Licenciatura en Economía

Interacción estratégica entre firmas y gobierno en el mercado aeroespacial

Autorías: Steverlynck Laurence, Alix Marie; Strauss, Miranda; Urien, Solana; Simón Verger, Francisco; Fabricante, Santiago

Fecha: 2025

Universidad Torcuato Di Tella
Departamento de Economía
Licenciatura en Economía

Interacción estratégica entre firmas y gobierno en el mercado aeroespacial

Trabajo Final de Graduación

Autores:
Alix Marie Steverlynck Laurence
Miranda Strauss
Solana Urien
Francisco Simón Verger
Santiago Fabricante

Tutora:
Prof. Marzia Raybaudi

Buenos Aires
Agosto 2025

Índice general

Introducción

Este trabajo estudia el funcionamiento del mercado de lanzamientos espaciales. Este es un sector caracterizado por altas barreras de entrada, fuerte dependencia de contratos públicos y presencia de información asimétrica, tanto tecnológica como institucional. En este entorno, el actor dominante, SpaceX, enfrenta tanto a competidores potenciales que podrían ingresar mediante inversión en investigación y desarrollo (I+D), como a gobiernos que, como compradores principales, pueden presentar comportamientos contractuales inciertos.

Se desarrollan dos modelos que, aunque independientes entre sí, abordan cuestiones complementarias. El primero analiza un entorno donde los potenciales entrantes deben decidir cuánto invertir en I+D, sabiendo que su tipo tecnológico es privado y que su decisión puede afectar la reacción estratégica del incumbente. El segundo estudia un problema de contratación en el que SpaceX diseña un menú de contratos para un gobierno cuyo tipo institucional —también privado— determina su disposición a aceptar una oferta externa, reflejando tensiones entre eficiencia y autonomía estatal.

Ambos modelos comparten una estructura secuencial con información oculta . En el primero, el incumbente desconoce la capacidad tecnológica del rival; en el segundo, enfrenta incertidumbre sobre la voluntad del gobierno de delegar en el sector privado. En ambos casos, la existencia o no de equilibrios separadores define los desenlaces posibles.

Este trabajo se vincula con dos áreas de la teoría económica: los juegos de señalización con información asimétrica y los contratos con tipo oculto del principal. En el primer modelo, el diseño estratégico de la inversión en investigación y desarrollo por parte de un entrante actúa como señal de su tipo tecnológico, condicionando la respuesta del incumbente. Esta estructura se aproxima a los modelos de señalización mediante acciones costosas, como en Spence (1973), y a los juegos secuenciales con actualización bayesiana de Fudenberg and Tirole (1986). A diferencia de esos enfoques, aquí la señal es una variable que tiene un impacto real sobre la probabilidad de éxito, y permite una variedad de equilibrios posibles, incluyendo *engañar*.

En el segundo modelo, SpaceX diseña contratos para un gobierno cuyo tipo institucional constituye información privada. Esto invierte el marco clásico de la teoría de contratos, como el desarrollado por Laffont and Tirole (1993), donde el tipo oculto pertenece al agente. Además, el modelo se enmarca en la teoría de contratos en la que el diseñador del contrato debe inducir revelación mediante un menú de opciones diferenciadas, como se desarrolla en Laffont and Martimort (2002). A diferencia del enfoque clásico, aquí el tipo privado refleja una valoración por la autonomía estatal, lo que introduce una fricción adicional que condiciona la aceptación del contrato. El análisis se centra en si es posible segmentar por tipo a través del diseño de incentivos, considerando también un parámetro de costo político.

Ambos modelos aportan al estudio de decisiones estratégicas en contextos donde la información privada condiciona las decisiones de entrada, inversión y contratación, y donde los incentivos deben diseñarse considerando riesgos tecnológicos e institucionales.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En el **Capítulo 1** se presenta el modelo de incertidumbre con ingreso incierto del potencial entrante. En el **Capítulo 2** se presenta el modelo de intervención estatal, en el cual SpaceX diseña contratos frente a un gobierno con tipo institucional privado. Finalmente, se ofrece una conclusión general, sintetizando los principales aportes de ambos modelos, y discutiendo las limitaciones y posibles extensiones de cada uno.

Capítulo 1

Competencia en cantidades y señalización

1.1. Introducción

Este capítulo presenta un modelo teórico de entrada estratégica con información asimétrica, en el que una firma incumbente (SpaceX) enfrenta la posible aparición de un competidor con capacidades tecnológicas inciertas. El marco de análisis es un juego dinámico de estructura secuencial, en el que ambos jugadores compiten en cantidades en un mercado con demanda lineal.

El modelo incorpora una inversión en I+D con resultado estocástico, costos fijos y marginales, y la posibilidad de utilizar decisiones observables como señales para inducir creencias. Esta estructura permite analizar cómo la asimetría de información y la respuesta estratégica del incumbente condicionan la entrada, la producción y la rentabilidad esperada del nuevo competidor.

El objetivo del capítulo es caracterizar los tipos de equilibrio que pueden surgir bajo distintas combinaciones de parámetros tecnológicos y estratégicos, y derivar condiciones que expliquen cuándo la competencia es viable y cuándo el mercado tiende a comportarse como un monopolio. A continuación, se presentan los supuestos del modelo, las funciones de beneficio de cada jugador, y la resolución formal del juego.

1.2. Supuestos

El modelo describe un entorno de competencia en cantidades entre una firma incumbente (SpaceX) y un potencial entrante con información privada sobre su capacidad tecnológica. Ambos jugadores interactúan en un mercado con demanda lineal, y la inversión en I+D cumple un rol estratégico como señal observable.

Hay dos jugadores. SpaceX es la firma establecida, con tecnología conocida y costo marginal constante c_s. El competidor es un potencial entrante que puede ser de dos tipos según su probabilidad de éxito tecnológico en un experimento de I+D: $\alpha \in \{\alpha_L, \alpha_H\}$, con $\alpha_H > \alpha_L$. Esta característica es privada y es conocida únicamente por el competidor. SpaceX no observa el tipo, pero conoce la distribución de probabilidades: el competidor es tipo alto con probabilidad p y tipo bajo con probabilidad $1 - p$.

El competidor debe realizar una inversión inicial en I+D antes de ingresar al mercado. Puede elegir entre dos niveles de inversión, $R \in \{R_L, R_H\}$, lo que implica un costo fijo de inversión:

$$F(R_i) = \delta R_i + \gamma$$

La inversión R es observable por SpaceX, y puede ser utilizada como señal. El resultado del experimento de I+D es binario: con probabilidad α la inversión es exitosa, y con $1 - \alpha$, fracasa. Este resultado es privado del competidor.

