	339.00
	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	0	VAR U2	0	VAR U2	0

Tabla 2: Tabla resumen resultados problemas de optimización

The results obtained in the problems without dimensions are all the variables zero minus the variable U2. The result is logical because the United States is interested in the lowest possible X, that is, to minimize China's imports to increase its labor rate.

The variable U2 depends on the value of a_1 , coefficient that accompanies the variable in the objective function of China, which varies for each problem. Therefore, the value of U2 is different for the basic, simple and general problem.

$$U2 = \frac{a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y}}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t}$$

The results obtained when implementing the dimensions are the same for each type of problem, the variable X takes its minimum value 339 billion dollars and the variable Y takes a value of 328 billion dollars.

The value of the variable X tends to its minimum value, because in the three possible problems the objective function of the United States tries to minimize said variable. However, the value of the variable Y because the imposed Chinese conjecture is $\partial X / \partial Y = 3.53$, the variable Y is removed from the restriction imposed on China:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 328$$

iu: US inflation

ic: Chinese inflation

Parte I

MEMORIA

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

Debido al reciente proteccionismo en las principales economías, uno de los temas más controvertidos en la política mundial es el comercio libre, a pesar de que mejora la situación de todos.

Hoy en día estamos en un mundo cada vez más globalizado, donde ningún estado por sí solo puede resolver los desafíos del desarrollo global, cada vez más crecientes. Sin embargo, las organizaciones internacionales, diseñadas adecuadamente, pueden ayudar a mantener la cooperación entre los estados y abordar los problemas de forma colectiva. Dichos problemas de acción colectiva requieren la participación de varios estados para lograr un resultado deseable colectivo. Un clásico dilema de acción colectiva es la provisión de bienes públicos globales.

Por otro lado, la teoría de juegos es una herramienta útil para poder estudiar las interacciones estratégicas de los estados en el sistema internacional. Ejemplo de ello, es el Equilibrio de Nash, un perfil de estrategia tal que ningún jugador tiene un incentivo para desviarse dada la acción de otros.

Por todo ello, el proyecto a presentar trata de analizar de forma cualitativa y cuantitativa el conflicto internacional suscitado entre Estados Unidos y China desde la perspectiva de la teoría de juegos.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1 Situación EE.UU - China

Las tensiones suscitadas entre las dos grandes potencias económicas mundiales, EE.UU y China, han provocado que su relación definida [1], actualmente, como la más trascendental y compleja internacionalmente .

De igual forma que ambos países se encuentran ligados en numerosos ámbitos: económicos, comerciales, estratégicos, educativos, culturales, regionales, medioambientales y etc., también son considerados las primeras potencias globales. Tanto EE.UU como China poseen las principales economías agregadas, presupuestos militares, importaciones de petróleo, de energía, tesis doctorales y patentes.

⇒ EE.UU es el primer importador del mundo y China el primer exportador.

Del mismo modo, cada uno supone para el otro uno de los mayores socios comerciales, con aproximadamente 660 mil millones de dólares de intercambios bilaterales. China es el principal acreedor exterior de EE.UU, invirtiendo, en 2016, 20 mil millones de dólares y 120 mil empleos para la potencia estadounidense.

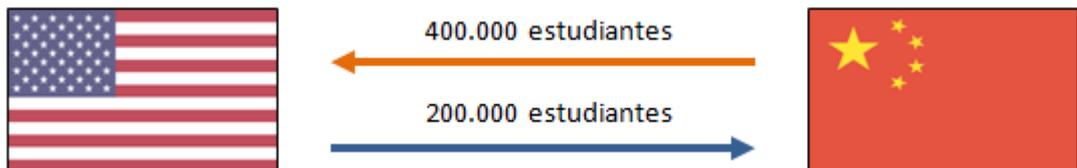


Ilustración 1: Estudiantes internacionales entre EE.UU y China

A raíz de dichos indicadores, se puede extraer que las dos potencias se encuentran complejamente entrelazadas. Al mismo tiempo ambos lideran, actualmente, las relaciones internacionales, con una influencia global mayor que el resto de los países. Por ello, es necesario comprender cuales son las dinámicas y complejidades que subyacen de dicha relación y la promueven.

Sin embargo, la competencia entre ambos países es cada vez más creciente, debido a la desconfianza generalizada y a la existencia del deseo por obtener los siguientes objetivos:

- Supremacía en el ámbito militar y de la seguridad
- Influencia en Asia
- Ventaja geoestratégica internacional
- Hegemonía política e ideológica
- Dominio comercial

Asuntos de prioridad mundial como la necesidad real de instaurar una cooperación práctica sobre Corea del Norte, gestionar la situación actual de Afganistán, combatir el terrorismo, solucionar el conflicto territorial en el mar de China Meridional, como el establecer reglas globales en materia de ciberseguridad requieren de una relación estable y pacífica entre las dos mayores potencias mundiales. Donde la cooperación entre Pekín y Washington es primordial para lograr resolver los retos internacionales.

PRIORIDADES BILITARALES POR PARTE DE EE.UU [2]
• Restricciones crecientes de las compañías estadounidenses en el país chino en el ámbito de inversión y comercial
• Déficit comercial de 354 mil millones de dólares
• Inminente crecimiento de las inversiones chinas en reas sensibles de EE.UU que repercuten en activos de seguridad nacional y comercial
• Espionaje y ciberseguridad por parte de China en EE.UU
• Entorno represivo de China
• Limitaciones de ONGs, periodistas y universitarios estadounidenses en China
• Misiles balísticos de Corea del Norte y su programa nuclear

• Actividades chinas en el mar de China Meridional y Oriental
• Equilibrio estratégico en Asia-Pacífico e Indo-Pacífico
• Operaciones de influencia de China en EE.UU

Tabla 3: Prioridades bilaterales por parte de EE.UU [2]

PRIORIDADES BILITARALES POR PARTE DE CHINA [2]
• Estabilidad y paz en la península de Corea
• Disminuir las limitaciones sobre las exportaciones de servicios y bienes tecnológicos chinos
• Consentir la inversión china en EE.UU
• Acordar un tratado de Inversión Bilateral
• Restablecer diálogos de alto nivel
• Restringir en China las operaciones de ONGs estadounidenses
• Acordar que EE.UU lleve a cabo una política tradicional con Taiwán.

Tabla 4: Prioridades bilaterales por parte de China [2]

De manera sustancial, para comprender cómo actuará cada potencia en los próximos meses, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Contexto político del Partido Comunista de China, el cual ha variado extensamente bajo el gobierno de Xi Jinping.
2. Nacionalismo chino, en un periodo donde China vuelve a ser reconocida como potencia mundial.
3. Definición de los intereses nacionales estadounidenses y la posición estratégica de EE.UU en el área de Asia Oriental y Pacífico.
4. Actuación de los países regionales

“Las variables internas, regionales y globales condicionarán la relación; y esas fuerzas internas y externas significan que la relación no está plenamente controlada por los dirigentes en ninguno de los dos lados y que los factores exógenos tendrán una gran influencia moldeadora.”

- David Shambaugh - Profesor de ciencias políticas y asuntos internacionales en la Universidad George Washington en Washington DC

Del mismo modo, se debe tomar conciencia que el país chino, el cual en el pasado había sido débil, actualmente es más fuerte y con recursos necesarios para competir contra EE.UU. Además, dispone de un sentimiento reactivo hacia el país estadounidense y una mayor tolerancia hacia el conflicto en caso de enfrenamiento. Dichos aspectos son cruciales, y se deben tener en cuenta, especialmente por parte del gobierno estadounidense, ya que la relación bilateral es trascendental en asuntos globales, donde la no contención de los elementos competitivos puede desembocar en resultados mundiales graves.

1.1.2 Perspectiva Comercial

Se ha observado por parte de la República Popular de China un constante crecimiento en el ranking económico mundial, donde en 2014 el PIB chino, homogenizado a dólares, superó el PIB estadounidense. En cambio, tomando como parámetro el PIB per cápita, se ha demostrado que la riqueza por persona china es inferior a la estadounidense. Otro dato a tener en cuenta es la deuda externa china, la cual se encuentra en una posición sólida con niveles más bajos que la deuda externa estadounidense cuyo principal comprador es el país chino.

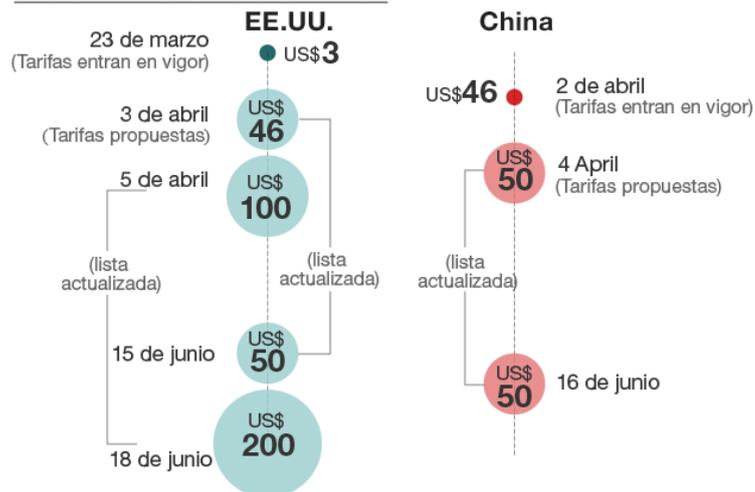
El conflicto comercial entre ambas potencias da como resultado un efecto secundario que desemboca en la economía global. El presidente de EE.UU, Donald Trump, ha adoptado una política de cambio en el funcionamiento de los acuerdos comerciales con el exterior y de protección de la economía interna, desde su llegada al cargo.

Actualmente, EE.UU ha impuesto a China unos aranceles por valor de 50 mil millones de dólares, a los que se debe sumar otros 200 mil millones de dólares que están pendientes de ser aprobados por las instituciones comerciales. Adicionalmente, Trump ha amenazado con imponer otros 270 mil millones de dólares en aranceles al país chino. Como respuesta China ha anunciado que puede imponer a EE.UU aranceles por valor de 60 mil millones de dólares.

La principal razón de la política comercial estadounidense se centra en el déficit comercial que sufre EE.UU, con un valor de 336 mil millones de dólares. Dicho déficit se debe a que China exporta al país estadounidense 524 mil millones de dólares y únicamente importa 188 mil millones de dólares.

Cómo la batalla arancelaria escaló en 2018

Cifras en miles de millones de dólares



Nota: Datos hasta el 15 de junio de 2018

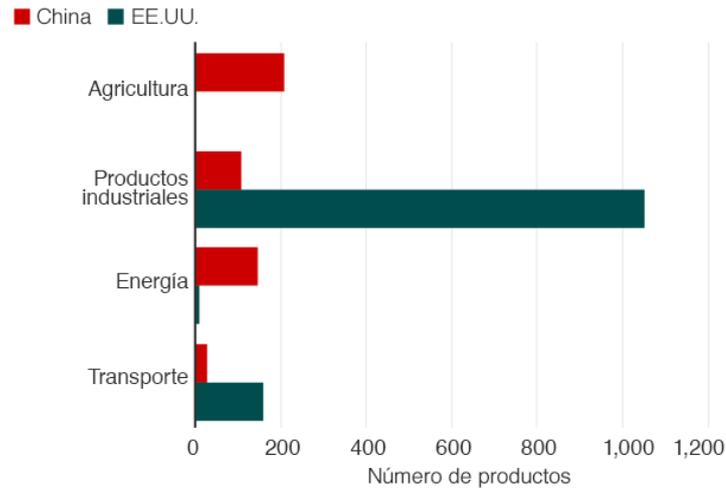
Fuente: Peterson Institute for International Economics, BBC

BBC

Ilustración 2: Batalla arancelaria EE.UU – China

Se debe tener en cuenta, que en un principio los 50 mil millones de dólares en aranceles estadounidenses iban dirigidos a bienes industriales. En cambio, los últimos aranceles en proceso de aceptación van dirigidos a bienes de consumo, lo que afecta directamente al ciudadano medio. En cuanto a China, esta enfoca sus aranceles en productos agrícolas y mecánicos dirigidos al sector energético.

A qué sectores afectarán las tarifas



Nota: Datos al 15 de junio de 2018

Fuentes: Peterson Institute for International Economics, BBC

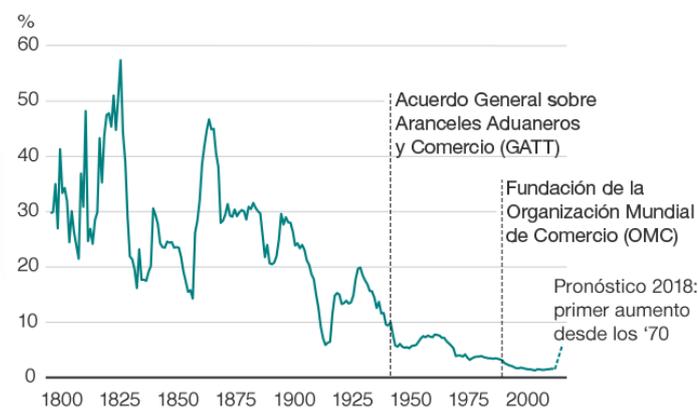
BBC

Ilustración 3: Sectores afectados por los aranceles en EE.UU y China

Hace un siglo, los aranceles estadounidenses representaban aproximadamente el 30% de las importaciones de Estados Unidos, donde se pretendía limitar la entrada de bienes para fortalecer el sector industrial nacional.

El regreso del proteccionismo

Tarifas en torno al porcentaje del total de importaciones de EE.UU.



Fuente: Comisión de Comercio Internacional de EE.UU., Oficina del Censo de EE.UU., BBC

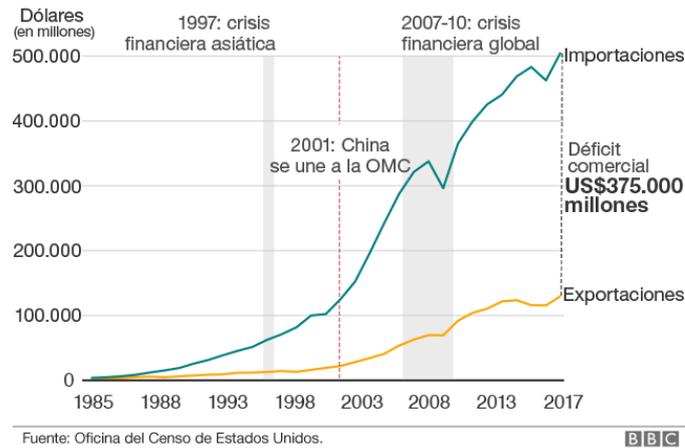
BBC

Ilustración 4: Aranceles históricos impuestos por EE.UU

En 2016, los aranceles estaban en niveles históricamente mínimos, en torno a 1.5%. Sin embargo, actualmente, rondan el 6,5%. Dicha medida se debe al objetivo de reducir las importaciones de China e incrementar en el país estadounidense la

compra de productos nacionales. De este modo, Trump pretende salvaguardar el déficit comercial de 336.000 millones de dólares con China.

Comercio de productos entre EE.UU. y China



Fuente: Oficina del Censo de Estados Unidos. **BBC**
Ilustración 5: Intercambio comercial entre EE.UU y China

1.1.1.1 Riesgo del empleo

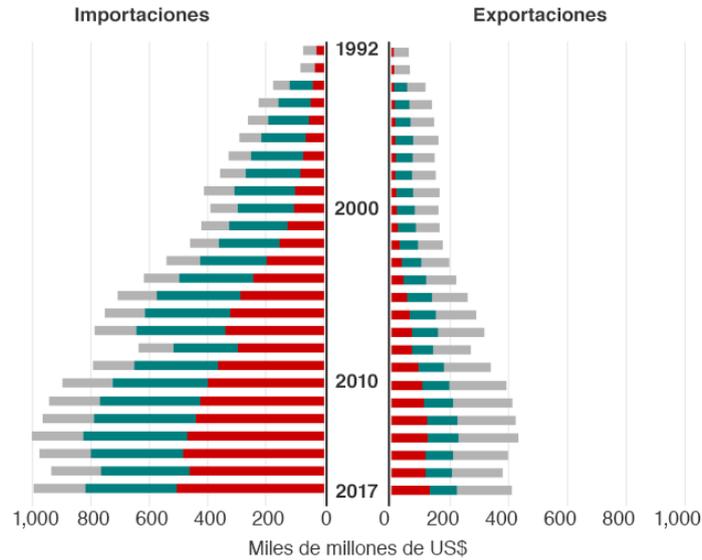
Por otro lado, se prevé que los aranceles afecten a los trabajadores estadounidenses. La empresa de investigación económica, “*The Trade Partnership*”, ha indicado que el efecto esperado es de aproximadamente 400 mil empleados.

Esto es debido a que fábricas que utilizan componentes metálicos, electrónicos y de construcción deben comprar las materias primas a un precio más elevado, lo que conlleva también una reducción de puestos de trabajo. Sin embargo, dicho efecto depende de cómo de elevados son los aranceles y si se expanden a los países fronterizos y a Europa. En dicho caso, se podría provocar una ración en cadena entre el resto de los países y sus socios.

Los siguientes datos del censo estadounidenses, muestran la fuerte dependencia de la economía de EE.UU con las importaciones.

China es el mayor socio comercial de EE.UU.

■ China ■ Canadá y México (NAFTA) ■ Otros acuerdos de libre comercio

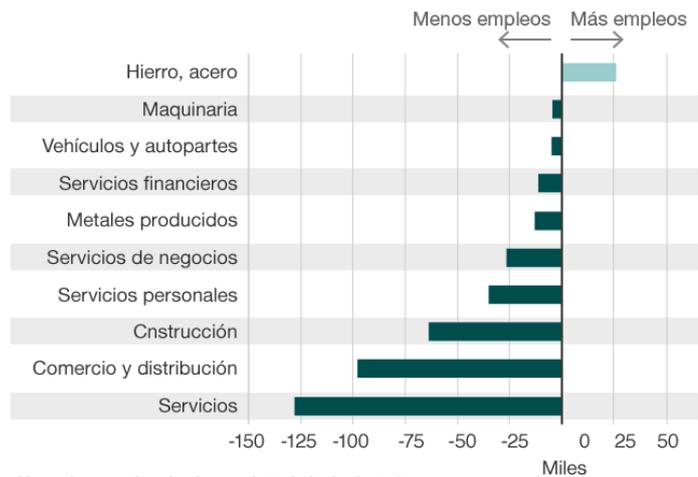


Fuentes: Comisión de Comercio Internacional de EE.UU., Oficina del Censo de EE.UU., BBC **BBC**

Ilustración 6: Dependencia comercial EE.UU - China

Riesgo en el sector laboral de EE.UU.

Posible pérdida de empleos por sector en los próximos 2 años



Nota: datos estimados hasta el 26 de junio de 2018

Fuente: The Trade Partnerships. Oficina del Censo de EE.UU., BBC **BBC**

Ilustración 7: Riesgo sector laboral en EE.UU

1.1.3 Rivalidad EE.UU – China

El rápido crecimiento de la economía de China, ha conseguido que esta se posicione detrás de EE.UU, como segunda economía mundial. Dicha situación, ha provocado inquietud en el país estadounidense, debido a una posible transición de poder, donde la alarma de una posible guerra se incrementa ante la incertidumbre de que un poder nuevo alcance la hegemonía (Teoría de la trampa de Tucídides). Es por ello, que el elemento de rivalidad es un subproducto común en conflictos internacionales, caracterizado por la competitividad entre países. Además, de forma usual, el nivel de competencia entre los países suele exceder en gran medida el nivel de cooperación. Donde los competidores se enfrentan a una partida de suma cero en el que el objetivo es vencer o negar al rival. Se pueden percibir, ejemplos existentes en las relaciones entre Corea del Sur y Corea del Norte, Siria e Israel o India y Pakistán. Si se analiza la estrategia tomada por China, esta no ha mostrado ningún interés en propagar sus valores o intereses con el objetivo de conseguir adeptos a su ideología, más bien, promueve la no interferencia en los aspectos internos de otros estados y de respecto a su hegemonía.