El resultado del experimento afecta los costos marginales de producción del competidor. En caso de éxito, el costo marginal es:

$$c_{\text{éxito}} = c_E + \frac{q_c}{R}$$

Mientras que en caso de fracaso es:

$$c_{\text{fracaso}} = c_E + c_L + \frac{1}{R}$$

Ambos jugadores compiten en un mercado con demanda lineal inversa:

$$P = a - bQ, \quad \text{con } Q = q_s + q_c$$

donde q_s es la cantidad producida por SpaceX y q_c la del competidor. Cada unidad adicional producida reduce el precio de mercado, afectando los ingresos de ambos jugadores.

El modelo incorpora una estructura de información asimétrica. El tipo del competidor es privado, pero la inversión R es observable por SpaceX, quien forma una creencia bayesiana $\mu(R)$ sobre el tipo. El resultado del experimento no es observable. La decisión de entrada del competidor y su nivel de producción sí son observables ex post.

La interacción estratégica se desarrolla en cinco etapas secuenciales:

t=1: La naturaleza asigna al competidor un tipo $\alpha \in \{\alpha_L, \alpha_H\}$, con probabilidad {(1-p),p}

t=2: El competidor observa su tipo y elige un nivel de inversión $R \in \{R_L, R_H\}$.

t=3: SpaceX observa R_i, forma una creencia $\mu(R_i)$ y decide su nivel de producción q_s.

t=4: Se resuelve el experimento de I+D: con probabilidad α es exitoso, y con $1-\alpha$ fracasa.

t=5: El competidor, conociendo el resultado, decide si entra al mercado y, en caso afirmativo, elige su nivel de producción q_c.

1.3. Preferencias

Los beneficios de cada jugador dependen del tipo del competidor, del resultado del experimento de I+D, de las decisiones estratégicas adoptadas por ambos jugadores, y del nivel de inversión inicial.

En el caso del competidor, si decide ingresar al mercado y su experimento es exitoso, enfrenta un costo marginal decreciente en R y su beneficio es:

$$\pi_c^{\text{éxito}} = \left(a - bq_s - bq_c - c_E - \frac{q_c}{R}\right) q_c - F(R)$$

Si el experimento fracasa, el costo marginal es mayor y el beneficio en caso de entrada es:

$$\pi_c^{\text{fracaso}} = \left(a - bq_s - bq_c - c_E - c_L - \frac{1}{R}\right) q_c - F(R)$$

En aquellos casos en los que el competidor decide no ingresar al mercado (porque el beneficio esperado es negativo), su pérdida se limita al costo fijo de inversión hundido:

$$\pi_c = -F(R)$$

Por su parte, el beneficio de SpaceX depende de su producción q_s, de su costo marginal c_s, y de la cantidad esperada que enfrentará por parte del competidor. Su función de beneficio es:

$$\pi_s = (a - bq_s - bE[q_c] - c_s)\, q_s$$

donde $E[q_c]$ es la cantidad esperada producida por el competidor, calculada a partir de la creencia $\mu(R)$ y de la probabilidad de éxito tecnológica. Se define como:

$$E[q_c] = \bar{\alpha} \cdot q_c^{\text{éxito}} + (1 - \bar{\alpha}) \cdot q_c^{\text{fracaso}}, \quad \text{con } \bar{\alpha} = \mu(R)\alpha_H + (1 - \mu(R))\alpha_L$$

1.4. Resolución del juego de Señalizacion

Para resolver el equilibrio bayesiano comenzamos por el último momento de decisión —la entrada efectiva del competidor— y retrocedemos paso a paso hasta la elección inicial de la inversión, resolviendo en cada etapa la decisión óptima condicional a la información disponible.

Etapa 3: Decisión de entrada y producción del competidor

Una vez que SpaceX elige su nivel de producción q_s, se revela si la inversión del competidor resultó exitosa o no, en función del tipo $\alpha \in \{\alpha_L, \alpha_H\}$. A partir de ese resultado, el competidor decide si entrar efectivamente al mercado y, de hacerlo, elige su cantidad óptima q_c.

Caso de éxito. Si la inversión fue exitosa, el costo marginal del competidor es $c_E + \frac{q_c}{R_i}$, con una parte decreciente en R_i. En ese caso, el problema de maximización es:

$$\max_{q_c} \pi_c^{\text{éxito}} = \left(a - bq_s - bq_c - c_E - \frac{q_c}{R_i} \right) q_c$$

La condición de primer orden es:

$$a - bq_s - 2bq_c - c_E - \frac{2q_c}{R_i} = 0$$

De allí se deriva la cantidad óptima del competidor en función de q_s y R_i:

$$q_c^{\text{éxito}}(q_s, R_i) = \frac{R_i(a - bq_s - c_E)}{2bR_i + 2}$$

El beneficio asociado a esta elección es:

$$\pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R_i) = \frac{R_i(a - bq_s - c_E)^2(bR_i + 1)}{(2bR_i + 2)^2}$$

Caso de fracaso. Si la inversión fracasa, el costo marginal pasa a ser $c_E + c_L + \frac{1}{R_i}$, independiente de q_c. El problema se convierte en:

$$\max_{q_c} \pi_c^{\text{fracaso}} = \left(a - bq_s - bq_c - c_E - c_L - \frac{1}{R_i}\right) q_c$$

La condición de primer orden da:

$$a - bq_s - 2bq_c - c_E - c_L - \frac{1}{R_i} = 0$$

Y la cantidad óptima es:

$$q_c^{\text{fracaso}*}(q_s, R_i) = \frac{a - bq_s - c_E - c_L - \frac{1}{R_i}}{2b}$$

El beneficio en este caso es:

$$\pi_c^{\text{fracaso}}(q_s, R_i) = \frac{\left[a - bq_s - c_E - c_L - \frac{1}{R_i}\right]^2}{4b}$$

Etapa 2: Elección de q_s por parte de SpaceX

En esta etapa, SpaceX ya observó el nivel de inversión R_i del competidor y forma una creencia $\mu(R_i)$ sobre su tipo. Esta creencia determina una probabilidad esperada de éxito:

$$\bar{\alpha}(\mu) = \mu\alpha_H + (1 - \mu)\alpha_L$$

Dado que SpaceX anticipa que el competidor solo entrará si su beneficio neto es no negativo, y conoce sus funciones de mejor respuesta condicionadas al resultado del experimento, puede calcular la cantidad esperada que enfrentará:

$$E[q_c|q_s, R_i, \mu] = \bar{\alpha}(\mu) \cdot q_c^{\text{éxito}} + (1 - \bar{\alpha}(\mu)) \cdot q_c^{\text{fracaso}}$$

Sustituyendo expresiones previas:

$$\begin{aligned} E[q_c|q_s, R_i, \mu] = \bar{\alpha}(\mu) \cdot \frac{R_i(a - bq_s - c_E)}{2bR_i + 2} \\ + (1 - \bar{\alpha}(\mu)) \cdot \frac{a - bq_s - c_E - c_L - \frac{1}{R_i}}{2b} \end{aligned}$$

El problema de SpaceX consiste en elegir q_s que maximice:

$$\pi_s = (a - bq_s - bE[q_c] - c_s)q_s$$

La condición de primer orden incorpora el efecto estratégico:

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial q_s} = a - 2bq_s - bE[q_c] - c_s - bq_s \cdot \frac{\partial E[q_c]}{\partial q_s} = 0$$

La derivada del término esperado es:

$$\frac{\partial E[q_c]}{\partial q_s} = -\frac{b\bar{\alpha}(\mu)R}{2bR + 2} - \frac{1 - \bar{\alpha}(\mu)}{2}$$

La solución general de q_s se obtiene reemplazando estas expresiones:

$$q_s^*(R_i, \mu) = \frac{a - c_s - bE[q_c|R_i, \mu]}{2b + b\left|\frac{\partial E[q_c]}{\partial q_s}\right|}$$

Cantidades Estratégicas: Exclusión del Competidor

Además de la cantidad óptima $q_s^L = q_s^*(R_i, \mu)$, que maximiza los beneficios esperados de SpaceX dado un nivel de inversión R y una creencia μ, puede resultar estratégicamente relevante considerar una cantidad alternativa que induzca la no entrada del competidor.

Dado que el tipo exitoso entra únicamente si su beneficio es no negativo, se define un umbral de exclusión como:

$$q_s^H(R_i) = \frac{a - c_E}{b} \tag{1.1}$$

Este valor proviene de la condición de entrada del tipo exitoso, que requiere:

$$R_i(a - bq_s - c_E) \geq 0 \tag{1.2}$$

$$\Leftrightarrow \quad q_s \leq \frac{a - c_E}{b} \tag{1.3}$$

Por lo tanto, si SpaceX elige una cantidad $q_s > q_s^H$, el tipo exitoso no entra. Dado que el tipo fracaso enfrenta una condición de entrada aún más restrictiva, también se autoexcluye. En consecuencia, q_s^H representa una cantidad de exclusión efectiva para ambos tipos del competidor.

Este razonamiento permite distinguir entre dos posibles estrategias de SpaceX:

- Una estrategia que permite participación, donde se eligeq_s^L, tal que se maximizan los beneficios frente a la posible entrada.
- Una estrategia de exclusión, donde se elige q_s^H tal que evita toda competencia, a costa de reducir la cantidad vendida.

En consecuencia, q_s^H representa un umbral a partir del cual el mercado queda despejado de competencia.

A diferencia del equilibrio de *monopolio natural* —que surge cuando ambos tipos del competidor deciden no entrar por motivos paramétricos (baja rentabilidad esperada, altos costos fijos)—, esta situación constituye un **equilibrio de monopolio inducido estratégicamente por SpaceX**, quien actúa de forma preventiva para evitar cualquier tipo de entrada.

Etapa 1: Elección de Inversión R_i por el Competidor

En el primer momento del juego, el competidor observa su tipo α y elige R_i entre dos niveles posibles. Esta decisión define no solo su estructura de costos, sino también la señal que enviará a SpaceX. Como R_i es observable, puede utilizarlo estratégicamente para inducir una respuesta más favorable del incumbente.

Dado que SpaceX ajusta q_s en función de la creencia $\mu(R)$, la inversión funciona como mecanismo de señalización. El competidor elige entonces R_i para maximizar su utilidad esperada, anticipando los efectos en q_s, la probabilidad de éxito, los beneficios esperados y el costo fijo de inversión.

Tipos de Equilibrio

El modelo admite distintos tipos de equilibrio según cómo se distribuya la elección de R entre los tipos:

En un equilibrio separador, el tipo alto elige R_H y el tipo bajo elige R_L, generando creencias extremas en SpaceX ($\mu = 1$ y $\mu = 0$). En un equilibrio agrupador, ambos tipos eligen la misma inversión (ya sea R_L o R_H), lo que induce una creencia mixta $\mu = p$.

Para que un equilibrio separador sea sostenible, deben cumplirse condiciones de incentivos: el tipo alto debe preferir pagar el mayor costo de inversión si eso implica una respuesta más favorable de SpaceX, mientras que el tipo bajo no debe tener incentivos a imitar. Estas condiciones se derivarán y evaluarán en detalle en la sección siguiente.

Además de los equilibrios separadores y agrupadores, el modelo admite configuraciones en las que el competidor no ingresa al mercado y Space X opera como monopolista.

(i) Monopolio natural. Este equilibrio se presenta cuando, dadas las condiciones tecnológicas y los parámetros del modelo, ninguno de los tipos del competidor encuentra rentable ingresar, incluso si SpaceX produjera una cantidad moderada. En este caso, la no entrada es una consecuencia directa de las restricciones paramétricas: bajos valores de α_i, altos costos de inversión (γ), o costos marginales elevados en caso de fracaso. El mercado se comporta como un monopolio natural porque la competencia simplemente no es viable.

(ii) Monopolio por disuasión estratégica. A diferencia del caso anterior, este equilibrio surge cuando SpaceX *elige estratégicamente* una cantidad suficientemente alta ($q_s > q_s^H$) que impide la entrada de cualquier tipo del competidor. Aquí, el jugador incumbente actúa de manera preventiva, anticipando que la amenaza de entrada existe, pero puede neutralizarse mediante una reacción suficientemente agresiva. El equilibrio refleja una lógica de exclusión estratégica: no es que el competidor no pueda entrar, sino que no le conviene hacerlo frente a la respuesta de SpaceX.

Ambos equilibrios comparten la característica de que el resultado es un mercado sin competencia, pero difieren en la lógica que los genera: el monopolio natural emerge de parámetros desfavorables para la competencia; el de disuasión, de una decisión estratégica racional del incumbente.