Por otro lado, EE.UU ha propagado su política económica (consenso Washington) y de cambio de régimen a favor de una democracia exterior.

Igualmente, China no ha realizado ninguna búsqueda de aliados militares ni bases en el exterior, sin embargo, el estado americano posee una amplia de aliados, con soldados y bases militares en los límites del país chino. De modo significativo, a pesar del creciente peso económico chino, Beijing se ha abstenido de desafiar la influencia de Washington en las regiones que Estados Unidos considera importantes para sus intereses estratégicos o que considera como terreno propio, a saber, Oriente Medio, Europa occidental y el hemisferio occidental. Con ello, China ha reconocido de forma tácita esas zonas como esferas de influencia de Estados Unidos.

Además, China, actualmente, es un país fuerte en relaciones globales de comercio y producción, debido su objetivo constante por formar parte del proceso de globalización y por conseguir una política interdependientemente económica. Dificultando así, la posibilidad de ser sufragada por a la potencia estadounidense.

Asimismo, a causa de las cuantiosas inversiones bilaterales, de la dependencia comercial entre ambos países y de la posición transcendental de China como primer comprador de deuda estadounidense, ninguna de las dos potencias puede dañar a la otra sin perjudicar a su propio país y a sus apoyos. Es por ello, que Washington al imponer aranceles comerciales a China, corre el riesgo de que esta imponga aranceles a EE.UU, perjudicando a aliados estadounidenses que exportan al país chino (Taiwán, Japón, y Corea del Sur).

Finalmente se puede concluir que ambas potencias no están en una relación de suma cero, al existir la posibilidad de daño, por lo que se habla de una interdependencia económica entre los dos países. Donde en términos comerciales la competencia es de suma positiva o negativa, por ello, ambos competidores ganan si cooperan y pierden si renuncian a la cooperación.

1.2 OBJETIVOS

El proyecto investiga la posibilidad de analizar las diferentes estrategias de Estados Unidos y China, en base a distintas variables, donde la cooperación sea un punto clave para lograr un efecto colectivo beneficioso. Para ello, se va a analizar las interacciones estratégicas de ambos estados en el comercio internacional bajo la perspectiva de la teoría de juegos.

Adicionalmente, el proyecto se va a centrar en incorporar una herramienta, a partir de la cual, introduciendo parámetros macroeconómicos de ambos países se llegue a soluciones de propuestas de política económica y/o comercial.

De este modo, combinando las perspectivas de las relaciones internacionales, la economía política internacional y los problemas de cooperación, se pretende dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles son los principales problemas de cooperación en el comercio y las finanzas internacionales? ¿Cómo pueden las instituciones internacionales ayudar a resolver estos problemas?
- ¿Qué aporta la teoría de juegos a las estrategias de las instituciones internacionales? ¿es posible alcanzar una solución a partir de esta? En caso de que sea posible ¿Cuáles son las principales propuestas de solución ante los graves problemas comerciales existentes entre las dos grandes potencias mundiales, Estados Unidos y China?

1.3 METODOLOGÍA / SOLUCIÓN DESARROLLADA

La metodología prevista para el trabajo se compone en un primer lugar, de una revisión bibliográfica del comercio internacional y la teoría de juegos.

En un segundo lugar un análisis teórico de la aplicación de la teoría de juegos a los problemas comerciales existente entre EE.UU y China, y por último la realización mediante los programas MATLAB y GAMS de una herramienta, a partir de la cual, introduciendo parámetros macroeconómicos de los dos países se llegue a soluciones de propuestas de política económica y/o comercial.

1.4 RECURSOS / HERRAMIENTAS EMPLEADAS

Las herramientas empleadas para la realización del proyecto son MATLAB y GAMS.

El programa MATLAB posee un lenguaje de alto nivel para cálculos científicos, lo que ha permitido poder usar la herramienta para buscar la relación entre diferentes parámetros macroeconómicos de Estados Unidos y China mediante una regresión

El programa GAMS posee un alto nivel para el modelado de optimización matemática de sistemas matemáticos. Para ello, se ha utilizado el solucionador PATH para modelos MCP del programa GAMS. [3]

1.5 CONCLUSIONES

La principal motivación del proyecto es tratar de analizar desde la Teoría de Juegos el conflicto comercial entre Estados Unidos y China debido al déficit comercial estadounidense con país chino de 336 mil millones de dólares, en septiembre de 2018. Dicho déficit se debe a que China exporta al país estadounidense 524 mil millones de dólares y únicamente importa 188 mil millones de dólares.

Para ello, se va realizar un estudio de las posibles soluciones que podrían tomar ambos países. Dicho análisis se va a componer primeramente de un estudio cualitativo haciendo referencia al equilibrio de Nash y un segundo estudio cuantitativo basado en la creación de un acuerdo bilateral entre EE.UU y China, mediante el uso de las herramientas MATLAB y GAMS.

Capítulo 2 ESTUDIO DEL ARTE

El comprender los problemas de coordinación y colaboración es un interrogante en las economías y políticas globales. La acción individual de los estados en situaciones de interdependencia global, frecuentemente, no generan los resultados deseados. Una posible solución a dicho problema es formar instituciones internacionales, sin embargo, esto plantea otro dilema que es cómo los estados pueden crear dichas instituciones.

Actualmente, un fenómeno de gran discusión es la globalización, referido al incremento de traspaso de bienes, servicios, información y personas a través de las fronteras. El cual puede ser un incentivo u obstáculo hacia la colaboración internacional.

Existen cuatro tipos de bienes, según si son exclusivos y escasos [4]:

1. Bienes privados
2. Bienes públicos
3. Bienes comunes
4. Bienes de clubes inclusivos

Bien exclusivo: aquel que excluye a personas de consumirlo.

Bien escaso: aquel que al consumirlo afecta a la disponibilidad de otra persona para volver a consumirlo.

		Exclusivo	
		Sí	No
Escaso	Sí	Público	Comunes
	No	Clubes	Privado

Diferentes tipos de bienes generan diferentes tipos de problemas de negociación tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Lo que conlleva un gran dilema a la economía política internacional en cuanto a la pregunta de cómo los estados negocian la provisión de diferentes tipos de bienes. Además, del actual

problema de la conducción libre que provoca que no se proporcionen bienes públicos a actores que deseen dichos bienes.

2.1 TEORÍA DE JUEGOS

A la hora de comprender cómo las personas proporcionan diferentes bienes es necesario tener en cuenta cómo dichas personas toman decisiones. Principalmente en condiciones de interdependencia, que constituyen una situación analizable mediante la teoría de juegos.

Primeramente, con el objetivo de examinar el problema desde una perspectiva más amplia se va a estudiar la teoría de la decisión, la cual se basa en como los individuos toman decisiones en diversos entornos. Los posibles entornos son toma de decisión bajo certidumbre, bajo riesgo, bajo incertidumbre y bajo interdependencia.

- Toma de decisión bajo certidumbre

Situación en la cual se dispone completamente de la información (todos los datos y variables), se conocen las diversas soluciones que se pueden tomar y los resultados de las posibles alternativas. Bajo estas condiciones, el resultado solo depende de la decisión tomada.

- Toma de decisión bajo riesgo

Situación que implica un cierto nivel de riesgo. Para ello, se calcula la probabilidad de que se produzca dicho riesgo y sus posibles consecuencias. Existen dos tipos de probabilidades:

1. Probabilidad objetiva: basada en datos objetivos y concretos.
2. Probabilidad subjetiva: basada en experiencias y opiniones.

- Toma de decisión bajo incertidumbre

Situación en la cual los datos de los que se disponen son mínimos o poco fiables. Además, no se puede asignar una medida de probabilidad a los futuros acontecimientos. Bajo estas condiciones es inviable estimar las probabilidades de riesgo.

- Toma de decisión bajo interdependencia

En los anteriores casos no se tenía en cuenta la acción del otro jugador. Sin embargo, en condiciones de interdependencia la elección de un individuo depende de las expectativas de acción del competidor, además de que son situaciones cambiantes, lo que implica una mayor dificultad de análisis de cooperación.

Generalmente en las condiciones de relaciones internacionales, los individuos y gobiernos actúan en casos de interdependencia.

La perspectiva de la teoría de juegos es una herramienta útil para comprender el comportamiento en situaciones de interdependencia, debido a que incluye las preferencias básicas de los jugadores y el entorno estratégico.

El dilema de los prisioneros

Como se ha analizado en los conflictos de traspaso de bienes [4] la tendencia hacia la acción colectiva es escasa debido a que el principal objetivo de los actores es obtener ganancias evitando costes. Esta libre conducción complica la cooperación.

En el dilema del prisionero, aunque la mejor situación de los jugadores es cooperar, la estructura de la condición de negociación impide el obtener los beneficios colectivos deseados.

Explicación dilema del prisionero:

Dos delincuentes son detenidos y encerrados en celdas aisladas de manera que no pueden comunicarse entre ellos. El policía sospecha que han participado en un robo, delito con pena severa de cárcel (ej: 10 años, pero no tiene pruebas. Sólo tiene pruebas y puede culparles de tenencia ilícita de armas, con sentencia ligera de cárcel (ej: 3 años). Promete a cada uno de ellos que reducirá su condena a la mitad si proporciona las pruebas para culpar al otro del robo del banco.

Las alternativas para cada prisionero pueden representarse en forma de matriz de pagos. La estrategia lealtad consiste en permanecer en silencio y la traición consiste en delatar al otro. Donde en cada casilla se indica el **orden de preferencia** de cada detenido en relación con los posibles resultados de las estrategias dadas. En la tabla, el primer número en cada casilla es la preferencia del jugador A, en cambio el segundo número es la preferencia del jugador B.

		Jugador B	
		Lealtad	Traición
Jugador A	Lealtad	4,4	1,6
	Traición	6,1	2,2

Equilibrio de Nash

- Lealtad – Lealtad -> Sentencia ligera para ambos (ej: 3 años cada uno)
- Traición – Traición -> Sentencia media para ambos (ej: 5 años cada uno)
- Lealtad – Traición -> Sentencia mínima para el que delata (ej: 1.5 años) y máxima para el traicionado (ej: 10 años)

En este caso, la **estrategia minimax**, donde el objetivo es tomar la mejor decisión teniendo en cuenta que el otro escogerá la opción que más perjudique al rival, conduce a un efecto de subóptimo. Si ambos jugadores llevan a cabo una estrategia de traición el resultado común (5 años) es peor que si ambos se hubieran mantenido en silencio (3 años). Dicho resultado se denomina Equilibrio de Nash.

		Jugador B	
		Lealtad	Traición
Jugador A	Lealtad	Max B ° común	Gana B/Pierde A
	Traición	Gana A/Pierde B	Min B ° común

Ambos jugadores tienen una estrategia dominante para traicionar, que conduce al equilibrio de Nash. En dicho equilibrio ninguno de los jugadores puede mejorar su situación cambiando su estrategia individual. Pero si ambos cambian a la estrategia de lealtad ambos jugadores obtendrán un mejor resultado. Sin embargo, esta situación colectivamente óptima es inestable porque cada individuo puede mejorar

su propio bienestar cambiando individualmente la estrategia de traicionar mientras el otro mantenga la estrategia de lealtad.

Por ello, el dilema de los prisioneros se plantea para representar el problema de la provisión de bienes públicos. Donde el problema de restringir el acceso libre a estos bienes crea la tentación de usarlos sin tener que pagar. Sin embargo, este hecho por sí solo no impide la provisión de tales bienes. La libre conducción de algunos actores no solo afecta el coste para el actor que proporciona el bien, sino que también afecta el beneficio que recibe cada actor en vista de la rivalidad en el consumo.

El dilema de los prisioneros se ha usado ampliamente para mostrar el problema del libre comercio recíproco [5]. Las dificultades para monitorear las políticas comerciales de los socios y los beneficios políticos potenciales para los gobiernos de los mercados abiertos de exportación y los mercados internos cerrados a menudo obligan a los estados a incumplir sus compromisos de reciprocidad con las medidas de liberalización comercial.

Esta tendencia se produce especialmente en países con grandes mercados internos, debido a que dependen menos del éxito de la liberalización comercial. Además, en dichos casos los efectos en los precios mundiales a través de sus políticas arancelarias son positivos, es decir, imponiendo aranceles a las importaciones de dichos países, protege la producción local y es una fuente de ingreso para el país nacional.

La gestión colectiva de los recursos es otro ámbito político económico internacional donde también es aplicable el dilema del prisionero. En los países productores que comercian en los mercados mundiales es preferible una situación donde todos gestionan la producción para mantener los precios relativamente altos, sin embargo, también existe la tentación de incrementar la producción para maximizar los beneficios individuales. Por ello, la tarea de actuar colectivamente para mantener la estabilidad de los precios de los productos ha sido complicada de llevar a cabo por parte de los países en desarrollo. Ejemplo de ello es la Organización de Países Exportadores de Petróleo el cual “puede tener una gran influencia en el mercado de petróleo, especialmente si decide reducir o aumentar su nivel de producción”. [6]

2.2 *ACCIÓN INDIVIDUAL O INSTITUCIONES*

En los problemas de colaboración de políticas económicas globales es visible la variedad de conflictos a los que se enfrentan los individuos y gobiernos o instituciones. Por ello, es necesario estudiar cómo enfrentarse a dichos conflictos y el papel que desempeñan las organizaciones internacionales para abordar los problemas de colaboración.

Acción individual

En la mayoría de los juegos que se ha examinado [4], las acciones individuales de ambos jugadores conducen a un resultado que podemos caracterizar como colectivamente óptimo porque no hay pérdida de bienestar.

La acción individual, también puede ser óptima en el caso del dilema de los prisioneros. Para que las acciones individuales produzcan un resultado colectivamente beneficioso, los jugadores deben tener interacciones repetidas a través del tiempo. Cuando los jugadores esperan volver a encontrarse en el futuro, pueden estar más dispuestos a cooperar. Sin embargo, incluso en tales condiciones de iteración, la acción individual puede no ser suficiente para garantizar la cooperación. Por ejemplo, si el valor neto esperado de la cooperación es demasiado bajo la traición puede ser probable. En el dilema de los prisioneros se demuestra que, si la sentencia del prisionero es demasiado larga la es una estrategia más probable, aunque esta se dé repetidamente. Si se aplica al caso de libre comercio, con los gobiernos bajo una gran presión nacional, la tentación de obtener ganancias traicionando es elevada. Al mismo tiempo, el caso contrario también se puede dar, donde el coste de la traición es demasiado alto para realizarlo.

La acción individual tampoco es universalmente efectiva para asegurar el intercambio de bienes. Mientras los actores comerciales tengan acceso a otros mercados para sus productos, la acción individual puede funcionar en el contexto del comercio global, ya que los países simplemente pueden recurrir a otro mercado si se produce una brecha en la relación comercial. Sin embargo, si solo hay un actor interesado en los bienes producidos, tal opción no existe. Otra condición importante

para los sistemas exitosos de acción individual es si una o ambas partes han realizado inversiones para la relación, en tal caso, dichas inversiones desalentarán la traición y fomentan el comportamiento cooperativo.

Sin embargo, con el incremento de número de actores, con mayores productos comerciales, en las que se utilizan políticas comerciales cada vez más sofisticadas para intervenir en los mercados hace que el control de las políticas comerciales sea cada vez más difícil. Por ello, es más complicado detectar el incumplimiento sin la ayuda de un tercero.

El papel de las instituciones.

En muchos casos para poder obtener resultados colectivamente óptimos es necesaria la creación de instituciones o regímenes internacionales que coordinen las elecciones de los individuos.

Los regímenes internacionales se definen como “*conjuntos de principios, normas, reglas y procedimientos de toma de decisiones sobre los cuales las expectativas de los actores convergen*”. [7]

Las instituciones internacionales poseen tres principales funciones:

Primera, las instituciones pueden ayudar a los actores a alcanzar un resultado colectivo óptimo, pero inestable. Las instituciones desempeñan el papel de un tercero que impone la cooperación. Para evitar la tendencia de los jugadores a desertar, las instituciones deben ser fuertes y parecer contratos vinculantes. Los acuerdos que restringen de manera creíble el oportunismo en la política comercial y monetaria, por ejemplo, necesitan depender de algún tipo de mecanismo de cumplimiento. Cuando los acuerdos de autofinanciación no funcionan, los actores pueden decidir delegar la ejecución en una institución internacional. En casos, como la Unión Europea (UE) o la Organización Mundial del Comercio (OMC), tal mecanismo se basa en una entidad institucional (la UE tiene dos entidades de este tipo, la Comisión y el Tribunal de Justicia) con un poder mayor para controlar, evaluar y sancionar el comportamiento de sus miembros.

El cumplimiento también puede lograrse mediante incentivos positivos, como el caso del Fondo Monetario Internacional que proporciona fondos a los países que siguen sus recomendaciones políticas, o mediante acciones punitivas como realiza la Organización Mundial de Comercio cuando se opone a una política estatal en particular.

Segunda, cuando los actores enfrentan varios resultados óptimos, las instituciones pueden ayudar a los actores a resolver problemas de distribución. Pueden eliminar algunos resultados asimétricos y, a través de la información recopilada sobre las preferencias de los actores, pueden ayudar a proporcionar soluciones para compartir los costes como para dividir los beneficios. Ejemplo de este tipo de instituciones son el GATT y su sucesor el OMC que han desempeñado un papel importante en la aplicación de las normas comerciales, sin embargo, dichas instituciones son menos útiles cuando se trata de cuestiones distributivas.

Tercera, las instituciones deben garantizar que los actores no pierdan la oportunidad de un resultado óptimo y estable colectivamente. En lugar de imponer un resultado particular, las instituciones deben permitir que los actores alcancen el resultado óptimo (por ejemplo, agrupando recursos). Para ayudar a la integración de los países en desarrollo en el sistema financiero mundial, el Fondo Monetario Internacional ofrece oportunidades de crédito a bajo precio a través de las contribuciones suscritas por todos los miembros. El Banco Mundial financia el desarrollo de infraestructura básica en los países en desarrollo para ayudarlos a reducir la pobreza. A nivel regional europeo, el Sistema Monetario Europeo (SME) se ha basado en un sistema descentralizado de facilidades crediticias muy cortas entre los miembros para ayudarles a defender la red de paridad que los unió.

Para abordar los problemas de aplicación y distribución, las instituciones deben establecer derechos de propiedad que definan mecanismos de exclusión o que determinen esquemas de compensación. En relación con el conflicto entre juegos y bienes, el diseño institucional puede privatizar bienes problemáticos, como los bienes públicos. La reducción de las barreras comerciales se suele aplicar a países que pertenecen a clubes particulares, ya sean regionales o globales. La asignación de derechos de propiedad también puede producir una cooperación descentralizada

cuando las instituciones proporcionan información sobre las preferencias de los actores y reducen los costes de transacción al mínimo. Cuando los actores tienen más certeza sobre quién es el propietario y quién es responsable de qué (un resultado de la asignación de derechos de propiedad), la cooperación es posible.

La solución de los problemas de aplicación y distribución es posible si las instituciones tienen un gran alcance y conectan diferentes problemas. Cuando los actores tienen intereses amplios, los vínculos entre las diferentes situaciones ayudan a disuadir la traición en un sola situación. Por ejemplo, los miembros de la OMC no pueden admitir el acuerdo sobre bienes (GATT) sin aceptar también el acuerdo sobre servicios (GATS), así como el acuerdo sobre derechos de propiedad intelectual (ADPIC), inversiones (TRIM) y el mecanismo de solución de diferencias.

Un conjunto diverso de problemas también puede proporcionar un compromiso cuando los jugadores tienen diferentes preferencias y cuando no asignan el mismo valor a todos los problemas. Por ejemplo, la liberalización comercial o la cooperación monetaria en la Unión Europea a menudo se ha visto facilitada por el desarrollo de políticas o paquetes sociales o regionales.

Los roles de las instituciones revela el valor asociado con la recopilación y difusión de información. Por lo tanto, una de las funciones más importantes de las instituciones internacionales es recopilar información sobre el comportamiento, las preferencias y el estado del entorno internacional de los actores.

2.3 CONCLUSIONES

Actualmente, un fenómeno de gran discusión es la globalización, referido al incremento de traspaso de bienes, servicios, información y personas a través de las fronteras. El cual puede ser un incentivo u obstáculo hacia la colaboración internacional.

Diferentes tipos de bienes generan diferentes tipos de problemas de negociación tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Lo que conlleva un gran dilema a la economía política internacional

A la hora de comprender cómo las personas proporcionan diferentes bienes es necesario tener en cuenta cómo dichas personas toman decisiones. Principalmente en condiciones de interdependencia, que constituyen una situación analizable mediante la teoría de juegos. Ejemplo de ello es el dilema del prisionero, donde aún siendo la mejor situación de los jugadores la de cooperar, la estructura de la condición de negociación impide el obtener los beneficios colectivos deseados. Por ello, en muchos casos para poder obtener resultados colectivamente óptimos es necesaria la creación de instituciones o regímenes internacionales que coordinen las elecciones de los individuos.

Capítulo 3 ANÁLISIS CUALITATIVO

Donald Trump, fue proclamado presidente de los Estados Unidos en enero de 2017 con el objetivo de "Make America Great Again".

El presidente estadounidense basa su objetivo en conseguir "**recuperar los empleos estadounidenses**" a través de una serie de decisiones estratégicas de política comercial:

- La salida de la Asociación Transpacífica (TPP).
- La renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA).
- La implementación de aranceles a los productos chinos.
- Una posible salida de la Organización Mundial del Comercio (OMC).

Aún siendo dichas estrategias extremas, si estas se encuentran en el contexto de poder incrementar la entrada de ingresos y empleo en Estados Unidos, dichas estrategias son aceptadas por los estadounidenses. Sin embargo, la teoría económica no está de acuerdo con dicha lógica.

Por ello, este capítulo pretende analizar la frágil relación entre política comercial de Estados Unidos y China, describiendo las decisiones que toman los países cuando tratan de influir en el resultado final de la interacción comercial.

Según la teoría del comercio, el bienestar de un país puede incrementarse mediante ganancias obtenidas por países extranjeros. De tal forma, haciendo alusión a la ecuación macroeconómica del PIB, la cual se utiliza para el cálculo del crecimiento económico de un país:

$$PIB = C + I + G + (X-M)$$

Ecuación 1: Ecuación macroeconómica del PIB

Dónde:

C = gasto de consumo

I = inversión empresarial (capital de equipo, inventarios)

G = compras gubernamentales

X = exportaciones

M = importaciones

El último término de la ecuación (X-M) describe las exportaciones netas, por lo que un incremento de las importaciones constituye una salida de beneficio provocando un descenso en el PIB del país. Racionalmente, que Estados Unidos pretenda imponer aranceles a los productos chinos, es una estrategia lógica, ya que provocará un incremento en las exportaciones netas del país y como resultado un aumento del PIB estadounidense.

Sin embargo, esta estrategia proteccionista de Estados Unidos es lógica también para China, representando así la situación del dilema del prisionero entre los dos países. Siendo el empleo de aranceles la mejor respuesta para ambas potencias, aun siendo esta un resultado sub-óptimo para ambos.

		EE.UU	
		No Aranceles	Aranceles
CHINA	No Aranceles	China gana 150 EE.UU gana 150	China gana 50 EE.UU gana 200
	Aranceles	China gana 200 EE.UU gana 50	China gana 100 EE.UU gana 100

Ilustración 8: Dilema del Prisionero EE.UU - China

El Equilibrio de Nash se da cuando ambos países imponen aranceles, de tal manera que en dicha posición ninguno de los jugadores tiene incentivo para desviarse. Sin embargo, el resultado óptimo se daría si ambas potencias optaran por el libre comercio en lugar de optar por el proteccionismo.

Dicha coordinación por optar por el comercio libre es apoyada y respaldada por la OMC, ya que, si ambas potencias optaran por el libre comercio, tanto Estados Unidos como China se benefician de mayores niveles de comercio y por lo tanto reciben mayores ganancias. Dicha teoría esta respaldada por los estudios de O'Rourke (2007), que muestra que el libre comercio incrementa los niveles de utilidad y bienestar.

El análisis del dilema del prisionero para Estados Unidos y Chinas, supone que si EE.UU toma un estrategia proteccionista y China opta por el libre comercio, las exportaciones estadounidenses no se ven afectada, sin embargo, el precio de los productos chinos en EE.UU se incrementa y por lo tanto las importaciones estadounidenses disminuyen y como resultado su PIB aumenta. Desde el punto de vista de China, es a la inversa, sus exportaciones a EE.UU disminuyen y sus importaciones se mantienen constantes, luego se produce una reducción en su PIB. Sin embargo, este análisis se ha realizado sin tener en cuenta posibles sanciones que podrían imponerse a ambos países por parte de la OMC al tratar de llevar a cabo una estrategia proteccionista.

Si ambas potencias optan por no imponer aranceles, entonces se mantiene un entorno de libre comercio próspero y si ambas optan por el proteccionismo, el resultado es una disminución en el comercio mundial y una posterior caída en el PIB y el bienestar.

El análisis anterior muestra una estrategia simultanea de ambos países, pero desde un punto de vista más realista se debe tener en cuenta cuál sería la estrategia de un país teniendo en cuenta la estrategia ya dada del otro país. Para ello, el modelo

secuencial es útil ya que, dada la actuación de un jugador, el siguiente jugador toma su decisión. Dicho procedimiento se basa en el equilibrio de Stackeberg, en el que uno de los jugadores tiene una posición dominante y actúa como líder (EE.UU) otro y el otro jugador (China) actúa como seguidor y reacciona a las decisiones tomadas previamente por el líder. El líder sabe que el seguidor reaccionará a sus decisiones y puede adelantar cuál será la respuesta del seguidor, internalizando esa respuesta del seguidor en su problema de toma de decisiones.

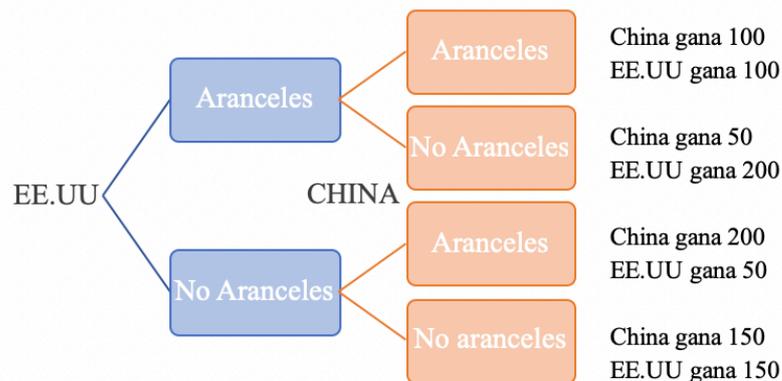


Ilustración 9: Modelo secuencial estrategias EE.UU - China

En este modelo es racional que China opte por imponer aranceles siempre, debido a que, si Estados Unidos impone aranceles, la única opción de China es imponer aranceles, y en caso de que Estados Unidos opte por el libre comercio, China sale beneficiada si impone aranceles como se muestra en la ilustración superior. Por lo tanto, Estados Unidos analizando esta posible situación optará por imponer aranceles desde el principio.

Cabe destacar que dada la política comercial de China sería improbable que tomara una estrategia proteccionista sin ser provocada antes, pero en el juego secuencial analizado se asume que Estados Unidos es el primer jugador, debido a que Trump ha sido quién ha comenzado el conflicto comercial con China.

La conclusión del análisis secuencial es que la amenaza de que China aplique tarifas después de que Estados Unidos haya optado por optar por el libre comercio obliga

a los Estados Unidos a optar por tarifas en primera instancia. Dando lugar al mismo resultado sub-óptimo del juego simultáneo.

Sin embargo, podría lograrse un resultado diferente mediante acuerdos bilaterales entre países donde si país incumple dicho acuerdo sería gravemente sancionado. Lo que enfatiza el importante papel de la OMC en la regulación del comercio internacional para el bien común.

3.1 CONCLUSIONES

Se ha analizado la relación entre la política comercial de Estados Unidos y China, describiendo las decisiones que toman los países cuando tratan de influir en el resultado final de la interacción comercial.

A partir del dilema del prisionero se ha concluido que ambos países tienden hacia una estrategia proteccionista, donde el empleo de aranceles es la mejor respuesta para ambas potencias, aun siendo esta un resultado sub-óptimo para ambos (Equilibrio de Nash).

A la misma conclusión se ha llegado mediante una estrategia líder-seguidor basado en el equilibrio de Stackeberg, en el que el primero en actuar es EE.UU y China reacciona ante ñas decisiones tomadas previamente por el país estadounidense.

Sin embargo, un resultado óptimo en el que cada país lleva una estrategia de libre comercio es posible si se realizan acuerdos bilaterales o mediante la existencia de una institución que regule el comercio internacional.

Capítulo 4 ANÁLISIS CUANTITATIVO

Tras el análisis cualitativo del conflicto internacional entre Estados Unidos y China se ha concluido que la mejor opción para ambos países es llevar a cabo una estrategia proteccionista, aún siendo esta un resultado sub-óptimo. Sin embargo, la existencia de acuerdos bilaterales y una regulación por parte de la OMC puede llevar a una cooperación entre ambos países. Dicha cooperación proviene de una estrategia de libre comercio en la que ambos países alcanzan un resultado óptimo.

Este capítulo trata de analizar la posibilidad de llevar a cabo un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y China a partir de los objetivos nacionales de cada país.

Para ello, se ha planteado un problema de optimización para ambas potencias, dicho planteamiento está constituido por una función objetivo y una restricción que relaciona los objetivos nacionales de ambos países con sus intercambios comerciales (exportaciones e importaciones).

A partir de la estructura compuesta por el problema de optimización para cada país, con su propia función objetivo y restricciones, se ha planteado las condiciones de KKT de los dos problemas de optimización para poder resolver todas las condiciones de KKT como un sistema de ecuaciones único. Una vez, resuelto el sistema de ecuaciones, las soluciones dadas satisfacen las condiciones de optimalidad de los dos países y se llega a una solución en el equilibrio.

El sistema de ecuaciones conjunto tiene estructura de problema complementario y se ha resuelto de tal forma, mediante el programa de GAMS. las condiciones de KKT de ambas potencias se han formulado conjuntamente y se ha utilizado el solucionador PATH para resolverlo [8].

Las funciones objetivo y las restricciones han sido creadas mediante el programa MATLAB.

4.1 ***FUNCIONES OBJETIVOS Y RESTRICCIONES***

Con el objetivo de crear una herramienta para llegar a propuestas de políticas económicas y/o comerciales entre Estados Unidos y China se va a tratar de resolver un problema de optimización. Para ello, se va a establecer una función objetivo y una restricción, para cada país.

Las funciones objetivos y restricciones han sido creadas en base a supuestos objetivos nacionales de Estados Unidos y China.

⇒ Objetivos nacionales Estados Unidos:

Tomando como referencia el discurso de presidencia de Donald Trump:

“I am officially running for president of the United States, and we are going to make our country great again.

It can happen. Our country has tremendous potential. We have tremendous people. We have people that aren't working. We have people that have no incentive to work. But they're going to have incentive to work, because the greatest social program is a job. And they'll be proud, and they'll love it, and they'll make much more than they would've ever made, and they'll be -- they'll be doing so well, and we're going to be thriving as a country, thriving. It can happen.

I will be the greatest jobs president that God ever created. I tell you that.”

Se ha establecido que el objetivo primordial de Estados Unidos sea maximizar la tasa de empleo estadounidense.

Por otro lado, a partir de información extraída de Boomborg, se ha determinado que la restricción estadounidense sea que su déficit comercial con China se reduzca como mínimo en 200 billones de dólares.

⇒ Objetivos nacionales China:

Tomando como referencia el plan estratégico “*Made in China 2025*” emitido por el Primer Ministro chino Li Keqiang y su gabinete en mayo de 2015. Con él, China pretende alejarse de ser la “fábrica” del mundo y pasar a producir productos y servicios de mayor valor. “*Made in China 2025*” apuesta por convertir al gigante asiático en la principal potencia mundial en el ámbito tecnológico y productivo.

Por ello, se ha considerado el objetivo primordial de China sea maximizar sus exportaciones de alta tecnología.

En relación con la restricción china, en base a la información extraída por Bloomberg, China propone reducir el superávit comercial con Estados Unidos en 5 años.

4.1.0 Variables de decisión

Para poder formular el problema es preciso seleccionar cuáles serán las variables de decisión, tanto de EE.UU. como de China. Las funciones objetivo y las restricciones serán funciones de estas variables de decisión. En el contexto comercial que se está analizando, lo más directo sería que las variables de decisión de cada jugador fueran los aranceles impuestos a los productos del otro jugador. Sin embargo, no se ha encontrado información suficiente para poder expresar los objetivos y restricciones mencionados en el apartado anterior en función de los aranceles impuestos. Por este motivo, se han seleccionado como variables de decisión de cada jugador sus importaciones del otro jugador. La variable de decisión de EE. UU. será cuánto importa de China y la variable de decisión de China será cuánto importa de EE. UU. La justificación de estas variables de decisión es que, por un lado, tienen una relación lógica con la imposición de aranceles ya que si, por ejemplo, EE.UU. decide aumentar sus aranceles a los productos chinos se puede esperar una reducción de las importaciones que hace EE. UU. desde China. Por otro lado, se dispone de información que permite expresar los objetivos y restricciones descritos en el apartado anterior en función de estas variables de decisión, como se describe en el siguiente apartado.

4.1.1 Construcción de la función objetivo

La finalidad de la función objetivo dadas unas limitaciones impuestas, mediante técnicas de programación lineal o no lineal.

Para la construcción se ha tomado el objetivo primordial de cada país, en relación con todos los productos exportados e importados entre EE.UU y China.

Con el fin de encontrar la expresión que conforme la función objetivo de cada uno, se ha llevado a cabo una regresión con el programa MATLAB. La regresión permite realizar un proceso estadístico para estimar la relación entre el objetivo primordial de cada país (variable dependiente) y las exportaciones realizadas entre ellos (variables independientes). De este modo, el análisis estadístico muestra cómo el valor de la variable dependiente varía al realizar modificaciones en las variables independientes.

Para las variables independientes se ha tomado todas las exportaciones entre ambos países en los últimos veinte años:

Tabla 5: Datos históricos exportaciones e importaciones de EE.UU con China [9]

Year	Exports US (Y)	Imports US (X)	Balance
TOTAL 1998	14241,2	71168,6	-56927,4
TOTAL 1999	13111,1	81788,2	-68677,1
TOTAL 2000	16185,2	100018,2	-83833
TOTAL 2001	19182,3	102278,4	-83096,1
TOTAL 2002	22127,7	125192,6	-103064,9
TOTAL 2003	28367,9	152436,1	-124068,2
TOTAL 2004	34427,8	196682	-162254,3
TOTAL 2005	41192	243470,1	-202278,1
TOTAL 2006	53673	287774,4	-234101,3
TOTAL 2007	62936,9	321442,9	-258506
TOTAL 2008	69732,8	337772,6	-268039,8
TOTAL 2009	69496,7	296373,9	-226877,2
TOTAL 2010	91911,1	364952,6	-273041,6
TOTAL 2011	104121,5	399371,2	-295249,7
TOTAL 2012	110516,6	425619,1	-315102,5
TOTAL 2013	121746,2	440430	-318683,8
TOTAL 2014	123657,2	468474,9	-344817,7
TOTAL 2015	115873,4	483201,7	-367328,3
TOTAL 2016	115545,5	462542	-346996,5
TOTAL 2017	129893,6	505470	-375576,4
TOTAL 2018	120341,4	539503,4	-419162

Dónde:

X = Importa Estados Unidos de China → Variable dependiente de Estados Unidos

Y = Importa China de Estados Unidos → Variable dependiente de China

Por lo tanto, se pretenden obtener dos funciones objetivo con la siguiente estructura:

$$F.O \text{ ESTADOS UNIDOS : } \text{Max. Tasa laboral} = \beta_0 + \beta_1 (Y - X)$$

$$F.O \text{ CHINA: } \text{Max. Exportaciones alta tecnología} = a_0 + a_1 (X - Y)$$

Para la regresión con Matlab se ha tomado los datos históricos anuales de la tasa de empleo estadounidense y de las exportaciones de alta tecnología china en millones de dólares estadounidenses en los últimos veinte años al igual que como se hizo con las exportaciones entre ambas potencias económicas.

A mayor número de datos que se utilice más preciso será el modelo, donde las variables independientes son la parte determinista, los predictores. Mediante MATLAB, se va a determinar el tipo de función, su complejidad, las variables relevantes y los coeficientes de la parte determinista.

Un modelo válido es aquel cuyo coeficiente determinación (R^2) es próximo a 1.

Este coeficiente muestra cuanta varianza se ha explicado de la que había anteriormente, R^2 igual a 1 explica el 100% de la varianza de los datos, en cambio si el coeficiente de determinación se acerca a cero significa que hay tanta varianza como si no se hubiera llevado a cabo la regresión.

Al introducir más variables se reduce la varianza de los residuos, pero a costa de introducir parámetros que a lo mejor no eran necesario. Por lo que, se realiza un coeficiente de determinación ajustado.

Para regresión se plantea la siguiente hipótesis, tomando como ejemplo la función objetivo de Estados Unidos:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

Si p-value es próximo a cero, se rechaza H_0 , por lo que el modelo es útil [9]. En caso, contrario, los datos no son relevantes, se elimina la variable de entrada.

Al realizar una regresión con varias variables, hay que tener en cuenta que, si hay una correlación muy fuerte entre las variables de entrada de los predictores, la información está representada de forma redundante, es decir, misma información en varias variables. Por lo tanto, se debe eliminar una de ellas, ya que los coeficientes del modelo serían en este caso bastante arbitrarios, muy inestables y podrían predecir de forma errónea si se introducen nuevos datos.

En la matriz correlación, se ve la correlación si los valores son significativamente mayores que cero y al pintar los residuos se comprueba si estos son normales, modelo válido o no son normales, modelo no válido.

4.1.1.1 Regresión Estados Unidos

El modelo de regresión para la obtención de la función objetivo de EE.UU está compuesto por una variable de salida (y) y una variable de entrada (x).

⇒ Primera regresión función objetivo EE.UU

VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA:

y: tasa de empleo de Estados Unidos

x: déficit comercial entre Estados Unidos y China (Y-X)

Código MATLAB

```
y = EmpleoUS;  
x = Balance;  
// Balance = Exports - Imports//  
% show problem  
figure; plotmatrix([y x]);  
% compute correlation matrix (output first variable)  
[corr, pvals] = corrcoef([y x]);  
disp('Correlation matrix (y x):'); disp(corr);
```

```
% Fit linear regression model
% With ALL the available input variables (includes intercept)
model = fitlm(x, y, 'linear');
disp(model);
```

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x$$

Tabla 6: Tabla 3: Resultados regresión F.O EE.UU 1

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	73.986	0.9033	81.906	1.0987e-25
Balance	1.5345e-05	3.4815e-06	4.4076	0.00030245

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 1.77

R-squared: 0.506, Adjusted R-Squared 0.48

F-statistic vs. constant model: 19.4, p-value = 0.000302

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$\beta_0 = 73.986$$

$$\beta_1 = 1.5345e-05$$

Tasa de empleo EE.UU = 73.986 + 1.5345e-05 (Y-X)
--

Sin embargo, con el objetivo de ajustar mejor el modelo, se ha realizado una regresión cuadrática.