1.5. Pagos Terminales del Juego

Luego de derivar las funciones de reacción y las decisiones estratégicas en cada etapa del juego, estamos en condiciones de calcular los pagos terminales que recibe cada jugador al final de la interacción. Estos pagos dependen de la combinación de decisiones tomadas (nivel de inversión, creencia formada por SpaceX y resultado del experimento de I+D), así como del tipo verdadero del competidor.

1.5.1. Producción del Competidor Condicionada al Resultado

A partir de las funciones de mejor respuesta derivadas en la Etapa 3, y de las cantidades elegidas por SpaceX en la Etapa 2 según su creencia sobre el tipo del competidor, podemos determinar las cantidades efectivamente producidas por el competidor en cada uno de los posibles escenarios.

Dado que la realización del experimento (éxito o fracaso) ocurre luego de la elección de R y de q_s, pero antes de la entrada y la producción del competidor, consideramos cuatro configuraciones posibles: tipo alto o bajo, y resultado exitoso o fallido, para cada uno de los niveles de inversión (R_L o R_H). A su vez, estas decisiones pueden darse bajo un equilibrio separador (donde la creencia de SpaceX es perfecta) o agrupador (donde la creencia es mixta).

Para cada combinación se sustituye la cantidad q_s en la función de mejor respuesta del competidor. Así se obtiene la cantidad $q_c^{\text{tipo},R,\mu}$ producida en equilibrio. Las expresiones completas se encuentran detalladas a continuación y se mantienen según el tipo de equilibrio asumido.

Caso 1: Competidor exitoso que invirtió bajo.

Si el tipo resultó exitoso tras haber elegido R_L, su producción se calcula como:

$$q_c^{\text{éxito},L,\mu} = \frac{R_L(a - bq_s^{L,\mu} - c_E)}{2bR_L + 2}$$

Reemplazando las distintas expresiones de $q_s^{L,\mu}$ según si el equilibrio es separador ($\mu = 0$) o agrupador ($\mu = p$), obtenemos las cantidades efectivas. Estas se encuentran expresadas de forma explícita en la sección precedente y reflejan cómo la respuesta estratégica de SpaceX condiciona la producción posterior del competidor.

Caso 2: Competidor que fracasa con inversión baja.

En este escenario, la cantidad producida es:

$$q_c^{\text{fracaso},L,\mu} = \frac{a - bq_s^{L,\mu} - c_E - c_L - \frac{1}{R_L}}{2b}$$

Al igual que en el caso anterior, la cantidad que elija SpaceX (dependiendo de μ) afecta directamente la producción de equilibrio del competidor.

Caso 3: Competidor exitoso que invirtió alto.

Cuando el tipo invierte R_H y su experimento resulta exitoso, produce:

$$q_c^{\text{éxito},H,\mu} = \frac{R_H(a - bq_s^{H,\mu} - c_E)}{2bR_H + 2}$$

La respuesta de SpaceX será más agresiva si cree que está enfrentando a un tipo fuerte. Por tanto, la reacción estratégica depende críticamente de si se trata de un equilibrio con separación o no.

Caso 4: Competidor que fracasa con inversión alta.

La producción es:

$$q_c^{\text{fracaso},H,\mu} = \frac{a - bq_s^{H,\mu} - c_E - c_L - \frac{1}{R_H}}{2b}$$

Esta cantidad será menor a la del caso exitoso, y puede incluso ser negativa, en cuyo caso el competidor no entraría.

1.5.2. Beneficios de los Jugadores en Caso de Entrada

Con las cantidades de equilibrio determinadas, se pueden calcular ahora los pagos terminales de ambos jugadores en los escenarios en los que el competidor decide entrar. En cada caso, se computa el beneficio neto esperado (ingreso menos costo de producción y de inversión).

Ejemplo: Tipo alto, inversión alta, éxito

Para el competidor:

$$\pi_c^{\text{éxito},H,\mu} = \frac{R_H(a - bq_s^{H,\mu} - c_E)^2(bR_H + 1)}{(2bR_H + 2)^2} - (\delta R_H + \gamma)$$

Para SpaceX:

$$\pi_s^{\text{éxito},R_H,\mu} = \Big(a - bq_s^*(R_H, \mu) - bq_c^{\text{éxito},R_H,\mu} - c_s\Big) \cdot q_s^*(R_H, \mu)$$

Las restantes combinaciones (éxito o fracaso, tipo alto o bajo, inversión alta o baja) se calculan de forma análoga. Las fórmulas explícitas para los 8 casos de entrada se encuentran detalladas en la misma estructura.

1.5.3. Beneficios en Caso de No Entrada

Cuando el beneficio esperado del competidor es negativo, este opta por no entrar al mercado. En ese caso, la cantidad producida por el competidor es cero y su pérdida se limita al costo de inversión hundido:

$$\pi_{c,i} = -(\delta R_i + \gamma)$$

La cantidad elegida por SpaceX no se ajusta ex post, ya que fue determinada con anterioridad al conocimiento del resultado del experimento. Por lo tanto, su beneficio corresponde a la situación en la que enfrenta competencia nula:

$$\pi_s = (a - bq_s^\mu - c_s)q_s^\mu$$

Es importante distinguir entre dos situaciones distintas que generan no entrada:

(i) Monopolio natural. Aquí, SpaceX elige una cantidad de equilibrio $q_s^L = q_s^*$ pero los parámetros del modelo hacen que el competidor no entre, incluso enfrentando esa cantidad. La no entrada surge porque la probabilidad de éxito es baja, los costos fijos son altos, o el resultado esperado de la inversión no alcanza a cubrir los costos. El competidor evalúa sus beneficios y decide no entrar. El incumbente actúa de forma pasiva, y el mercado se comporta como un monopolio natural.

(ii) Monopolio por disuasión estratégica. En este caso, SpaceX elige de forma activa una cantidad q_s^H con el objetivo explícito de excluir cualquier tipo de competidor. La cantidad no es la que maximiza el beneficio frente a entrada, sino que responde a una estrategia de exclusión. El competidor observa esta cantidad, anticipa que incluso si tiene éxito el ingreso no será rentable, y opta por no entrar. Aquí, los pagos del competidor son nuevamente $\pi_c = -(\delta R_i + \gamma)$, pero reflejan una situación en la que la decisión de SpaceX lo dejó fuera del mercado deliberadamente. El beneficio de SpaceX es:

$$\pi_s^{\text{disuasión}} = (a - bq_s^H - c_s)q_s^H$$

En ambos casos, el resultado es un mercado sin entrada. Sin embargo, mientras que en el monopolio natural la exclusión surge de la estructura del modelo, en el monopolio estratégico es una decisión deliberada del incumbente, y por lo tanto representa una forma activa de mantener el poder de mercado.