⇒ Segunda regresión función objetivo EE.UU

Variables de entrada y salida:

y: tasa de empleo de Estados Unidos

x: déficit comercial entre Estados Unidos y China (Y-X)

Código MATLAB

```
y = EmpleoUS;
x = Balance;
% Fit linear regression model 2
% Only with variable x(:,2) (quadratic, includes intercept)
model2 = fitlm([x(:,1) x(:,1).^2], y, 'linear');
% model2 = fitlm([x(:,2)],y,'quadratic') produce the same result
disp(model2);
% Check normality of the residuals
figure; plotResiduals(model2);
figure; plotResiduals(model2,'probability');
```

Quadratic regression model:

$$y \sim 1 + x + x^2$$

Tabla 7:Tabla 3: Resultados regresión F.O EE.UU 2

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	77.103	1.4665	52.578	3.691e-21
Balance	5.2306e-05	1.4917e-05	3.5065	0.00252
(Balance) ²	8.2534e-11	3.2596e-11	2.5321	0.020867

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 18

Root Mean Squared Error: 1.56

R-squared: 0.635, Adjusted R-Squared 0.595

F-statistic vs. constant model: 15.7, p-value = 0.000114

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales. Además, el R^2 muestra que este modelo mediante regresión cuadrática es mejor que el modelo lineal anterior.

Parámetros obtenidos:

$$\beta_0 = 77.103$$

$$\beta_1 = 5.2306e-05$$

$$\beta_2 = 8.2534e-11$$

$$\text{Tasa de empleo}_{EE.UU} = 77.103 + 5.2306e-05 (Y-X) + 8.2534e-11 (Y-X)^2$$

Por último, se ha realizado una regresión teniendo en cuenta únicamente la variable dependiente de Estados Unidos ($X = \text{Importa Estados Unidos de China}$).

⇒ Tercera regresión función objetivo EE.UU

Variables de entrada y salida:

y: tasa de empleo de Estados Unidos

x: Importaciones estadounidenses de China (X)

Código MATLAB

```
y = EmpleoUS;
x = ImportsUS;
% show problem
figure; plotmatrix([y x]);
% compute correlation matrix (output first variable)
[corr, pvals] = corrcoef([y x]);
disp('Correlation matrix (y x):'); disp(corr);
% Fit linear regression model
% With ALL the available input variables (includes intercept)
model = fitlm(x, y, 'linear');
disp(model);
```

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x1$$

Tabla 8: Resultados regresión F.O EE.UU 3

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	73.932	0.82864	89.22	2.1718e-26
ImportsUS (X)	-1.1626e-05	2.4318e-06	-4.7808	0.00012996

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 1.69

R-squared: 0.546, Adjusted R-Squared 0.522

F-statistic vs. constant model: 22.9, p-value = 0.00013

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$\beta_0 = 73.932$

$\beta_1 = -1.1626e-05$

Tasa de empleo EE.UU = $73.986 - 1.1626e-05 X$
--

4.1.1.2 Regresión China

El modelo de regresión para la obtención de la función objetivo de China está compuesto por una variable de salida (y) y una variable de entrada (x).

⇒ Primera regresión función objetivo China

Variables de entrada y salida:

y: exportaciones de alta tecnología chinas

x: déficit comercial entre Estados Unidos y China (Y-X)

Código MATLAB

```
y = ExpAT;  
x = Balance;  
  
// Balance = Exports - Imports//  
% show problem  
figure; plotmatrix([y x]);  
% compute correlation matrix (output first variable)  
[corr, pvals] = corrcoef([y x]);  
disp('Correlation matrix (y x):'); disp(corr);
```

```
% Fit linear regression model
% With ALL the available input variables (includes intercept)
model = fitlm(x, y, 'linear');
disp(model);
```

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x1$$

Tabla 9: Resultados regresión F.O China 1

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	-1.118e+05	26806	-4.1705	0.00051909
Balance	-1.8401	0.10332	-17.81	2.5916e-13

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 5.24e+04

R-squared: 0.943, Adjusted R-Squared 0.941

F-statistic vs. constant model: 317, p-value = 2.59e-13

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$a_0 = -1.118e+05$$

$$a_1 = -1.8401$$

$$\text{Exportaciones de alta tecnología CHINA} = -1.118e+05 - 1.840 (Y - X)$$

⇒ Segunda regresión función objetivo China

Variables de entrada y salida:

y: exportaciones de alta tecnología chinas

x: importaciones estadounidenses de China (X)

Código MATLAB

```

y = ExpAT;
x = ImportsUS;
% show problem
figure; plotmatrix([y x]);
% compute correlation matrix (output first variable)
[corr, pvals] = corrcoef([y x]);
disp('Correlation matrix (y x):'); disp(corr);
% Fit linear regression model
% With ALL the available input variables (includes intercept)
model = fitlm(x, y, 'linear');
disp(model);

```

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x1$$

Tabla 10: Resultados regresión F.O China 2

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	-94211	19686	-4.7857	0.00012854
x	1.3578	0.057771	23.504	1.6612e-15

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 4.02e+04

R-squared: 0.967, Adjusted R-Squared 0.965

F-statistic vs. constant model: 552, p-value = 1.66e-15

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$a_0 = -94211$$

$$a_1 = 1.3578$$

$$\text{Exportaciones de alta tecnología CHINA} = -94211 + 1.3578 X$$

⇒ Tercera regresión función objetivo China

VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA:

y: exportaciones de alta tecnología chinas

x: importaciones chinas de Estados Unidos (Y)

Código MATLAB

```

y = ExpAT;
x = ExportsUS; //Importaciones chinas de usa
% show problem
figure; plotmatrix([y x]);
% compute correlation matrix (output first variable)
[corr, pvals] = corrcoef([y x]);
disp('Correlation matrix (y x):'); disp(corr);
% Fit linear regression model
% With ALL the available input variables (includes intercept)
model = fitlm(x, y, 'linear');
disp(model);
  
```

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x_1$$

Tabla 11: Resultados regresión F.O China 3

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	-26401	13084	-2.0178	0.057963
y	4.9208	0.15942	30.868	1.0639e-17

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 3.08e+04

R-squared: 0.98, Adjusted R-Squared 0.979

F-statistic vs. constant model: 953, p-value = 1.06e-17

Modelo válido, coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$a_0 = -26401$$

$$a_1 = 4.9208$$

$$\text{Exportaciones de alta tecnología CHINA} = -26401 + 4.9208 Y$$

4.1.2 Construcción de la restricción

La restricción de cada problema es una expresión que limita los valores que pueden tomar las variables del problema y, por tanto, condiciona el valor óptimo de la función objetivo

4.1.2.1 Restricción Estados Unidos

Según Bloomberg News:

"If Trump can cut a deal with China for a \$200 billion reduction in the bilateral trade deficit, then he'll have won the trade deal of the century,"

En base a la anterior declaración, se ha considerado la siguiente restricción para el problema de optimización de Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

Dónde:

X = Importa Estados Unidos de China → Variable dependiente de Estados Unidos

Y = Importa China de Estados Unidos → Variable dependiente de China

$(Y - X)^{2018}$ = Balance comercial de EE.UU. con China en 2018: \$ - 420 billones

4.1.2.2 Restricción China

Según Bloomberg News:

“Negotiations so far have focused mainly on what China will do to reduce its goods trade surplus with the U.S., which reached a record \$419.2 billion last year. Beijing has made some big offers in this area, such as a pledge to reduce the deficit to zero by 2024 -- close to the end of a potential Trump second term.”

En base a la anterior declaración, se ha considerado plantear la restricción de China, como la reducción a cero de su superávit comercial con Estados Unidos en cinco años. Para ello, se ha tenido en cuenta la inflación que habría en cada país desde el 2019 hasta el 2024:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{\text{China}})^t - X * (1 + \text{inflación}_{\text{EE.UU}})^t] \geq 0$$

Dónde:

X = Importa Estados Unidos de China → Variable dependiente de Estados Unidos

Y = Importa China de Estados Unidos → Variable dependiente de China

Inflación_{EE.UU} = 1,77%

Inflación_{CHINA} = 2,47%

t = 5 años

4.2 PLANTEAMIENTO PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

El objetivo de construir un problema de optimización para cada país, que pueda resolverse conjuntamente más adelante, es poder reproducir la realidad del conflicto internacional entre Estados Unidos y Chinas de la manera más fiel posible en el ámbito matemático, tratando de entender como se comporta cada potencia y obteniendo resultados que se pueden suponer de determinadas acciones.

Para ello, se han planteado tres posibles problemas de optimización:

- Problema Básico

- Problemas Simple
- Problema General

Los tres problemas poseen las mismas restricciones para cada país, la diferencia se encuentra en las funciones objetivo. La complejidad de la composición de cada función objetivo se incrementa al pasar del problema básico al simple y de este al general.

4.2.1 Problema Básico

En el problema básico tanto la función objetivo de Estados Unidos como la de China depende únicamente de una variable, la variable dependiente de Estados Unidos (“X” Importaciones estadounidenses de China).

PLANTEAMIENTO PROBLEMA BÁSICO

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -94211 + 1.3578 X$$

RESTRICCION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

4.2.2 Problema Simple

En el problema simple la función objetivo de Estados Unidos depende únicamente de su variable dependiente (“X” Importaciones estadounidenses de China) y la función objetivo de China depende únicamente de su variable dependiente (“Y” Importaciones chinas de Estados Unidos).

PLANTEAMIENTO PROBLEMA SIMPLE

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 - 1.1626^{-5}X$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -26401 + 4.9208 Y$$

RESTRICCION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

4.2.1 Problema General

En el problema general tanto la función objetivo de Estados Unidos como la de China dependen de las variables dependientes de cada país (“X” Importaciones estadounidenses de China e “Y” Importaciones chinas de Estados Unidos).

PLANTEAMIENTO PROBLEMA GENERAL

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = 73.986 + 1.5345e^{-5}(Y - X)$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2018} + \$ 200 \text{ billones}$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = -1.118^5 - 1.840 (Y - X)$$

RESTRICCION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

4.3 RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Para los capítulos posteriores de resultados y conclusiones es útil determinar cuál es la relación entre las variables de decisión de cada país. Cada país, en su toma de decisiones, debe procurar internalizar la reacción del otro país a estas decisiones. Sería una hipótesis un poco inocente suponer que el otro país no reaccionará. Para ello, se va a considerar que cada país hace una hipótesis sobre cuál será la reacción del otro país a sus decisiones. Esta hipótesis representa la derivada de la variable de decisión del otro país con respecto a la variable de decisión propia.

Dónde:

X = Importa Estados Unidos de China → Variable dependiente de Estados Unidos

Y = Importa China de Estados Unidos → Variable dependiente de China

Para ello, se ha hecho dos regresiones con MATLAB, mostrando los siguientes resultados:

4.3.1 Relación Y-X

y = ExportsUS; //Importa China de EE.UU

x = ImportsUS; //Importa EE.UU de china

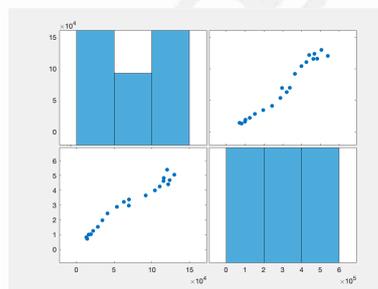


Ilustración 10: Correlación Y-X

Linear regression model:

Tabla 12: Resultados regresión Y-X

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	-12856	4093.8	-3.1403	0.0053877
Importa usa (X)	0.27291	0.012014	22.717	3.1075e-15

Number of observations: 21, Error degrees of freedom: 19

Root Mean Squared Error: 8.36e+03

R-squared: 0.964, Adjusted R-Squared 0.963

F-statistic vs. constant model: 516, p-value = 3.11e-15

$$Y = -12856 + 0.27291 X$$

4.3.2 Relación X-Y

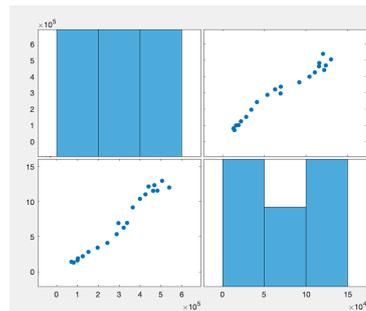


Ilustración 11: Correlación X-Y

Linear regression model:

Tabla 13: Resultados regresión X-Y

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	56266	12769	4.4066	0.00030316
Importa china (Y)	3.5341	0.15557	22.717	3.1075e-15

Number of observations: 11, Error degrees of freedom: 9

Root Mean Squared Error: 2.55e+03

R-squared: 0.853, Adjusted R-Squared 0.837

F-statistic vs. constant model: 52.2, p-value = 4.93e-05

$$X = 56266 + 3.5341 Y$$

4.4 CONCLUSIONES

Se ha analizado la posibilidad de llevar a cabo un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y China a partir de los objetivos nacionales de cada país.

Para ello, se ha planteado un problema de optimización para ambas potencias, dicho planteamiento está constituido por una función objetivo y una restricción que relaciona los objetivos nacionales de ambos países con sus intercambios comerciales (exportaciones e importaciones).

El objetivo de construir un problema de optimización para cada país, que pueda resolverse conjuntamente más adelante, es poder reproducir la realidad del conflicto internacional entre Estados Unidos y Chinas de la manera más fiel posible en el ámbito matemático, tratando de entender como se comporta cada potencia y obteniendo resultados que se pueden suponer de determinadas acciones.

Se ha llegado a tres posibles problemas de optimización, en base al nivel de complejidad de la estructura de las funciones objetivos. Estos problemas de optimización son:

- Problema Básico
- Problemas Simple
- Problema General

Capítulo 5 RESULTADOS

En este capítulo se pretende mostrar el proceso de obtención de los resultados de los tres problemas de optimización planteados para llegar a un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y China con respecto a su conflicto internacional provocado por el déficit comercial estadounidense con China de \$ 420 billones.

Para ello, se ha utilizado la herramienta GAMS (General Algebraic Modeling System), la cual se define como un de programación que hace posible el modelado y resolución de los problemas de optimización, pues pone a disposición del usuario un amplio paquete de *solvers* y por lo tanto permite hallar el valor las variables dependientes de cada país (X e Y) para cada planteamiento.

5.1 PROBLEMA BÁSICO

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = -1.1626^{-5}$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Planteamiento problema Estados Unidos:

Se escribe el lagrangiano de Estados Unidos como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot X + U1 \cdot [(Y - X)^{2018} + r - (Y - X)]$$

Donde:

$r = \$ 200$ billones

Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X} : -b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \geq 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

$$(Y - X) - (Y - X)^{2018} - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

De la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de USA se puede despejar U1:

- Si $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$:

$$U1 \geq \frac{b_1}{1 - \frac{\partial Y}{\partial X}} < 0$$

En este caso U1 debe ser mayor o igual que un número negativo. No hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$

- Si $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ (al dividir por un valor negativo, cambiamos el signo de la desigualdad \geq a \leq):

$$U1 \leq \frac{b_1}{1 - \frac{\partial Y}{\partial X}} > 0$$

En este caso U1 debe ser menor o igual que un número positivo. No hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 X$$

Donde:

$$a_0 = -94211$$

$$a_1 = 1.3578$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Planteamiento problema China:

Se escribe el lagrangiano de China como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot X + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Donde:

$$iu = \text{Inflación}_{EE.UU} = 1,77\%$$

$$ic = \text{Inflación}_{CHINA} = 2,47\%$$

Las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China:

$$\frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y}: -a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

De la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China se puede despejar U2:

- Si $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t > 0$:

$$U2 \geq \frac{a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y}}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} > 0$$

En este caso U2 debe ser mayor o igual que un número positivo. No hay incompatibilidad con $U2 \geq 0$. En la solución, U2 tendrá que ser mayor que este valor positivo.

- Si $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t < 0$ (al dividir por un valor negativo, cambiamos el signo de la desigualdad \geq a \leq):

$$U2 \leq \frac{a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y}}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} < 0$$

En este caso U2 debe ser menor o igual que un número negativo. Incompatible con $U2 \geq 0$. El problema será infactible.

Hay que elegir una conjetura de china tal que $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t > 0$, es decir:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > \frac{(1 + ic)^t}{(1 + iu)^t}$$

A partir de los valores de ic y iu se obtiene la siguiente restricción:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.035$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	0
VAR Y	0
VAR U1	0
VAR U2	1.7596

Análisis del resultado:

Todas las variables a cero menos la variable U2.

El resultado es lógico debido a que a Estados Unidos le interesa el menor X posible, es decir minimizar las importaciones de China para aumentar su tasa laboral.

⇒ Explicación:

Como la variable U_2 es mayor que cero, la segunda condición de KKT de China se da con igualdad, luego si X es igual a cero, entonces Y también es igual a cero. Si X e Y son cero, la restricción del problema de Estados Unidos no está activa debido a que es estrictamente mayor que cero, luego U_1 debe ser cero.

De dicha solución se plantea el poner límites inferiores y superiores a X e Y . En dicho caso, se esperaría que la X se fuera a su valor mínimo, ya que es lo que le interesa a Estados Unidos, pero se debería obtener un resultado en un orden de magnitud razonable. Si ponemos límites superiores e inferiores a X e Y , el problema complementario sería un problema complementario mixto.

5.1.1 Problema Básico con cotas

Dadas las importaciones de Estados Unidos en 2018 de 539 billones de dólares, las importaciones de China en 2018 de 120 billones de dólares y el objetivo americano de bajar el déficit comercial con China 200 billones de dólares, se han considerado las siguientes cotas:

E

Por lo tanto, el problema básico quedaría de la siguiente manera:

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = -1.1626^{-5}$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Cotas limites Importa EE.UU (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con X con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos ya no es:

$$-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \geq 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

Sino:

$$-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$

- Si $X = X^{min}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \geq 0$
- Si $X = X^{max}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \leq 0$
- Si $X^{max} > X > X^{min}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] = 0$

Segunda condición de KKT de EE.UU se mantienen igual:

$$(Y - X) - (Y - X)^{2018} - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

F.O China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 X$$

Donde:

$$a_0 = -94211$$

$$a_1 = 1.3578$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Cotas limites Importa China (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con Y con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China ya no es:

$$-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

Sino:

$$-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] = 0 \quad \perp \quad Y^{max} \geq Y \geq Y^{min}$$

- Si $Y = Y^{min}$
 - $-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] \geq 0$
- Si $Y = Y^{max}$
 - $-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] \leq 0$
- Si $Y^{max} > Y > Y^{min}$
 - $-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] = 0$

Segunda condición de KKT de China se mantienen igual:

$$Y \cdot (1+ic)^t - X \cdot (1+iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	339.00
VAR Y	328.00
VAR U1	0
VAR U2	0

Análisis del resultado:

⇒ *Análisis condiciones EE.UU:*

Se parte del análisis de las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos.

El lagrangiano del problema de Estados Unidos dado es:

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot X + U1 \cdot [d + r - (Y - X)]$$

Donde:

$$d = (Y - X)^{2018}$$

$$r = \$ 200 \text{ billones}$$

Luego las condiciones de KKT de Estados Unidos son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X}: b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$
$$(Y - X) - d - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

Dada la primera condición de KKT de Estados Unidos se puede despejar U1 en función de los casos que tome el valor de la variable dependiente de Estados Unidos (X).