1.6. Tipos de Equilibrio

A partir de la estructura del modelo y las decisiones estratégicas de los jugadores, se pueden sostener distintos tipos de equilibrio según los parámetros del juego. En esta sección se analizan los equilibrios separadores y agrupadores posibles, junto con las condiciones de incentivo necesarias para su sostenibilidad.

1.6.1. Equilibrio Separador

En un equilibrio separador, cada tipo de competidor elige un nivel de inversión distinto, lo que permite a SpaceX inferir perfectamente su tipo a partir de la elección de R. En esta configuración, el tipo alto selecciona R_H y el tipo bajo, R_L. Dado que R es observable, SpaceX actualiza sus creencias de forma perfecta: si observa R_H, asigna $\mu = 1$; si observa R_L, asigna $\mu = 0$. Con base en esta creencia, elige su cantidad óptima q_s: $q_s^{H,1}$ frente a R_H, y $q_s^{L,0}$ frente a R_L.

Luego, se realiza el experimento de éxito o fracaso, y el competidor decide si entra al mercado, en función de su beneficio neto esperado.

Dado que la inversión se realiza antes de conocer el resultado del experimento, los beneficios esperados del competidor se calculan como la esperanza ponderada entre los casos de éxito y fracaso. Así, para cada tipo:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{H,\text{sep}}] = \alpha_H \cdot \pi_c^{\text{éxito},H,1} + (1 - \alpha_H) \cdot \pi_c^{\text{fracaso},H,1}$$

$$\mathbb{E}[\pi_c^{L,\text{sep}}] = \alpha_L \cdot \pi_c^{\text{éxito},L,0} + (1 - \alpha_L) \cdot \pi_c^{\text{fracaso},L,0}$$

Si el ingreso esperado resulta menor al costo hundido de inversión, el competidor opta por no entrar, obteniendo un pago neto:

$$\pi_c^{\text{no entra}} = -(\delta R + \gamma)$$

Para SpaceX, el beneficio en cada camino terminal también depende de las cantidades elegidas y del resultado del experimento. Por ejemplo, si enfrenta a un tipo alto exitoso que eligió R_H, su beneficio es:

$$\pi_s^{\text{éxito},H,1} = \left(a - bq_s^{H,1} - bq_c^{\text{éxito},H,1} - c_s\right) \cdot q_s^{H,1}$$

Para que el equilibrio separador sea sostenible, cada tipo debe preferir revelar su tipo verdadero. Esto se traduce en dos condiciones de incentivo:

(i) El tipo alto no desea mimetizarse con el bajo:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{H,\text{sep}}] \geq \mathbb{E}[\pi_c^H \mid R = R_L]$$

(ii) El tipo bajo no desea imitar al alto:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{L,\text{sep}}] \geq \mathbb{E}[\pi_c^L \mid R = R_H]$$

Donde los pagos esperados a la derecha de cada desigualdad se calculan usando las cantidades correspondientes a la inversión del tipo contrario. Estas condiciones permiten garantizar la separación de tipos en equilibrio.

1.6.2. Equilibrio agrupador en R_L

En este equilibrio, ambos tipos de competidor eligen el mismo nivel de inversión bajo, $R = R_L$. Como SpaceX no puede distinguir entre ellos, forma una creencia mixta $\mu = p$, donde p representa la probabilidad de enfrentar a un tipo alto. Con esta creencia, elige la cantidad óptima $q_s^{L,p}$, internalizando la respuesta esperada del competidor.

Ambos tipos enfrentan el mismo nivel de producción por parte de SpaceX. Sus beneficios esperados se calculan como:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_H} \mid R = R_L] = \alpha_H \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,p}, R_L) + (1 - \alpha_H) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,p}, R_L)$$

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_L} \mid R = R_L] = \alpha_L \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,p}, R_L) + (1 - \alpha_L) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,p}, R_L)$$

Para que el equilibrio agrupador sea sostenible, ambos tipos deben preferir permanecer en el pooling en lugar de desviarse a R_H, donde serían identificados como un tipo separado:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_i} \mid R = R_L] \geq \mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_i} \mid R = R_H] \quad \text{para } i \in \{L, H\}$$

1.6.3. Equilibrio agrupador en R_H

En este equilibrio, tanto el tipo alto como el bajo eligen $R = R_H$, generando una creencia mixta $\mu = p$ por parte de SpaceX. Este responde con una cantidad $q_s^{H,p}$, que refleja la productividad promedio esperada.

Los beneficios esperados de cada tipo se calculan del mismo modo:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_H} \mid R = R_H] = \alpha_H \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{H,p}, R_H) + (1 - \alpha_H) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{H,p}, R_H)$$

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_L} \mid R = R_H] = \alpha_L \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{H,p}, R_H) + (1 - \alpha_L) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{H,p}, R_H)$$

Aquí, ambos tipos deben preferir permanecer en el equilibrio agrupador en R_H, antes que desviarse hacia R_L:

$$\mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_i} \mid R = R_H] \geq \mathbb{E}[\pi_c^{\alpha_i} \mid R = R_L] \quad \text{para } i \in \{L, H\}$$

En todos los casos, la sostenibilidad del equilibrio depende de los parámetros del modelo, en particular de la diferencia entre tipos $(\alpha_H - \alpha_L)$, el costo diferencial de inversión δ, y la sensibilidad estratégica de SpaceX a la señal que representa R.

1.6.4. Equilibrio de Monopolio Natural

Existe un equilibrio adicional en el modelo cuando ninguno de los tipos de competidor elige entrar al mercado, y SpaceX produce como monopolista. Este resultado puede surgir si las condiciones de entrada son lo suficientemente desfavorables para ambos tipos. En tal escenario, ambos tipos del competidor saben que no ingresarán, por lo que no producen ($q_c = 0$), y sus pagos son negativos, equivalentes al costo hundido de inversión en caso de haberla realizado: $\pi_c = -F(R)$. Por su parte, SpaceX actúa como único productor, maximizando su beneficio sin enfrentar competencia. La condición para que este equilibrio se sostenga es que, para cada tipo $i \in \{H, L\}$, el beneficio esperado de entrada sea negativo, es decir:

$$\alpha_i \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{\text{mono}}, R) + (1 - \alpha_i) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{\text{mono}}, R) < 0$$

Dado que el competidor no entra, la producción de equilibrio está determinada únicamente por SpaceX. Esta elige $q_s^{\text{mono}} = \frac{a - c_s}{2b}$, como en un monopolio clásico con demanda lineal. El precio de mercado es $P = a - bq_s^{\text{mono}}$, y su beneficio es $\pi_s = (P - c_s)q_s^{\text{mono}}$.

Este tipo de equilibrio puede emerger en tres contextos: cuando los costos fijos de entrada (reflejados en γ y/o δ) son demasiado altos; cuando las probabilidades de éxito α_i son bajas, reduciendo el valor esperado de la inversión; o cuando SpaceX anticipa un nivel alto de competencia y responde agresivamente, reduciendo los beneficios del competidor y disuadiendo su ingreso. Bajo estas condiciones, la entrada no resulta rentable, y el mercado se comporta como un monopolio natural en manos de la firma incumbente.

1.6.5. Equilibrio de Monopolio por Disuasión Estratégica

Existe un cuarto tipo de equilibrio en el modelo, en el que SpaceX utiliza su decisión de producción como instrumento estratégico para evitar cualquier entrada. A diferencia del monopolio natural, este equilibrio no se debe a condiciones paramétricas desfavorables para el competidor, sino a una *decisión activa* del incumbente de producir una cantidad lo suficientemente elevada como para disuadir tanto al tipo alto como al tipo bajo de ingresar.

En este equilibrio, el competidor observa una cantidad $q_s > q_s^H$, donde q_s^H es el umbral de entrada del tipo más eficiente. Dado que incluso con éxito el ingreso no es rentable, el competidor se autoexcluye, sin importar su tipo ni el resultado del experimento de I+D.

Este equilibrio puede sostenerse siempre que:

- SpaceX obtenga un beneficio mayor (o suficientemente alto) al actuar como monopolista disuasivo que al enfrentar entrada.
- La amenaza de entrada sea creíble (por ejemplo, si los tipos podrían haber entrado bajo q_s^*), pero SpaceX prefiere eliminarla ex ante.

El beneficio del competidor es:

$$\pi_c = -(\delta R + \gamma)$$

Y el beneficio de SpaceX es:

$$\pi_s^{\text{disuasión}} = (a - bq_s^H - c_s)q_s^H$$

1.7. Análisis de los equilibrios

La sostenibilidad de los distintos equilibrios del modelo depende de los parámetros fundamentales que determinan la estructura de costos, la capacidad tecnológica de los tipos y la intensidad de la señal generada por la inversión. En esta sección, caracterizamos cómo cambian los incentivos de separación y agrupamiento ante variaciones paramétricas, y qué regiones del espacio determinan la viabilidad de cada tipo de equilibrio.

1.7.1. Factores que favorecen la separación

El equilibrio separador se sostiene cuando los tipos son lo suficientemente distintos entre sí y la señal observable —la inversión en I+D— es creíble y costosa. A medida que la diferencia entre la probabilidad de éxito de ambos tipos se agranda ($\alpha_H - \alpha_L$ elevado), el tipo alto tiene un mayor incentivo a distinguirse, especialmente si la inversión alta le permite alcanzar un costo marginal competitivo en caso de éxito.

Además, si el nivel de inversión alto R_H permite una mejora sustancial en la eficiencia del tipo exitoso, sin implicar un costo hundido prohibitivo, se refuerza la credibilidad del esfuerzo y, por ende, la viabilidad del equilibrio separador.

1.7.2. Factores que favorecen la agrupación

Los equilibrios agrupadores tienden a emerger cuando la señal pierde poder informativo o se vuelve demasiado costosa. En particular, si la diferencia entre tipos es baja, o si el tipo bajo tiene una probabilidad de éxito suficientemente alta (α_L elevado), entonces el incentivo a unirse al tipo alto y enfrentar una menor competencia por parte de SpaceX puede superar el deseo de separarse.

En este contexto, el equilibrio agrupador puede sostenerse tanto en niveles bajos de inversión (R_L) —si ninguno de los tipos está dispuesto a pagar el costo del esfuerzo— como en niveles altos (R_H), cuando incluso el tipo bajo espera ganancias positivas bajo la creencia promedio de SpaceX.

1.7.3. Factores que Favorecen el Monopolio Natural

El equilibrio de monopolio natural, en el que ningún tipo de competidor ingresa al mercado, se ve favorecido por una combinación de condiciones tecnológicas y estratégicas que desalientan la entrada. Entre los factores centrales se encuentra el costo fijo de inversión, representado por el parámetro γ. A medida que γ aumenta, el valor esperado de la inversión disminuye para ambos tipos de competidor, lo que reduce la rentabilidad de entrar incluso ante un posible éxito tecnológico.

Otro determinante importante es la probabilidad de éxito en el experimento de I+D. Cuando los valores de α_H y α_L son bajos, el retorno esperado de la inversión también cae, haciendo menos atractiva la entrada. En particular, si el tipo alto tiene una probabilidad de éxito moderada, pero el tipo bajo enfrenta una probabilidad muy baja, es probable que el segundo quede automáticamente excluido, y que el primero también se vea desincentivado si anticipa una respuesta agresiva de SpaceX.

Finalmente, la respuesta estratégica del incumbente juega un rol clave. Si SpaceX, al observar una inversión, anticipa la posibilidad de entrada y reacciona con una producción elevada que reduce fuertemente el precio de mercado, puede generar condiciones de rentabilidad negativa para el competidor. En estos casos, incluso un tipo relativamente fuerte puede optar por no entrar.

En conjunto, estos factores definen un conjunto paramétrico donde el mercado se comporta como un monopolio natural, no por imposición legal ni exclusividad formal, sino por la estructura económica que hace inviable la competencia.

1.7.4. Factores que favorecen la disuasión estratégica

El equilibrio de monopolio inducido por disuasión estratégica se sostiene cuando SpaceX puede anticipar racionalmente que le conviene producir una cantidad elevada para evitar cualquier entrada, incluso a costa de reducir su propio beneficio de corto plazo.

Este equilibrio se ve favorecido por configuraciones en las que:

- El beneficio neto de SpaceX en el escenario sin competencia ($\pi_s^{\text{disuasión}}$) es mayor o comparable al beneficio esperado frente a la entrada del competidor.
- La respuesta del competidor es sensible a q_s: una pequeña variación en la producción del incumbente puede llevar al competidor a autoexcluirse.
- Existe incertidumbre sobre el tipo, pero SpaceX prefiere evitar cualquier riesgo competitivo.