Para ello, se va a asumir en todos los casos que la conjetura $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

- Caso 1: $X = X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser mayor o igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \geq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar U1 como: $U1 \geq b_1$,

por lo que esta debe ser mayor o igual que un número negativo, de tal forma que no hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$

La restricción del problema de Estados Unidos si se satisface con la igualdad podría estar activa ($U1 > 0$). De tal manera que se podría despejar la variable dependiente de China (Y) de la restricción, obteniendo:

$$Y \geq X + d + r$$

Donde:

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$d = (Y - X)^{2018} = -420 \text{ billones}$$

$$r = 200 \text{ billones}$$

$$Y \geq 120$$

- Caso 2: $X^{max} > X > X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar U1 como: $U1 = b_1$,

por lo que esta debe ser igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

- Caso 3: $X = X^{max}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \leq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar U1 como: $U1 \leq b_1$,

por lo que esta debe ser menor o igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

El único caso posible es para $X = X^{min}$ teniendo en cuenta que $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

$$Y \geq 120$$

⇒ *Análisis condiciones China:*

Por otro lado, se debe analizar también las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China.

El lagrangiano del problema de China dado es:

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot X + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Por lo tanto, las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y}: -a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

$$Y \cdot (1+ic)^t - X \cdot (1+iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

- **Caso 1: $Y = Y^{min}$**

Del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$ y de la restricción del problema con China, se comprueba que:

$$Y \geq \left(\frac{1+iu}{1+ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

Por lo que, si:

$$Y = Y^{min} = 120 \rightarrow \text{Caso infactible}$$

- **Caso 2: $Y^{max} > Y > Y^{min}$**

La primera condición KKT de China debe ser igual a cero:

$$-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t \right] = 0$$

Donde:

$iu = \text{Inflación}_{EE.UU} = 1,77\%$

$ic = \text{Inflación}_{CHINA} = 2,47\%$

$a_1 = 1.3578$

Se puede despejar U2 de la siguiente forma:

$$U2 = \frac{a_1 \cdot \left(-\frac{\partial X}{\partial Y} \right)}{-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t} = \frac{1.685 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} \right)}{\frac{\partial X}{\partial Y} - 1.035}$$

Tres subcasos dependiendo del valor que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

- a. $\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.035$:

$$U2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X$$

b. $1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 1.035$:

$U2 < 0 \rightarrow$ **Caso infactible**

c. $\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$

$$U2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X$$

▪ **Caso 3: $Y = Y^{max}$**

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$-a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$$

si $Y = Y^{max} = 400$, la restricción del problema de China no está activa ya que del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$:

$$Y \geq \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

De tal manera que la restricción no se da con igualdad y por tanto $U2=0$. Por lo que, la primera condición de KKT de China queda de la siguiente forma:

$$a_1 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) \leq 0$$

Al ser a_1 negativo, se cumple la primera condición de KKT de China si $\left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) \geq 0$, es decir si:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} \geq 1$$

Tabla resumen soluciones de la variable dependiente de China (Y) en función de los valores que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

Tabla 14: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China

$\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic}\right)^t \cdot X = 327.58$ <p>ó</p> $Y = Y^{max} = 400$
$1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 1.035$	$Y = Y^{max} = 400$
$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.035$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic}\right)^t \cdot X = 327.58$

5.2 PROBLEMA SIMPLE

A continuación, se muestran los resultados del análisis del problema simple. Se ha explicado en detalle su desarrollo en los anexos.

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = -1.1626^{-5}$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Planteamiento problema Estados Unidos:

Se escribe el lagrangiano de Estados Unidos como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot X + U1 \cdot [(Y - X)^{2018} + r - (Y - X)]$$

Donde:

$r = \$ 200$ billones

Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos son las mismas que para el problema anterior.

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 Y$$

Donde:

$$a_0 = -26401$$

$$a_1 = 4.9208$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{china})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	0
VAR Y	0
VAR U1	0
VAR U2	1.8065

5.1.1 Problema Simple con cotas

Cotas limites importa USA (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

Cotas limites importa CHINA (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	339.00
VAR Y	328.00
VAR U1	0
VAR U2	0

$\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic}\right)^t \cdot X = 327.58$ <p style="text-align: center;">ó</p> $Y = Y^{max} = 400$
$1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 4.508$	$Y = Y^{max} = 400$
$\frac{\partial X}{\partial Y} > 4.508$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic}\right)^t \cdot X = 327.58$

5.3 PROBLEMA GENERAL

A continuación, se muestran los resultados del análisis del problema general. Se ha explicado en detalle su desarrollo en los anexos.

F.O Estados Unidos:

$$MAX \text{ Tasa de empleo }_{EE.UU} = b_0 + b_1 (Y - X)$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = 1.5345e-05$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Planteamiento problema Estados Unidos:

Se escribe el lagrangiano de Estados Unidos como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot (Y - X) + U1 \cdot [(Y - X)^{2018} + r - (Y - X)]$$

Donde:

$r = \$ 200$ billones

Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos son:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X}: b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

$$(Y - X) - d - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 (Y - X)$$

Donde:

$$a_0 = -1.118e+05$$

$$a_1 = -1.840$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{china})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	0
VAR Y	0
VAR U1	0
VAR U2	1.7090

5.1.1 Problema General con cotas

Cotas limites importa USA (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

Cotas limites importa CHINA (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	339.00
VAR Y	328.00
VAR U1	0
VAR U2	0

$\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic} \right)^t \cdot X = 327.58$ <p>ó</p> $Y = Y^{max} = 400$
$1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 1.685$	$Y = Y^{max} = 400$
$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.685$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1+iu}{1+ic} \right)^t \cdot X = 327.58$

5.4 CONCLUSIONES

A modo de conclusión, se muestran todos los resultados obtenidos de los diferentes problemas de optimización.

	BÁSICO		SIMPLE		GENERAL	
	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL
SIN COTAS	VAR X	0	VAR X	0	VAR X	0
	VAR Y	0	VAR Y	0	VAR Y	0
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	1.7596	VAR U2	1.8065	VAR U2	17.090
CON COTAS	VAR X	339.00	VAR X	339.00	VAR X	339.00
	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	0	VAR U2	0	VAR U2	0

Tabla 15: Tabla resumen resultados problemas de optimización

Comentario sobre los resultados:

Los resultados obtenidos en los problemas sin cotas son todas las variables cero menos la variable U2. El resultado es lógico debido a que a Estados Unidos le interesa el menor X posible, es decir minimizar las importaciones de China para aumentar su tasa laboral.

La variable U2 depende del valor de a_1 , que es el coeficiente de la función objetivo de China, el cual varía para cada problema. Por ello, el valor de U2 es diferente para el problema básico, simple y general

$$U2 = \frac{a_1 \cdot \frac{\partial X}{\partial Y}}{-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t}$$

Los resultados obtenidos al implementar las cotas son iguales para cada tipo de problema, la variable X toma su valor mínimo 339 y la variable Y toma un valor de 328.

El valor de la variable X tiende a su valor mínimo, debido a que en los tres posibles problemas la función objetivo de Estados Unidos trata de minimizar dicha variable. Sin embargo, el valor de la variable Y debido a que la conjetura de China impuesta es $\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$, se despeja la variable Y de la restricción impuesta a China:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 328$$

Capítulo 6 CONCLUSIONES

La principal motivación del proyecto ha sido tratar de analizar, desde la Teoría de Juegos, el conflicto comercial entre Estados Unidos y China debido al déficit comercial estadounidense de 336 mil millones de dólares en 2018. Dicho déficit se debe a que China exporta al país estadounidense 524 mil millones de dólares y únicamente importa 188 mil millones de dólares.

Para ello, se ha realizado un estudio de las posibles soluciones que pueden tomar ambos países. Dicho análisis se han compuesto de un estudio cualitativo haciendo referencia al equilibrio de Nash y un segundo estudio cuantitativo basado en la creación de un acuerdo bilateral entre EE.UU y China, mediante el uso de las herramientas MATLAB y GAMS.

Se ha analizado la relación entre la política comercial de Estados Unidos y China, describiendo las decisiones que toman los países cuando tratan de influir en el resultado final de la interacción comercial.

A partir del dilema del prisionero se ha concluido que ambos países tienden hacia una estrategia proteccionista, donde el empleo de aranceles es la mejor respuesta para ambas potencias, aun siendo esta un resultado sub-óptimo para ambos (Equilibrio de Nash).

A la misma conclusión se ha llegado mediante una estrategia líder-seguidor basado en el equilibrio de Stackeberg, en el que el primero en actuar es EE.UU y China reacciona ante las decisiones tomadas previamente por el país estadounidense.

Sin embargo, un resultado óptimo en el que cada país lleva una estrategia de libre comercio es posible si se realizan acuerdos bilaterales o mediante la existencia de una institución que regule el comercio internacional.

Se ha analizado la posibilidad de llevar a cabo un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y China a partir de los objetivos nacionales de cada país.

Para ello, se ha planteado un problema de optimización para ambas potencias, dicho planteamiento está constituido por una función objetivo y una restricción que relaciona los objetivos nacionales de ambos países con sus intercambios comerciales (exportaciones e importaciones).

El objetivo de construir un problema de optimización para cada país, que pueda resolverse conjuntamente más adelante, es poder reproducir la realidad del conflicto internacional entre Estados Unidos y China de la manera más fiel posible en el ámbito matemático, tratando de entender como se comporta cada potencia y obteniendo resultados que se pueden suponer de determinadas acciones.

Se ha llegado a tres posibles problemas de optimización, en base al nivel de complejidad de la estructura de las funciones objetivos. Estos problemas de optimización son:

- Problema Básico
- Problemas Simple
- Problema General

Cuyos resultados obtenidos son los siguientes:

	BÁSICO		SIMPLE		GENERAL	
	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL	VAR	LEVEL
SIN COTAS	VAR X	0	VAR X	0	VAR X	0
	VAR Y	0	VAR Y	0	VAR Y	0
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	1.7596	VAR U2	1.8065	VAR U2	17.090
CON COTAS	VAR X	339.00	VAR X	339.00	VAR X	339.00
	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00	VAR Y	328.00
	VAR U1	0	VAR U1	0	VAR U1	0
	VAR U2	0	VAR U2	0	VAR U2	0

Tabla 16: Tabla resumen resultados problemas de optimización

Capítulo 7 FUTUROS DESARROLLOS

El desarrollo del trabajo se ha llevado a cabo formulando los problemas de optimización, con variables de decisión para ambos países. Para el contexto comercial actual entre Estados Unidos y China, lo más directo sería que las variables de decisión de cada jugador fueran los aranceles impuestos a los productos del otro jugador. Sin embargo, no se ha encontrado información suficiente para poder expresar los objetivos y restricciones en función de los aranceles impuestos. Por este motivo, se han seleccionado como variables de decisión de cada jugador sus importaciones del otro jugador. Un futuro desarrollo, sería tratar de realizar los mismos problemas de optimización teniendo en cuenta como variable de decisión los aranceles de cada país, y comprobar si se llegan a conclusiones similares.

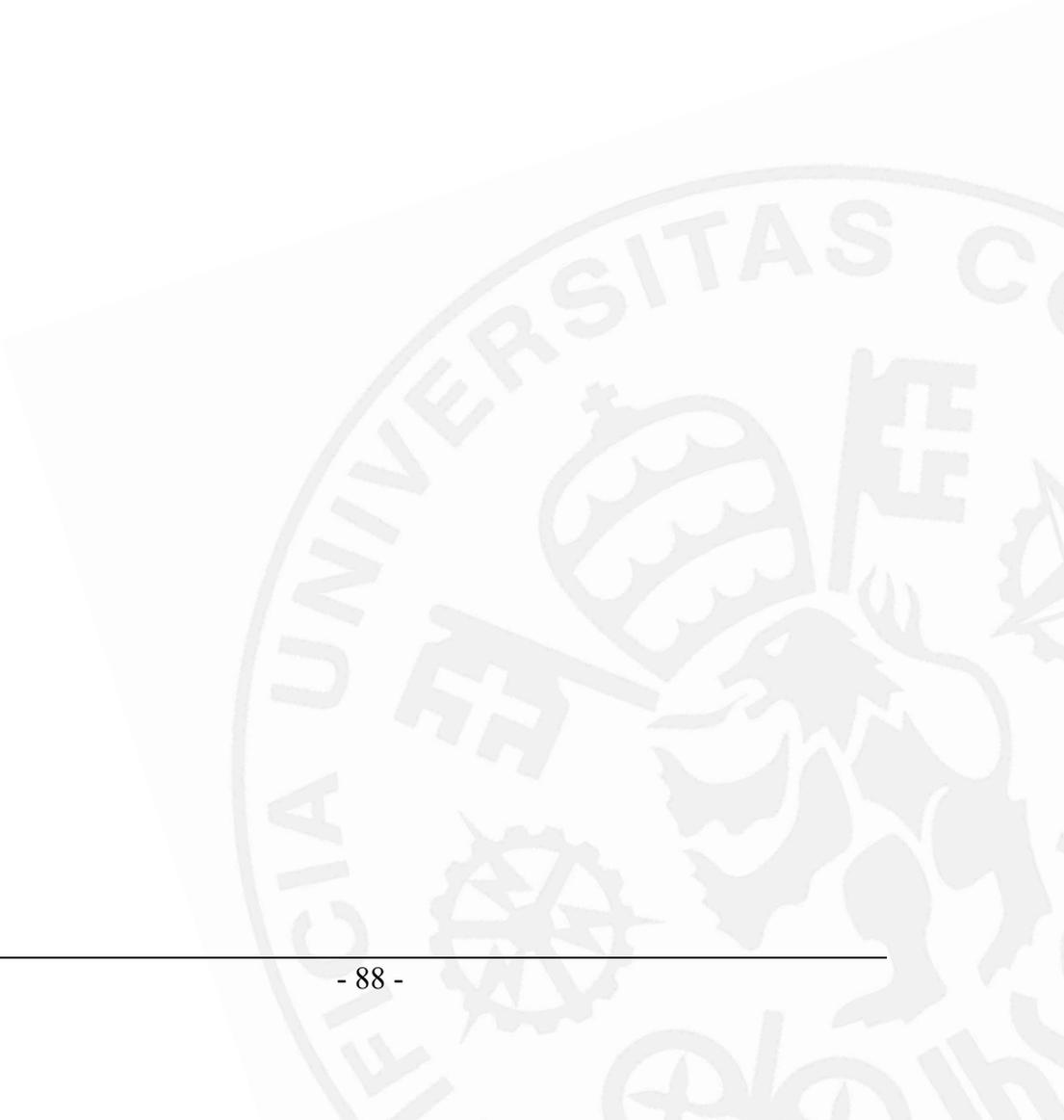
Por otro lado, las regresiones realizadas para la obtención de las funciones objetivo son ecuaciones lineales. Sin embargo, regresiones cuadráticas se aproximan mejor al modelo. Dichas regresiones han sido formuladas pero debido a la complejidad a la hora de resolver el problema de optimización en GAMS con ellas, se ha preferido resolver el problema con regresiones lineales.

Capítulo 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Chan, «La rivalidad sino-estadounidense Conceptos confusos e historia engañosa,» *Vanguardia*, 2018.
- [2] D. Shambaugh, «Un matrimonio con tensiones donde el divorcio es inviable,» *Vanguardia*, 2018.
- [3] M. C. F. T. S. Munson, PATH 4.6.
V. K. A. a. C. Dupont, «Collaboration and coordination in the global political economy,» de *Global Political Economy*, 2016.
- [5] V. K. A. a. C. Dupont, Collaboration and coordination in the global political economy, Vinod K. Aggarwal and Cédric Dupont.
- [6] «OPEC Organization of the Petroleum Exporting Countries,» 15 Abril 2007.
[En línea].
- [7] S. Krasner, «International Regimes,» 1983.
- [8] M. C. F. T. S. Munson, PATH 4.6.
- [9] F. R. B. o. S. Louis, «Link: <https://fred.stlouisfed.org>,» [En línea].
- [10] D. d. O. I. U. P. d. C. -. ICAI, Métodos Cuantitativos para la Decisión - Regresión, 2018.
- [11] « <https://www.census.gov/foreign-trade/balance/c5700.html#questions>,»
]
- [12] «https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/import/chn/usa/show
] /2016/,».



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Parte II

ANEXOS

ANEXO PROBLEMA SIMPLE

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = -1.1626^{-5}$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Planteamiento problema Estados Unidos:

Se escribe el lagrangiano de Estados Unidos como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot X + U1 \cdot [(Y - X)^{2018} + r - (Y - X)]$$

Donde:

$$r = \$ 200 \text{ billones}$$

Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos son las mismas que para el problema anterior.

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 Y$$

Donde:

$$a_0 = -26401$$

$$a_1 = 4.9208$$

RESTRICCION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Planteamiento problema China:

Se escribe el lagrangiano de China como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot Y + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Donde:

iu = Inflación EE.UU = 1,77%

ic = Inflación CHINA = 2,47%

Las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y} : \quad & -a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0 \\ & Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0 \end{aligned}$$

De la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China se puede despejar U2:

- Si $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t > 0$:

$$U2 \geq \frac{a_1}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} > 0$$

En este caso U2 debe ser mayor o igual que un número positivo. No hay incompatibilidad con $U2 \geq 0$. En la solución, U2 tendrá que ser mayor que este valor positivo.

- Si $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t < 0$ (al dividir por un valor negativo, cambiamos el signo de la desigualdad \geq a \leq):

$$U2 \leq \frac{a_1}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} < 0$$

En este caso U_2 debe ser menor o igual que un número negativo. Incompatible con $U_2 \geq 0$. El problema será infactible.

Hay que elegir una conjetura de china tal que $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t > 0$, es decir:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > \frac{(1 + ic)^t}{(1 + iu)^t}$$

A partir de los valores de ic y iu se obtiene la siguiente restricción:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.035$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	0
VAR Y	0
VAR U1	0
VAR U2	1.8065

⇒ Explicación:

Como la variable U_2 es mayor que cero, la segunda condición de KKT de China se da con igualdad, luego si X es igual a cero, entonces Y también es igual a cero. Si X e Y son cero, la restricción del problema de Estados Unidos no está activa debido a que es estrictamente mayor que cero, luego U_1 debe ser cero.

De dicha solución se plantea el poner límites inferiores y superiores a X e Y . En dicho caso, se esperaría que la X se fuera a su valor mínimo, ya que es lo que le interesa a Estados Unidos, pero se debería obtener un resultado en un orden de magnitud razonable. Si ponemos límites superiores e inferiores a X e Y , el problema complementario sería un problema complementario mixto.

Problema Simple con cotas

Dado que las Importaciones de Estados Unidos en 2018 de \$539 billones y uno de sus objetivos es bajar el déficit comercial con china de 200 billones, se han considerado las siguientes cotas:

Cotas limites importa USA (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

Cotas limites importa CHINA (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

Por lo tanto, el problema básico quedaría de la siguiente manera:

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 X$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = -1.1626^{-5}$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Cotas limites Importa EE.UU (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con X con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos ya no es:

$$-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \geq 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

Sino:

$$-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$

- Si $X = X^{min}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \geq 0$
- Si $X = X^{max}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] \leq 0$
- Si $X^{max} > X > X^{min}$
 - $-b_1 + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1 \right] = 0$

Segunda condición de KKT de EE.UU se mantienen igual:

$$(Y - X) - (Y - X)^{2018} - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

F.O China:

$$MAX \text{ Exportaciones de alta tecnología }_{CHINA} = a_0 + a_1 Y$$

Donde:

$$a_0 = -26401$$

$$a_1 = 4.9208$$

RESTRICCIÓN China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Cotas límites Importa China (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con Y con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China ya no es:

$$-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

Sino:

$$-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0 \quad \perp \quad Y^{max} \geq Y \geq Y^{min}$$

- Si $Y = Y^{min}$
 - $-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0$
- Si $Y = Y^{max}$
 - $-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \leq 0$
- Si $Y^{max} > Y > Y^{min}$
 - $-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$

Segunda condición de KKT de China se mantienen igual:

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	339.00
VAR Y	328.00
VAR U1	0
VAR U2	0

Análisis del resultado:

⇒ *Análisis condiciones EE.UU:*

Se parte del análisis de las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos.

El lagrangiano del problema de Estados Unidos dado es:

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot X + U1 \cdot [d + r - (Y - X)]$$

Donde:

$$d = (Y - X)^{2018}$$

$$r = \$ 200 \text{ billones}$$

Luego las condiciones de KKT de Estados Unidos son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X}: b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$
$$(Y - X) - d - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

Dada la primera condición de KKT de Estados Unidos se puede despejar U1 en función de los casos que tome el valor de la variable dependiente de Estados Unidos (X).

Para ello, se va a asumir en todos los casos que la conjetura $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

- Caso 1: $X = X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser mayor o igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \geq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar U1 como: $U1 \geq b_1$,

por lo que esta debe ser mayor o igual que un número negativo, de tal forma que no hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$

La restricción del problema de Estados Unidos si se satisface con la igualdad podría estar activa ($U1 > 0$). De tal manera que se podría despejar la variable dependiente de China (Y) de la restricción, obteniendo:

$$Y \geq X + d + r$$

Donde:

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$d = (Y - X)^{2018} = -420 \text{ billones}$$

$r = 200$ billones

$$Y \geq 120$$

- Caso 2: $X^{max} > X > X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar $U1$ como: $U1 = b_1$, por lo que esta debe ser igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

- Caso 3: $X = X^{max}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$b_1 + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \leq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar $U1$ como: $U1 \leq b_1$, por lo que esta debe ser menor o igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

El único caso posible es para $X = X^{min}$ teniendo en cuenta que $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

$$Y \geq 120$$

⇒ *Análisis condiciones China:*

Por otro lado, se debe analizar también las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China.

El lagrangiano del problema de China dado es:

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot Y + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Por lo tanto, las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y} : -a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

- **Caso 1: $Y = Y^{min}$**

Del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$ y de la restricción del problema con China, se comprueba que:

$$Y \geq \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

Por lo que, si:

$$Y = Y^{min} = 120 \rightarrow \text{Caso infactible}$$

- **Caso 2: $Y^{max} > Y > Y^{min}$**

La primera condición KKT de China debe ser igual a cero:

$$-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$$

Donde:

$iu = \text{Inflación}_{EE.UU} = 1,77\%$

$ic = \text{Inflación}_{CHINA} = 2,47\%$

$a_1 = 4.9208$

Se puede despejar U2 de la siguiente forma:

$$U2 = \frac{a_1}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} = \frac{4.508}{\frac{\partial X}{\partial Y} - 1.035}$$

Tres subcasos dependiendo del valor que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

d. $\frac{\partial X}{\partial Y} > 4.508:$

$$U2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X$$

e. $1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 4.508$:

$U2 < 0 \rightarrow$ **Caso infactible**

f. $\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$

$$U2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X$$

▪ **Caso 3: $Y = Y^{max}$**

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$$

si $Y = Y^{max} = 400$, la restricción del problema de China no está activa ya que del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$:

$$Y \geq \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

Tabla resumen soluciones de la variable dependiente de China (Y) en función de los valores que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

Tabla 17: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China

$\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$ ó $Y = Y^{max} = 400$
-------------------------------------	--

$1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 4.508$	$Y = Y^{max} = 400$
$\frac{\partial X}{\partial Y} > 4.508$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic}\right)^t \cdot X = 327.58$

ANEXO PROBLEMA GENERAL

F.O Estados Unidos:

$$\text{MAX Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 (Y - X)$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = 1.5345e-05$$

RESTRICCION Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Planteamiento problema Estados Unidos:

Se escribe el lagrangiano de Estados Unidos como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot (Y - X) + U1 \cdot [(Y - X)^{2018} + r - (Y - X)]$$

Donde:

$$r = \$ 200 \text{ billones}$$

Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos son:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X}: b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

$$(Y - X) - d - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1(Y - X)$$

Donde:

$$a_0 = -1.118e+05$$

$$a_1 = -1.840$$

RESTRICCION China:

$$[Y * (1 + \text{inflación}_{China})^t - X * (1 + \text{inflación}_{EE.UU})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Planteamiento problema China:

Se escribe el lagrangiano de China como la minimización de la función objetivo y las restricciones como menor e igual a cero.

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot (Y - X) + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Donde:

$$iu = \text{Inflación}_{EE.UU} = 1,77\%$$

$$ic = \text{Inflación}_{CHINA} = 2,47\%$$

Las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China:

$$\frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y} : a_1 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$$

$$\perp \quad Y \geq 0$$

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

De la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China se puede despejar U2:

- Si $-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t > 0$:

$$U2 \geq \frac{a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right)}{-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t} > 0$$

En este caso U2 debe ser mayor o igual que un número positivo. No hay incompatibilidad con $U2 \geq 0$. En la solución, U2 tendrá que ser mayor que este valor positivo.

- Si $-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t < 0$ (al dividir por un valor negativo, cambiamos el signo de la desigualdad \geq a \leq):

$$U2 \leq \frac{a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right)}{-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t} < 0$$

En este caso U2 debe ser menor o igual que un número negativo. Incompatible con $U2 \geq 0$. El problema será infactible.

Hay que elegir una conjetura de china tal que $-(1+ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1+iu)^t > 0$, es decir:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > \frac{(1+ic)^t}{(1+iu)^t}$$

A partir de los valores de ic y iu se obtiene la siguiente restricción:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.035$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	0
VAR Y	0
VAR U1	0
VAR U2	1.7090

⇒ Explicación:

Como la variable U_2 es mayor que cero, la segunda condición de KKT de China se da con igualdad, luego si X es igual a cero, entonces Y también es igual a cero. Si X e Y son cero, la restricción del problema de Estados Unidos no está activa debido a que es estrictamente mayor que cero, luego U_1 debe ser cero.

De dicha solución se plantea el poner límites inferiores y superiores a X e Y . En dicho caso, se esperaría que la X se fuera a su valor mínimo, ya que es lo que le interesa a Estados Unidos, pero se debería obtener un resultado en un orden de magnitud razonable. Si ponemos límites superiores e inferiores a X e Y , el problema complementario sería un problema complementario mixto.

Problema General con cotas

Dado que las Importaciones de Estados Unidos en 2018 de \$539 billones y uno de sus objetivos es bajar el déficit comercial con china de 200 billones, se han considerado las siguientes cotas:

Cotas límites importa USA (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

Cotas límites importa CHINA (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

Por lo tanto, el problema básico quedaría de la siguiente manera:

F.O Estados Unidos:

$$MAX \text{ Tasa de empleo}_{EE.UU} = b_0 + b_1 (Y - X)$$

Donde:

$$b_0 = 73.986$$

$$b_1 = 1.5345e-05$$

RESTRICCIÓN Estados Unidos:

$$(Y - X) \geq (Y - X)^{2019} + \$ 200 \text{ billones}$$

Conjetura Estados Unidos:

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 0.27$$

Cotas limites Importa EE.UU (X):

$$X.LO = 339 \text{ billones}$$

$$X.UP = 539 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con X con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos ya no es:

$$b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X \geq 0$$

Sino:

$$b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$

- Si $X = X^{min}$
 - $-b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1\right] \geq 0$
- Si $X = X^{max}$
 - $-b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1\right] \leq 0$
- Si $X^{max} > X > X^{min}$
 - $-b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[-\frac{\partial Y}{\partial X} + 1\right] = 0$

Segunda condición de KKT de EE.UU se mantienen igual:

$$(Y - X) - (Y - X)^{2018} - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

F.O China:

$$\text{MAX Exportaciones de alta tecnología}_{CHINA} = a_0 + a_1 (Y - X)$$

Donde:

$$a_0 = -1.118e+05$$

$$a_1 = -1.840$$

RESTRICCION China:

$$[Y \cdot (1 + \text{inflación}_{\text{china}})^t - X \cdot (1 + \text{inflación}_{\text{EE.UU}})^t] \geq 0$$

Conjetura China:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} = 3.53$$

Cotas limites Importa China (Y):

$$Y.LO = 120 \text{ billones}$$

$$Y.UP = 400 \text{ billones}$$

De tal forma que, al tratarse ahora de un problema complementario mixto con Y con límite superior e inferior, la primera condición de Karush-Kuhn-Tucker de China ya no es:

$$-a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

Sino:

$$-a_1 + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0 \quad \perp \quad Y^{max} \geq Y \geq Y^{min}$$

- Si $Y = Y^{min}$
 - $-a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0$
- Si $Y = Y^{max}$
 - $-a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \leq 0$
- Si $Y^{max} > Y > Y^{min}$
 - $-a_1 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$

Segunda condición de KKT de China se mantienen igual:

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U_2 \geq 0$$

Sol.:

VAR	LEVEL
VAR X	339.00
VAR Y	328.00
VAR U1	0
VAR U2	0

Análisis del resultado:

⇒ *Análisis condiciones EE.UU:*

Se parte del análisis de las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de Estados Unidos.

El lagrangiano del problema de Estados Unidos dado es:

$$L_{USA}(X, U1) = -b_0 - b_1 \cdot (Y - X) + U1 \cdot [d + r - (Y - X)]$$

Donde:

$$d = (Y - X)^{2018}$$

$$r = \$ 200 \text{ billones}$$

Luego las condiciones de KKT de Estados Unidos son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{USA}(X, U1)}{\partial X}: b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0 \quad \perp \quad X^{max} \geq X \geq X^{min}$$

$$(Y - X) - d - r \geq 0 \quad \perp \quad U1 \geq 0$$

Dada la primera condición de KKT de Estados Unidos se puede despejar U1 en función de los casos que tome el valor de la variable dependiente de Estados Unidos (X).

Para ello, se va a asumir en todos los casos que la conjetura $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

- Caso 1: $X = X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser mayor o igual a cero:

$$b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \geq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar $U1$ como: $U1 \geq b_1$, por lo que esta debe ser mayor o igual que un número negativo, de tal forma que no hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$

La restricción del problema de Estados Unidos si se satisface con la igualdad podría estar activa ($U1 > 0$). De tal manera que se podría despejar la variable dependiente de China (Y) de la restricción, obteniendo:

$$Y \geq X + d + r$$

Donde:

$X.LO = 339$ billones

$d = (Y - X)^{2018} = -420$ billones

$r = 200$ billones

$$Y \geq 120$$

- Caso 2: $X^{max} > X > X^{min}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser igual a cero:

$$b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] = 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar $U1$ como: $U1 = b_1$,

por lo que esta debe ser igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

- Caso 3: $X = X^{max}$

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$b_1 \left(1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right) + U1 \cdot \left[1 - \frac{\partial Y}{\partial X}\right] \leq 0$$

Como se está suponiendo que $1 - \frac{\partial Y}{\partial X} > 0$, se puede despejar $U1$ como: $U1 \leq b_1$,

por lo que esta debe ser menor o igual que un número negativo, de tal forma que hay incompatibilidad con $U1 \geq 0$. → **Caso infactible.**

El único caso posible es para $X = X^{min}$ teniendo en cuenta que $\frac{\partial Y}{\partial X}$ es menor que 1.

$$Y \geq 120$$

⇒ *Análisis condiciones China:*

Por otro lado, se debe analizar también las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China.

El lagrangiano del problema de China dado es:

$$L_{China}(Y, U2) = -a_0 - a_1 \cdot (Y - X) + U2 \cdot [-Y \cdot (1 + ic)^t + X \cdot (1 + iu)^t]$$

Por lo tanto, las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker de China son las siguientes:

$$\frac{\partial L_{China}(Y, U2)}{\partial Y}: -a_1(Y - X) + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] \geq 0 \quad \perp \quad Y \geq 0$$

$$Y \cdot (1 + ic)^t - X \cdot (1 + iu)^t \geq 0 \quad \perp \quad U2 \geq 0$$

- **Caso 1: $Y = Y^{min}$**

Del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$ y de la restricción del problema con China, se comprueba que:

$$Y \geq \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

Por lo que, si:

$$Y = Y^{min} = 120 \rightarrow \text{Caso infactible}$$

- **Caso 2: $Y^{max} > Y > Y^{min}$**

La primera condición KKT de China debe ser igual a cero:

$$-a_1 + U2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t \right] = 0$$

Donde:

$iu = \text{Inflación}_{EE.UU} = 1,77\%$

$ic = \text{Inflación}_{\text{CHINA}} = 2,47\%$

$a_1 = -1.840$

Se puede despejar U_2 de la siguiente forma:

$$U_2 = \frac{a_1 \cdot \left(1 - \frac{\partial X}{\partial Y}\right)}{-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t} = \frac{1.685 \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1\right)}{\frac{\partial X}{\partial Y} - 1.035}$$

Tres subcasos dependiendo del valor que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

g. $\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.685$:

$$U_2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic}\right)^t \cdot X$$

h. $1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 1.685$:

$U_2 < 0 \rightarrow$ **Caso infactible**

i. $\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$

$$U_2 > 0$$

Restricción del problema de China activa:

$$Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic}\right)^t \cdot X$$

▪ **Caso 3: $Y = Y^{max}$**

La primera condición KKT de Estados Unidos debe ser menor o igual a cero:

$$a_1 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1\right) + U_2 \cdot \left[-(1 + ic)^t + \frac{\partial X}{\partial Y} \cdot (1 + iu)^t\right] = 0$$

si $Y = Y^{max} = 400$, la restricción del problema de China no está activa ya que del análisis de las condiciones de KKT de Estados Unidos en el caso $X = X^{min}$:

$$Y \geq \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$$

De tal manera que la restricción no se da con igualdad y por tanto $U_2=0$. Por lo que, la primera condición de KKT de China queda de la siguiente forma:

$$a_1 \cdot \left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) \leq 0$$

Al ser a_1 negativo, se cumple la primera condición de KKT de China si $\left(\frac{\partial X}{\partial Y} - 1 \right) \geq 0$, es decir si:

$$\frac{\partial X}{\partial Y} \geq 1$$

Tabla resumen soluciones de la variable dependiente de China (Y) en función de los valores que tome $\frac{\partial X}{\partial Y}$:

Tabla 18: Posibles resultados de Y en función de la conjetura de China

$\frac{\partial X}{\partial Y} < 1$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$ ó $Y = Y^{max} = 400$
$1 < \frac{\partial X}{\partial Y} < 1.685$	$Y = Y^{max} = 400$
$\frac{\partial X}{\partial Y} > 1.685$	$Y^{max} > Y > Y^{min}$ $Y = \left(\frac{1 + iu}{1 + ic} \right)^t \cdot X = 327.58$

ENFOQUE INICIAL DEL PROYECTO

Con el objetivo de crear una herramienta para llegar a propuestas de políticas económicas y/o comerciales entre EE.UU y China se va a tratar de resolver un problema de optimización mediante el programa GAMS. Para ello, se va a establecer una función objetivo y una serie de restricciones, para cada país.

La finalidad de la función objetivo es optimizar una ecuación dadas unas limitaciones impuestas, maximizando o minimizando unas variables mediante técnicas de programación lineal o no lineal.

Se ha tomado como función objetivo del proyecto el PIB de cada país, en relación a los productos con mayor tasa de exportación entre EE.UU y China. De esta manera, la finalidad de la función objetivo es maximizar el PIB de cada potencia económica, dependiendo de las exportaciones realizadas entre ellas. Se ha supuesto que al incrementar las tasas arancelarias se produce una disminución de la comercialización de ese producto entre ambos países.

Con el fin de encontrar la ecuación que conforme la función objetivo de cada uno, se ha llevado a cabo una regresión con el programa Matlab. La regresión permite realizar un proceso estadístico para estimar la relación entre el PIB de cada país (variable dependiente) y las exportaciones realizadas entre ellos (variables independientes). De este modo, el análisis estadístico muestra cómo el valor de la variable dependiente varía al realizar modificaciones en las variables independientes.

Para las variables independientes se ha tomado los productos que mayor exporta cada país al otro en los últimos diez años.

Exportaciones de EE.UU a China:

	Soja	Aviones/Helicópteros
2017	10%	11%
2016	11%	10%
2015	8,40%	13,00%
2014	11,00%	11,00%
2013	10,00%	9,90%
2012	13,00%	6,10%
2011	10,00%	4,60%
2010	12,00%	5,80%
2009	13,00%	6,90%
2008	10,00%	5,30%
2007	6,60%	8,60%

Exportaciones de China a EE.UU:

	Computadoras	Equipos de radiodifusión
2017	12,90%	8,50%
2016	12,00%	8,50%
2015	12,00%	8,70%
2014	13,00%	9,10%
2013	15,00%	8,70%
2012	16,00%	8,10%
2011	16,00%	3,60%

2010	15,00%	3,60%
2009	14,00%	4,00%
2008	12,00%	5,10%
2007	12,00%	5,90%

Por lo tanto, se pretenden obtener dos funciones objetivo con la siguiente estructura:

$$\text{PIB}_{\text{EE.UU}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{soja}} + \beta_2 X_{\text{Aviones}} + \beta_3 X_{\text{Circuitos}}$$

$$\text{PIB}_{\text{China}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{Computadoras}} + \beta_2 X_{\text{Equipos radiodifusion}}$$

Para la regresión con Matlab se ha tomado los datos históricos trimestrales generados en millones de dólares estadounidenses en los últimos diez años del PIB y de las exportaciones realizadas por cada potencia económica.

A mayor número de datos que se utilice más preciso será el modelo, donde las variables independientes son la parte determinista, los predictores. Mediante Matlab, se va a determinar tipo de función, su complejidad, las variables relevantes y los coeficientes de la parte determinista.

Un modelo válido es aquel cuyo coeficiente determinación (R^2) es próximo a 1.

Este coeficiente muestra cuanta varianza se ha explicado de la que había anteriormente, R^2 igual a 1 explica el 100% de la varianza de los datos, en cambio si el coeficiente de determinación se acerca a cero significa que hay tanta varianza como si no se hubiera llevado a cabo la regresión.

Al introducir más variables se reduce la varianza de los residuos, pero a costa de introducir parámetros que a lo mejor no eran necesario. Por lo que, se realiza un coeficiente de determinación ajustado.

Para regresión se plantea la siguiente hipótesis:

$H_0: \beta = 0$

$H_1: \beta \neq 0$

Si p-value es próximo a cero, se rechaza H_0 , por lo que el modelo es útil. En caso, contrario, los datos no son relevantes, se elimina la variable de entrada.

Al realizar una regresión con varias variables, hay que tener en cuenta que, si hay una correlación muy fuerte entre las variables de entrada de los predictores, la información está representada de forma redundante, es decir, misma información en varias variables. Por lo tanto, se debe eliminar una de ellas, ya que los coeficientes del modelo serían en este caso bastante arbitrarios, muy inestables y podrían predecir de forma errónea si se introducen nuevos datos.

En la matriz correlación, se ve la correlación si los valores son significativamente mayores que cero y al pintar los residuos se comprueba si estos son normales, modelo válido o no son normales, modelo no válido.

Regresión Estados Unidos

El modelo de regresión para la obtención de la función objetivo de EE.UU está compuesto por una variable de salida (y) y dos variables de entrada (x_1 y x_2), siendo:

y : el producto interior bruto de EE.UU en millones de dólares estadounidenses.

x_1 : exportaciones de soja de EE.UU a China en millones de dólares estadounidenses.

x_2 : exportaciones de vehículos de aviación de EE.UU a China en millones de dólares estadounidenses.

En la matriz correlación, se muestra la correlación entre las variables de entrada y la variable de salida, debido a que los valores son significativamente mayores que cero.