Desde el punto de vista paramétrico, la disuasión estratégica se vuelve más probable cuando:

- El valor de α_H no es lo suficientemente alto como para que el tipo eficiente tolere una respuesta agresiva de SpaceX.

- El costo fijo de entrada (δ) es moderado: lo suficientemente bajo como para que el competidor quiera entrar si puede, pero lo suficientemente alto como para que una pequeña pérdida esperada lo desincentive.
- El incumbente tiene poder de mercado suficiente como para elegir q_s de forma creíble por encima del umbral de exclusión q_s^H.

A diferencia del monopolio natural, aquí la exclusión no surge porque el competidor no pueda entrar, sino porque el incumbente lo impide estratégicamente. Este equilibrio representa una forma activa de sostener el poder de mercado, racional desde el punto de vista del incumbente, y típicamente asociada a contextos donde el liderazgo tecnológico permite bloquear la competencia desde la anticipación.

1.7.5. El rol de los costos

Los parámetros de costo también son determinantes clave. Un mayor costo marginal de producción (c_E) reduce el incentivo a entrar para ambos tipos. Por otro lado, si el costo de fracaso (c_L) es alto, el tipo bajo se ve desincentivado a desviarse a estrategias riesgosas, favoreciendo el equilibrio separador. En cuanto al incumbente, un mayor costo marginal de SpaceX (c_s) suaviza su respuesta, lo que puede facilitar la entrada del competidor y sostener equilibrios agrupadores.

1.7.6. Desvíos y robustez del equilibrio

El análisis de desviaciones muestra que los equilibrios son sensibles a la posibilidad de que un tipo altere su nivel de inversión para cambiar la creencia de SpaceX. El equilibrio separador se vuelve frágil si los costos de inversión aumentan o si las ganancias diferenciales entre tipos se reducen. A la inversa, los equilibrios agrupadores pueden ser inestables si el tipo alto tiene mucho para ganar al diferenciarse, y la señal es creíble.

El modelo formaliza una situación de entrada estratégica en la que un competidor potencial enfrenta incertidumbre tecnológica y costos de inversión hundidos, y debe tomar decisiones observables que afectan las creencias del incumbente. La interacción entre los jugadores, estructurada como un juego secuencial con información asimétrica, genera tensiones entre señalización y eficiencia, que determinan la estructura de equilibrio.

El análisis identifica cuatro regímenes posibles, determinados por la interacción entre señalización, creencias, incentivos estratégicos y parámetros tecnológicos:

- **Equilibrios separadores**, donde los tipos del competidor se revelan mediante distintos niveles de inversión.
- **Equilibrios agrupadores** (pooling), en los que ambos tipos se comportan de manera idéntica ante los ojos del incumbente.
- **Monopolio natural**, donde la entrada no es viable por condiciones estructurales del modelo.
- **Monopolio por disuasión estratégica**, donde SpaceX elige activamente una cantidad elevada para bloquear cualquier posible entrada.

Estos resultados permiten entender cómo, incluso en ausencia de barreras legales o restricciones institucionales, la competencia puede verse limitada por decisiones estratégicas anticipadas y racionales.

¿Por qué el tipo ineficiente se beneficia de la información asimétrica?

En este modelo consideramos la interacción estratégica entre SpaceX y un único competidor potencial. La incertidumbre no radica en cuántos jugadores hay, sino en las características del único competidor: **existe un solo jugador, cuyo tipo tecnológico $\alpha \in \{\alpha_L, \alpha_H\}$ es privado**. Este tipo determina la probabilidad de éxito en la etapa de I+D y, por lo tanto, su productividad esperada si entra al mercado.

Dado que SpaceX no observa el tipo del competidor, la información asimétrica se vuelve una herramienta estratégica para este último. En particular, el **tipo ineficiente** (α_L) es quien más se beneficia de esta opacidad. Si su tipo fuera observable, SpaceX podría responder con una cantidad q_s lo suficientemente alta como para impedir su entrada, anticipando que no es capaz de competir eficientemente. Sin embargo, al ocultar su tipo y seleccionar una inversión elevada $R = RH$, el tipo bajo puede *hacerse pasar por el tipo alto* y modificar la respuesta de SpaceX.

Este comportamiento da lugar a un **equilibrio agrupador en** RH, donde ambos tipos del competidor eligen la misma inversión alta, de modo que SpaceX no puede distinguir entre ellos. Ante esa ambigüedad, el incumbente reduce su producción por precaución, lo cual eleva la probabilidad de entrada exitosa para el tipo ineficiente. De hecho, en el equilibrio separador, SpaceX produciría una cantidad mayor al observar $R = RL$, bloqueando más agresivamente a quien sabe que es débil.

Formalmente, las condiciones de incentivo (ecuaciones (**??**) y (**??**)) garantizan que, en determinadas regiones paramétricas, el tipo ineficiente prefiere mantenerse oculto dentro del agrupamiento. La información asimétrica le permite participar del mercado en condiciones que, bajo información completa, no serían viables.

En suma, el ocultamiento del tipo actúa como un *activo estratégico*. El único competidor prefiere mantener su tipo oculto cuando es ineficiente, ya que revelar su verdadera identidad implicaría ser excluido del mercado. Por tanto, **la existencia de un equilibrio agrupador en RH es una manifestación concreta del valor de la información privada**.

1.8. Síntesis de resultados

Cada uno de estos equilibrios surge bajo combinaciones específicas de parámetros, y puede explicarse por el efecto conjunto de la rentabilidad esperada, el valor estratégico de la señal y la respuesta anticipada del incumbente. La inversión inicial cumple un doble rol: determina los costos tecnológicos del competidor y comunica información sobre su tipo, condicionando así las decisiones de producción de SpaceX y la viabilidad de la entrada.

Los resultados permiten derivar condiciones precisas bajo las cuales la entrada es sostenible, racionalmente disuadida, o estratégicamente excluida, incluso en ausencia de barreras legales. Este marco analítico ofrece una base formal para interpretar la dinámica de mercados donde la señalización tecnológica y las respuestas estratégicas determinan el acceso competitivo.