Correlation matrix (y x):

1.0000	0.6510	0.6631
0.6510	1.0000	0.3814
0.6631	0.3814	1.0000

Debido a la existencia de correlación entre las variables independientes y la variable dependiente, se ha realizado un modelo de regresión lineal, con la siguiente estructura:

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{soja}} + \beta_2 X_{\text{Aviones}}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Estimated Coefficients

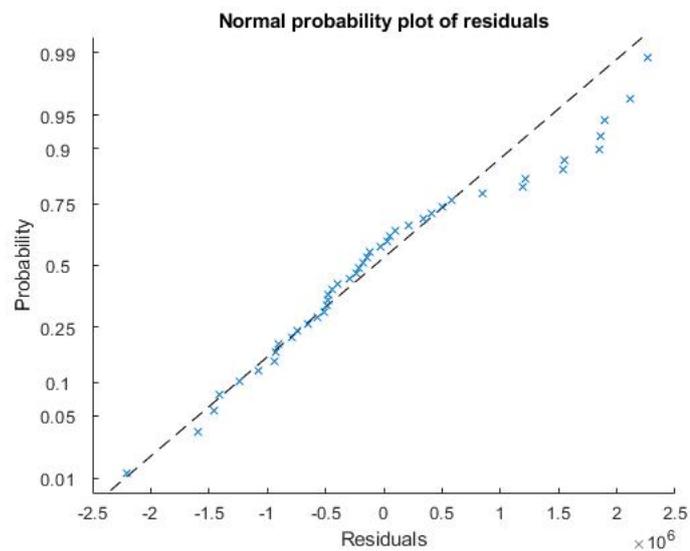
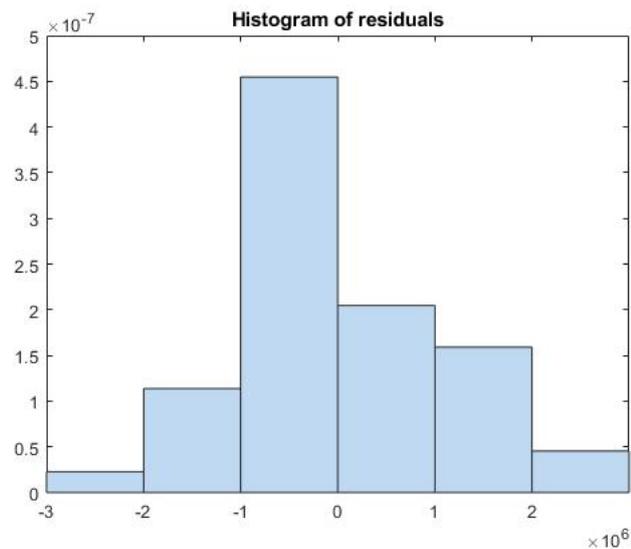
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.2939e+07	5.4038e+05	23.945	1.0154e-25
x₁	2837.4	630.04	4.5036	5.4472e-05
x₂	1272.5	271.18	4.6926	2.9977e-05

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 41

Root Mean Squared Error: 1.1e+06

R-squared: 0.625	Adjusted R-Squared 0.607
------------------	--------------------------

F-statistic vs. constant model: 34.2, p-value = 1.84e-09



⇒ Modelo válido: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$\beta_0 = 1.2939e+07$$

$$\beta_1 = 2837.4$$

$$\beta_2 = 1272.5$$

$$y_{\text{PIB}} = 1.2939e+07 + 2837.4 X_{\text{soja}} + 1272.5 X_{\text{Aviones}}$$

Sin embargo, con el objetivo de ajustar mejor el modelo anterior, se ha realizado posibles diferentes regresiones cuadráticas.

Regresión cuadrática 1:

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{soja}} + \beta_2 X_{\text{soja}}^2 + \beta_3 X_{\text{Aviones}} + \beta_4 X_{\text{Aviones}}^2$$

Estimated Coefficients

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.1481e+07	13.823	8.306e+05	1.2925e-16
x₁	3655.3	1953.7	1.871	0.068862
x₂	-1.5376	1.1057	-1.3906	0.17224
x₁	4994.9	611.56	8.1675	5.6658e-10

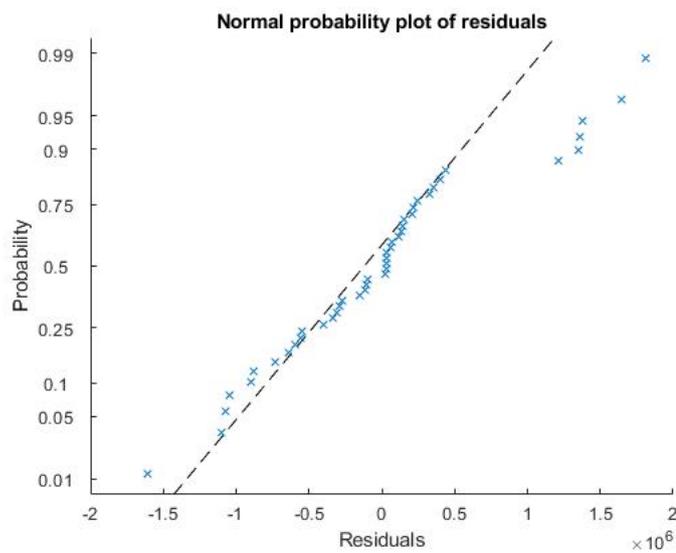
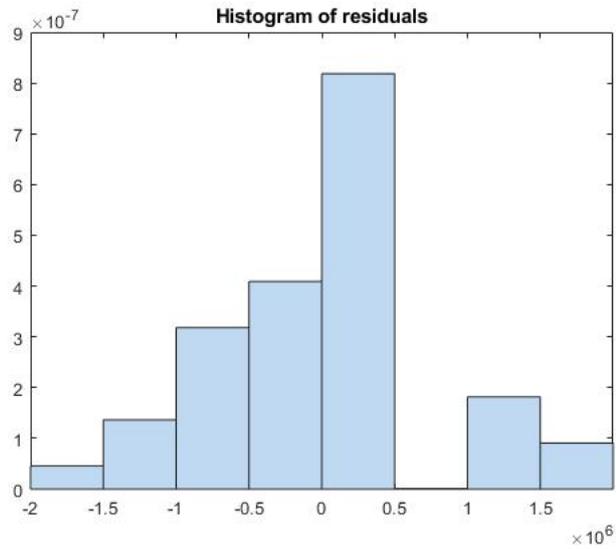
x_2	-0.84807	0.13198	-6.4259	1.3278e-07
-------	----------	---------	---------	------------

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 39

Root Mean Squared Error: 7.84e+05

R-squared: 0.819	Adjusted R-Squared 0.801
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 44.2, p-value = 5.52e-14



⇒ Modelo ajustable: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value válidos para la variable independiente $X_{Aviones}$ y valores de p-value no válidos para la variable independiente X_{Soja} .

Regresión cuadrática 2:

$$y_{PIB} = \beta_0 + \beta_1 X_{soja} + \beta_2 X_{soja}^2$$

Estimated Coefficients

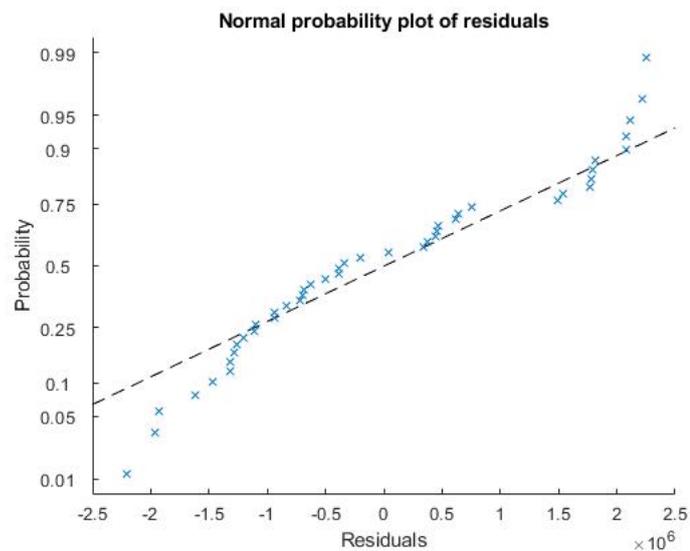
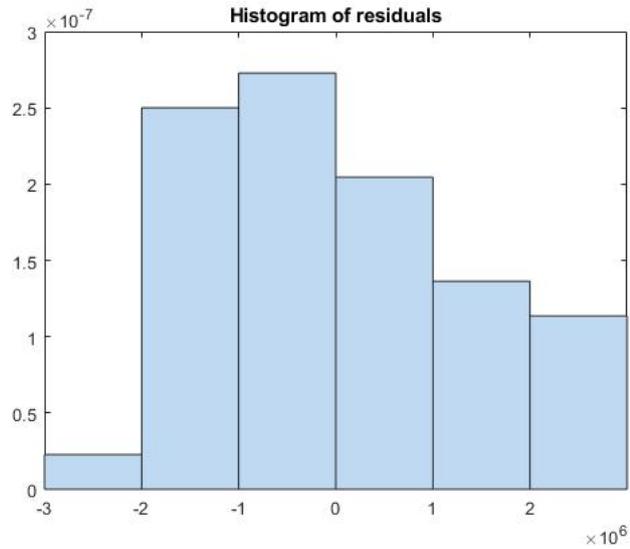
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.2203e+07	1.4189e+06	8.6005	1.0078e-10
x1	5943.4	3355	1.7715	0.083908
x2	-1.1511	1.9066	-0.60372	0.54936

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 41

Root Mean Squared Error: 1.36e+06

R-squared: 0.429	Adjusted R-Squared 0.401
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 15.4, p-value = 1.03e-05



⇒ Modelo no válido: coeficiente de determinación menor a 0.5, los valores de p-value no próximos a cero y residuos no normales.

Regresión cuadrática 3:

$$Y_{PIB} = \beta_0 + \beta_1 X_{Aviones} + \beta_2 X_{Aviones}^2$$

Estimated Coefficients

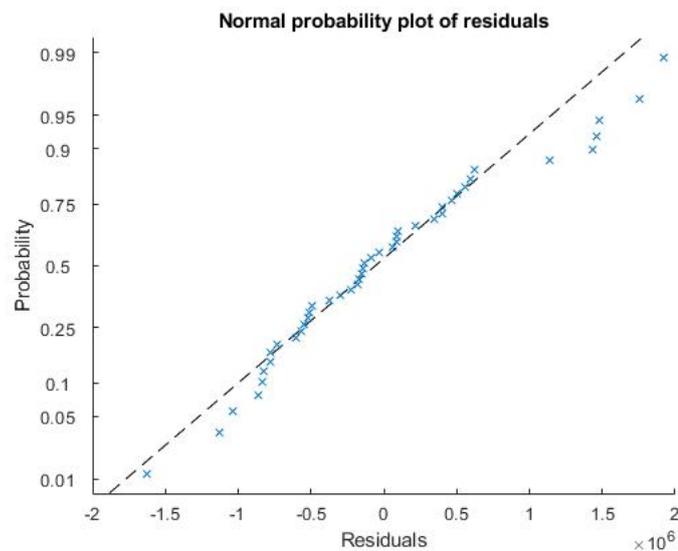
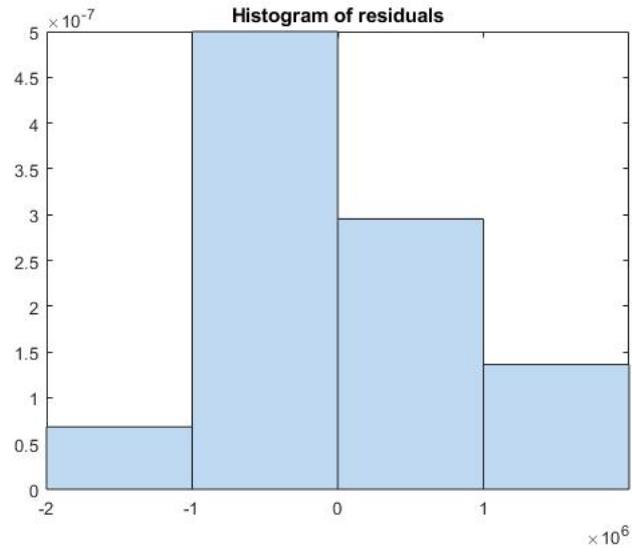
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.2986e+07	3.1602e+05	41.091	6.0615e-35
x₁	5657.1	505.03	11.202	4.7363e-14
x₂	-0.96827	0.11596	-8.3498	2.2036e-10

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 41

Root Mean Squared Error: 8.19e+05

R-squared: 0.793	Adjusted R-Squared 0.782
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 78.3, p-value = 9.97e-15



$$\beta_0 = 1.2986e+07$$

$$\beta_1 = 5657.1$$

$$\beta_2 = -0.96827$$

$$y_{\text{PIB}} = 1.2986e+07 + 5657.1 X_{\text{Aviones}} - 0.96827 X_{\text{Aviones}}^2$$

Regresión cuadrática 4:

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{soja}} + \beta_2 X_{\text{soja}}^2 + \beta_3 X_{\text{Aviones}}$$

Estimated Coefficients

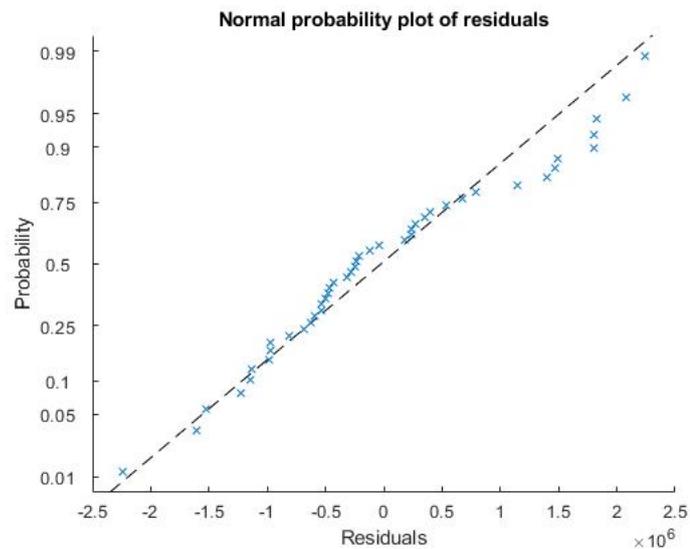
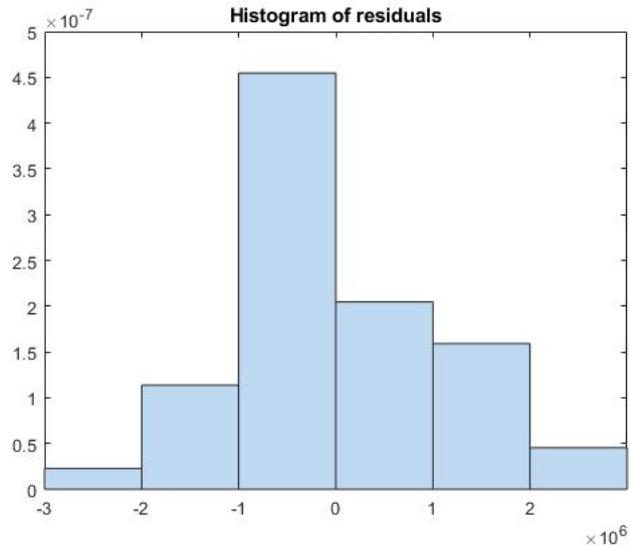
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.2377e+07	1.1601e+06	10.669	2.884e-13
x₁	4313.2	2764.1	1.5604	0.12654
x₂	-0.85543	1.5593	-0.54859	0.58633
x₃	1266.4	273.75	4.626	3.8664e-05

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 40

Root Mean Squared Error: 1.11e+06

R-squared: 0.628	Adjusted R-Squared 0.6
------------------	-------------------------------

F-statistic vs. constant model: 22.5, p-value = 1.07e-08



⇒ Modelo ajustable: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valor de p-value válidos para la variable independiente X_{Aviones} y valores de p-value no válidos para la variable independiente X_{Soja} .

Regresión cuadrática 5:

$$y_{PIB} = \beta_0 + \beta_1 X_{soja} + \beta_2 X_{Aviones} + \beta_3 X_{Aviones}^2$$

Estimated Coefficients

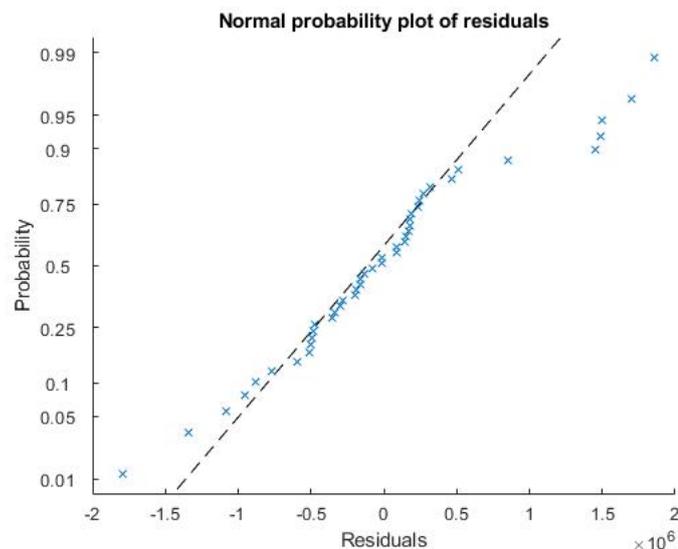
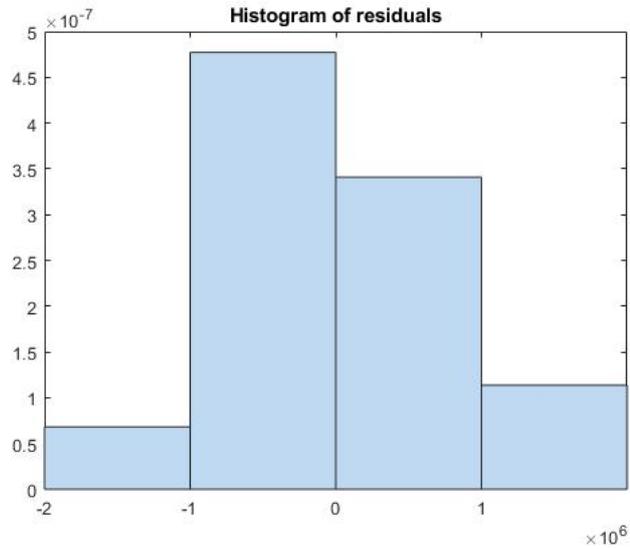
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.25e+07	3.9545e+05	31.61	6.5115e-30
x₁	1040.8	537.15	1.9377	0.059742
x₂	4928.4	616.77	7.9908	8.1362e-10
x₃	-0.83045	0.13289	-6.2491	2.1102e-07

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 40

Root Mean Squared Error: 7.93e+05

R-squared: 0.81	Adjusted R-Squared 0.796
-----------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 57, p-value = 1.69e-14



⇒ Modelo ajustable: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valores de p-value válidos para la variable independiente X_{Aviones} y valor de p-value no válido para la variable independiente X_{Soja} .

Regresión China

El modelo de regresión para la obtención de la función objetivo de China está compuesto por una variable de salida (y) y dos variables de entrada (x_1 y x_2), siendo:

y: el producto interior bruto de China en millones de dólares estadounidenses.

x_1 : exportaciones de computadoras de China a EE.UU en millones de dólares estadounidenses.

x_2 : exportaciones de equipos de radiodifusión de China a EE.UU en millones de dólares estadounidenses.

En la matriz correlación, se muestra la correlación entre las variables de entrada y la variable de salida, debido a que los valores son significativamente mayores que cero.

Correlation matrix (y x):

1.0000	0.6827	0.8535
0.6827	1.0000	0.7843
0.8535	0.7843	1.0000

Debido a la existencia de correlación entre las variables independientes y la variable dependiente, se ha realizado un modelo de regresión lineal, con la siguiente estructura:

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{Computadoras}} + \beta_2 X_{\text{Equipos}}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Estimated Coefficients

	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	9.8453e+05	1.407e+05	6.9971	1.6634e-08
x1	13.119	49.425	0.26543	0.79201

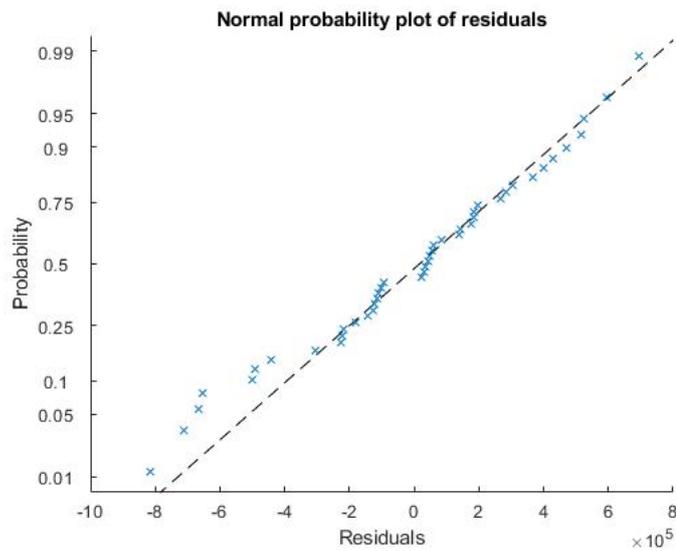
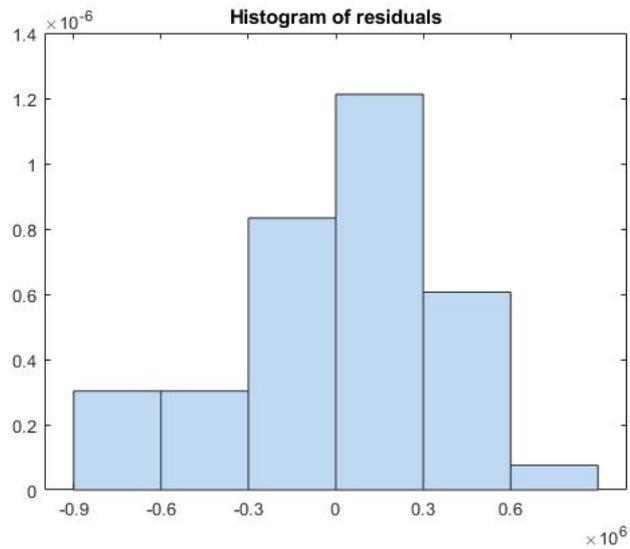
x₂	429.5	68.136	6.3036	1.6005e-07
----------------------	-------	--------	--------	------------

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 41

Root Mean Squared Error: 3.7e+05

R-squared: 0.729	Adjusted R-Squared 0.716
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 55.1, p-value = 2.4e-12



⇒ Modelo ajustable: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valor de p-value válido para la variable independiente X_{Equipos} y valor de p-value no válido para la variable independiente $X_{\text{Computadoras}}$.

Se ha eliminado la variable independiente $X_{\text{Computadoras}}$, debido a que la información está representada de forma redundante. Por lo que, en los siguientes modelos únicamente se ha tenido en cuenta la variable de entrada X_{Equipos} . A partir de esta, se ha realizado dos regresiones, la primera lineal y la segunda cuadrática, con el fin de obtener el modelo más preciso.

Regresión lineal (X_{Equipos}):

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{Equipos}}$$

Estimated Coefficients

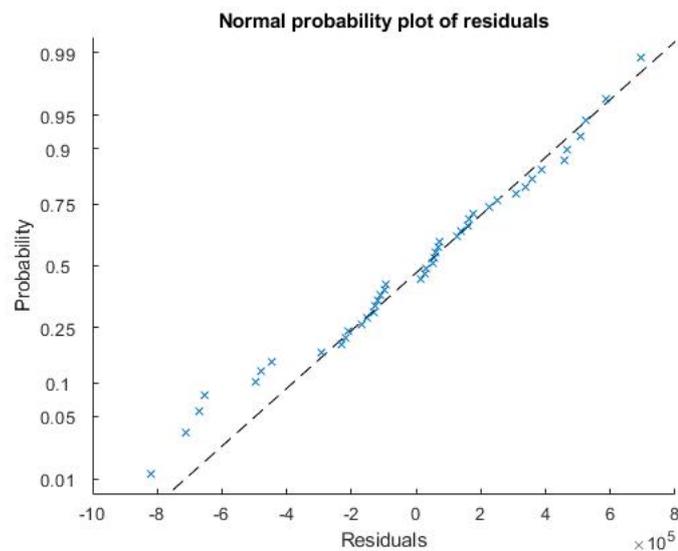
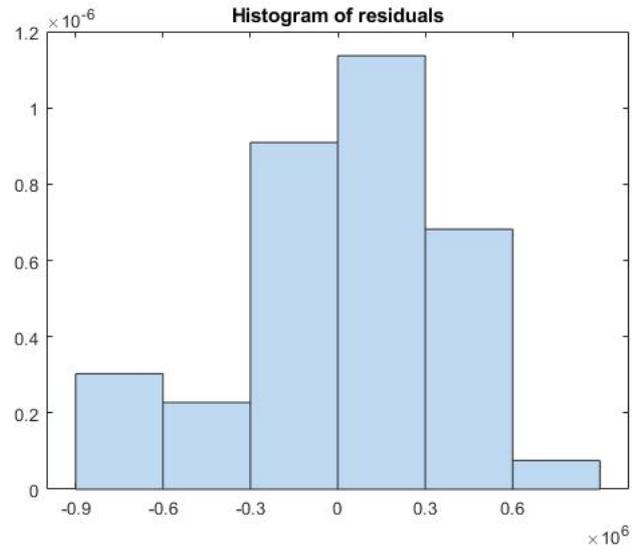
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.0078e+06	1.0893e+05	9.2515	1.086e-11
x1	443.68	41.802	10.614	1.8391e-13

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 42

Root Mean Squared Error: 3.66e+05

R-squared: 0.728	Adjusted R-Squared 0.722
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 113, p-value = 1.84e-13



⇒ Modelo válido: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valor de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$\beta_0 = 1.0078e+06$$

$$\beta_1 = 443.68$$

$$y_{\text{PIB}} = 1.0078e+06 + 443.68 X_{\text{Equipos}}$$

Regresión cuadrática 1 (X_{Equipos}):

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{Equipos}} + \beta_2 X_{\text{Equipos}}^2$$

Estimated Coefficients

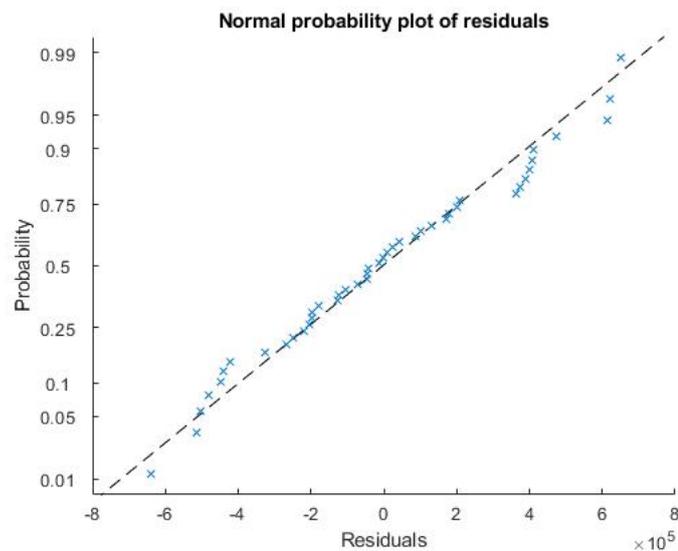
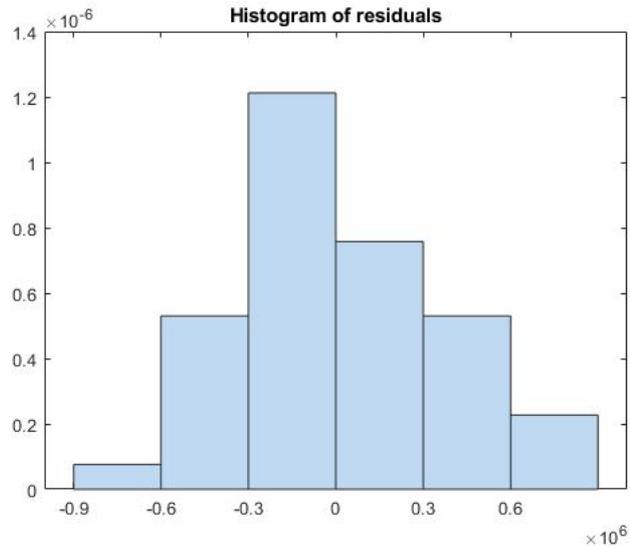
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.3158e+06	1.5034e+05	8.752	6.3041e-11
x₁	-65.17	187.76	-0.3471	0.73029
x₂	0.12303	0.044414	2.77	0.008383

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 41

Root Mean Squared Error: 3.4e+05

R-squared: 0.771	Adjusted R-Squared 0.76
------------------	--------------------------------

F-statistic vs. constant model: 69.1, p-value = 7.37e-14



⇒ Modelo ajustable: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valor de p-value válido para la variable independiente X_{Equipos}^2 y valor de p-value no válido para la variable independiente $X_{\text{Computadoras}}$.

Regresión cuadrática 2 (X_{Equipos}):

$$y_{\text{PIB}} = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{Equipos}}^2$$

Estimated Coefficients

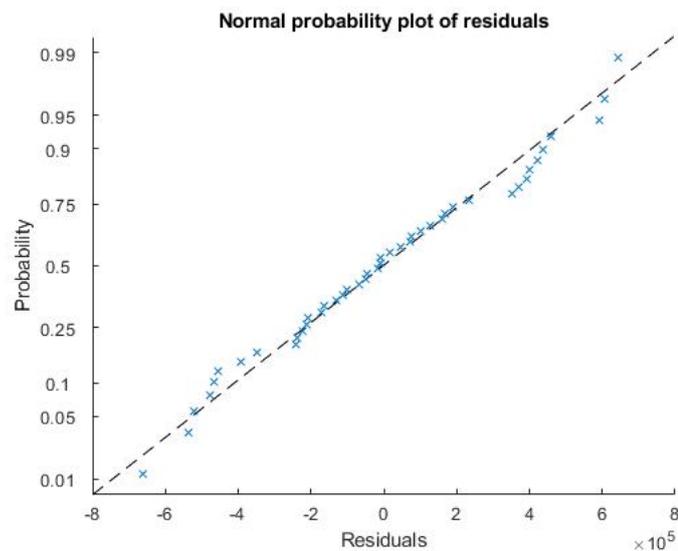
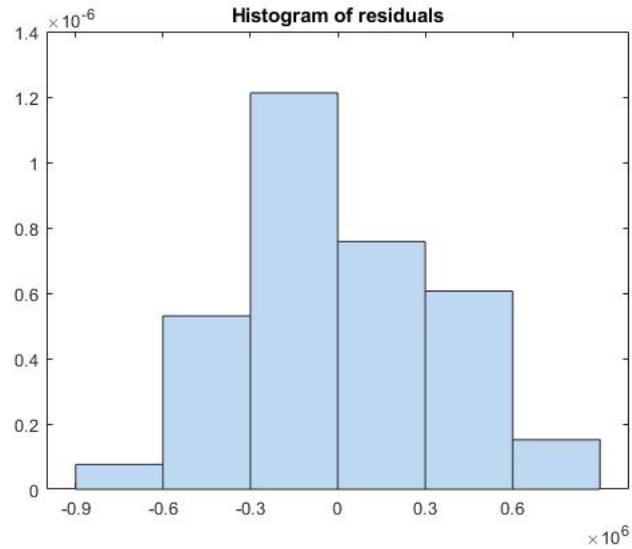
	Estimate	SE	tStat	pValue
Intercept	1.2717e+06	79872	1.5.922	2.1162e-19
x₁	0.10795	0.0090887	11.877	5.191e-15

Number of observations: 44, Error degrees of freedom: 42

Root Mean Squared Error: 3.36e+05

R-squared: 0.771	Adjusted R-Squared 0.765
------------------	---------------------------------

F-statistic vs. constant model: 141, p-value = 5.19e-15



⇒ Modelo válido: coeficiente de determinación mayor a 0.5, valor de p-value próximos a cero y residuos aproximadamente normales.

Parámetros obtenidos:

$$\beta_0 = 1.2717e+06$$

$$\beta_1 = 0.10795$$

$$y_{\text{PIB}} = 1.2717e+06 + 0.10795 X_{\text{Equipos}}^2$$

TABLA DE DATOS

FRED Graph Observations
Federal Reserve Economic Data
Link: <https://fred.stlouisfed.org>
Help: <https://fred.stlouisfed.org/help-faq>
Economic Research Division
Federal Reserve Bank of St. Louis

Exports of Goods and Services, Billions of Dollars, Quarterly,
Seasonally Adjusted Annual Rate

EXPGS

Frequency:
Quarterly

		EXPORTACIONES US	
		Billions of dollars	Millions of dollars
observation_date	EXPGS		1000
2007-01-01		1577,081	1577081
2007-04-01		1622,140	1622140
2007-07-01		1683,704	1683704
2007-10-01		1760,490	1760490
2008-01-01		1810,993	1810993
2008-04-01		1909,719	1909719
2008-07-01		1921,772	1921772
2008-10-01		1705,736	1705736
2009-01-01		1514,327	1514327
2009-04-01		1518,333	1518333
2009-07-01		1591,059	1591059
2009-10-01		1704,264	1704264
2010-01-01		1746,875	1746875
2010-04-01		1810,006	1810006
2010-07-01		1865,624	1865624
2010-10-01		1962,617	1962617
2011-01-01		2030,271	2030271
2011-04-01		2105,084	2105084
2011-07-01		2138,792	2138792
2011-10-01		2137,832	2137832
2012-01-01		2164,599	2164599
2012-04-01		2192,129	2192129
2012-07-01		2201,780	2201780
2012-10-01		2206,611	2206611
2013-01-01		2239,163	2239163
2013-04-01		2250,667	2250667
2013-07-01		2269,443	2269443
2013-10-01		2334,440	2334440
2014-01-01		2338,267	2338267
2014-04-01		2386,059	2386059
2014-07-01		2388,369	2388369
2014-10-01		2371,411	2371411
2015-01-01		2286,596	2286596

2015-04-01	2303,203	2303203
2015-07-01	2259,157	2259157
2015-10-01	2211,230	2211230
2016-01-01	2165,628	2165628
2016-04-01	2206,550	2206550
2016-07-01	2252,545	2252545
2016-10-01	2245,579	2245579
2017-01-01	2294,138	2294138
2017-04-01	2316,270	2316270
2017-07-01	2358,273	2358273
2017-10-01	2432,019	2432019
2018-01-01	2477,407	2477407
2018-04-01	2568,714	2568714
2018-07-01	2538,573	2538573

IMPORTACIONES USA	EXPORT - IMPORT
Millions of dollars	Millions of dollars

IMPGS

543598	1033483
586593	1035547
606693	1077011
622037	1138453
609050	1201943
669937	1239782
692078	1229694
579274	1126462
448653	1065674
464229	1054104
514022	1077037
539923	1164341
528254	1218621
587290	1222716
615948	1249676
616770	1345847
616306	1413965
679382	1425702
696766	1442026
683192	1454640
665470	1499129
702939	1489190
697726	1504054
689627	1516984
651617	1587546
696522	1554145
707272	1562171
699922	1634518
670067	1668200
731514	1654545

736894	1651475
727767	1643644
663301	1623295
706436	1596767
708206	1550951
687272	1523958
636440	1529188
681914	1524636
698274	1554271
701218	1544361
678826	1615312
728561	1587709
733854	1624419
762108	1669911
735455	1741952
782056	1786658
799427	1739146

Tasa de empleabilidad usa (%)

2007-01-01	72,1603974416210
2007-04-01	71,6986381045770
2007-07-01	71,7686239533391
2007-10-01	71,5887517193171
2008-01-01	71,7039085817066
2008-04-01	71,4149919445959
2008-07-01	70,9525245393662
2008-10-01	70,4118381651959
2009-01-01	69,0321952731676
2009-04-01	68,1845759378282
2009-07-01	67,6453642880674
2009-10-01	66,6228638123634
2010-01-01	66,7431882715800
2010-04-01	66,9472956529214
2010-07-01	66,6772586165125
2010-10-01	66,4785663766863
2011-01-01	66,6731912011792
2011-04-01	66,5945660083030
2011-07-01	66,3473104223322
2011-10-01	66,6954484789554
2012-01-01	66,9244810269584
2012-04-01	66,9561214750796
2012-07-01	66,9924443283328

2012-10-01	67,5347101569162
2013-01-01	67,2581810003347
2013-04-01	67,2723018403013
2013-07-01	67,4675986631210
2013-10-01	67,1609332501294
2014-01-01	67,7041686726672
2014-04-01	67,9358466439376
2014-07-01	68,1653405078923
2014-10-01	68,6027443556883
2015-01-01	68,5471163636752
2015-04-01	68,6839081563432
2015-07-01	68,6442870722183
2015-10-01	68,7455259184366
2016-01-01	69,1944008848421
2016-04-01	69,1682472502799
2016-07-01	69,2833789778703
2016-10-01	69,4567656972767
2017-01-01	69,6643894579688
2017-04-01	70,0975322858734
2017-07-01	70,1539054700939
2017-10-01	70,2982689197103

Month	Exports US	Imports US	Balance	Soja	Aviones/Helicopteros	Coches	Circuitos integrados	Computadoras	Equipos de radiodifusión
January 2007	4389,5	25640,6	-21251	289,707	377,497	70,232	386,276	3076,872	1512,7954
January 2008	5556,7	26193	-20636,3	555,67	294,5051	122,2474	472,3195	3143,16	1545,387
January 2009	4159,6	24743,5	-20583,8	540,748	287,0124	95,6708	295,3316	3464,09	989,74
January 2010	6898,4	25215,9	-18317,6	827,808	400,1072	248,3424	503,5832	3782,385	907,7724
January 2011	8017,8	31377,4	-23359,6	801,78	368,8188	440,979	392,8722	5020,384	1129,5864
January 2012	8359,5	34417,5	-26058,1	1086,735	509,9295	476,4915	367,818	5506,8	2787,8175
January 2013	9382,9	37193,7	-27810,7	938,29	928,9071	638,0372	628,6543	5579,055	3235,8519
January 2014	10264,5	38377,2	-28112,7	1129,095	1129,095	893,0115	585,0765	4989,036	3492,3252
January 2015	9459,2	38589,7	-29130,5	794,5728	1229,696	756,736	605,3888	4630,764	3357,3039
January 2016	8202,8	37145,8	-28943	902,308	820,28	697,238	467,5596	4457,496	3157,393

January 2017	9961,1	41343,1	-31382	986,1489	1065,8377	1006,0711	597,666	5333,2599	3514,1635
--------------	--------	---------	--------	----------	-----------	-----------	---------	-----------	-----------

[11]

	Soja	Aviones/Helicopteros	Coches	Circuitos integrados	Computadoras	Equipos de radiodifusión
2018						
2017	10%	11%	10,10%	6,00%	12,90%	8,50%
2016	11%	10%	8,50%	5,70%	12,00%	8,50%
2015	8,40%	13,00%	8,00%	6,40%	12,00%	8,70%
2014	11,00%	11,00%	8,70%	5,70%	13,00%	9,10%
2013	10,00%	9,90%	6,80%	6,70%	15,00%	8,70%
2012	13,00%	6,10%	5,70%	4,40%	16,00%	8,10%
2011	10,00%	4,60%	5,50%	4,90%	16,00%	3,60%
2010	12,00%	5,80%	3,60%	7,30%	15,00%	3,60%
2009	13,00%	6,90%	2,30%	7,10%	14,00%	4,00%
2008	10,00%	5,30%	2,20%	8,50%	12,00%	5,10%
2007	6,60%	8,60%	1,60%	8,80%	12,00%	5,90%
Media	10%	8%	4%	6%	13%	6%

[12]

NOTE: All figures are in millions of U.S.