Capítulo 2

Modelo de Contratación Gubernamental con Autonomía Gubernamental Oculta

2.1. Introducción

En las últimas décadas, la contratación pública de bienes y servicios estratégicos ha adquirido una creciente relevancia económica y política. En sectores como defensa, infraestructura espacial o tecnología dual, los gobiernos enfrentan decisiones complejas entre producir internamente o delegar la provisión en actores privados. Estas decisiones no sólo responden a criterios de eficiencia, sino que también involucran consideraciones sobre soberanía tecnológica, autonomía institucional y legitimidad política.

Este trabajo desarrolla un modelo teórico que formaliza dicho dilema como un problema de contratación con información asimétrica entre un proveedor privado eficiente (representado por SpaceX) y un gobierno cuya disposición a externalizar está determinada por su valoración subjetiva por la autonomía. A diferencia de los modelos clásicos de *screening*, en los que las preferencias privadas se traducen únicamente en restricciones de incentivo, aquí introducimos una dimensión simbólica —la autonomía— que actúa como costo marginal subjetivo para el Estado por cada unidad contratada. Este componente altera profundamente la estructura de equilibrio y genera implicancias novedosas tanto para el diseño de contratos como para la estrategia comercial de los oferentes.

El modelo caracteriza formalmente los equilibrios posibles en este entorno: participación exclusiva del tipo gubernamental más pragmático (equilibrio de *screening*), aceptación conjunta mediante contrato único (*agrupador*), o rechazo completo de la oferta (autarquía). Se derivan condiciones paramétricas explícitas que determinan qué tipo de equilibrio surge, y se analizan los efectos de los principales parámetros institucionales —la ineficiencia relativa del Estado y la heterogeneidad en la valoración por autonomía— sobre la viabilidad de la contratación externa.

La principal contribución de este trabajo consiste en incorporar, de manera estructural, el *trade-off* entre eficiencia y soberanía como elemento central del mecanismo de contratación, revelando cómo incluso en presencia de ganancias de eficiencia sustanciales, la subcontratación puede fracasar debido a restricciones simbólicas. Además, el modelo ofrece herramientas concretas para la segmentación de mercados gubernamentales, la predicción de demanda y la gestión del riesgo político en sectores estratégicos.

2.2. Supuestos

El entorno económico está compuesto por dos actores: una empresa privada, SpaceX, y un gobierno que requiere la provisión de un bien o servicio estratégico. SpaceX actúa como oferente eficiente, con costos marginales crecientes convencionales. El gobierno, en cambio, enfrenta una disyuntiva estructural: puede contratar a SpaceX o producir internamente, enfrentando un costo tecnológico más alto.

El rasgo distintivo del modelo es que el gobierno posee una valoración privada por su autonomía tecnológica, denotada por un parámetro $v \in \{v_L, v_H\}$, donde $v_H > v_L \geq 0$. Este parámetro representa el costo marginal subjetivo por unidad contratada externamente: cuanto mayor es v, mayor es la penalidad percibida por delegar la producción en un actor privado.

La información sobre v es privada del gobierno. SpaceX conoce la distribución de tipos pero no observa la realización individual. Se asume que $\Pr(v = v_H) = p$ y $\Pr(v = v_L) = 1 - p$.

SpaceX enfrenta una función de costo cuadrática de la forma:

$$C_S(q) = \frac{cq^2}{2},$$

donde $c > 0$ representa el costo marginal creciente de producción. Por su parte, el gobierno puede producir internamente el mismo bien, pero con una tecnología menos eficiente:

$$C_G(q) = \gamma \cdot \frac{cq^2}{2}, \quad \text{con } \gamma > 1.$$

El parámetro γ mide la ineficiencia relativa del Estado respecto al proveedor privado. Esta brecha tecnológica es central para el análisis de los incentivos a subcontratar.

El juego se desarrolla en cuatro etapas secuenciales:

t=1: SpaceX propone un menú de contratos (q_L, P_L) y (q_H, P_H), donde cada opción está diseñada para atraer potencialmente a un tipo distinto de gobierno.

t=2: El gobierno observa su tipo privado $v \in \{v_L, v_H\}$, conocido únicamente por él.

t=3: El gobierno elige entre aceptar uno de los contratos ofrecidos o rechazar ambos y producir internamente.

t=4: Se implementa la decisión elegida. No hay posibilidad de revocación una vez aceptado el contrato.

2.3. Preferencias

Si el gobierno contrata a SpaceX, su utilidad se ve afectada negativamente por la pérdida de autonomía, proporcional al tipo v y a la cantidad contratada q, además del precio pagado P. La utilidad asociada a la contratación externa es:

$$U_G^{\text{ext}}(v, q, P) = q - P - vq.$$

Si decide producir internamente, su utilidad neta es simplemente la ganancia operativa menos los costos tecnológicos, maximizada con respecto a q. Denotamos esta utilidad como $U_G^{\text{int}} \equiv B$, y puede demostrarse que:

$$B = \max_q \left\{ q - \gamma \cdot \frac{cq^2}{2} \right\} = \frac{1}{2\gamma c}.$$

La utilidad de SpaceX por contrato es el ingreso neto sobre su costo marginal:

$$\Pi_S(q, P) = P - \frac{cq^2}{2}.$$

Dado un contrato (q, P), el gobierno acepta si su utilidad externa supera o iguala la utilidad de reserva que obtiene produciendo por su cuenta:

$$(1 - v)q - P \geq B = \frac{1}{2\gamma c}.$$

Esta condición resume el trade-off central del modelo: la decisión de subcontratar depende de si la ganancia de eficiencia supera el costo simbólico asociado a la pérdida de autonomía.

2.4. Equilibrios posibles

En esta sección se caracterizan los tres regímenes de equilibrio que pueden surgir en el modelo, según los valores de los parámetros (v_L, v_H, γ, p). Dado que SpaceX no puede observar el tipo del gobierno, enfrenta un problema clásico de selección adversa. Las opciones disponibles son: diseñar un menú que solo atraiga al tipo bajo, ofrecer un contrato único aceptado por ambos tipos, o no contratar con ningún tipo .

Las condiciones formales de estos equilibrios se derivan en el Anexo A. A continuación, se presentan sus configuraciones, intuiciones económicas y resultados clave.

2.4.1. Equilibrio 1: Solo el tipo bajo contrata (screening)

En este caso, SpaceX diseña un contrato (q_L, P_L) que resulta atractivo únicamente para el tipo de gobierno más pragmático $(v = v_L)$, mientras que el tipo más reacio $(v = v_H)$ prefiere producir internamente.

La lógica detrás de este equilibrio es que, si la diferencia entre tipos es suficientemente grande, cualquier contrato que sea aceptable para el tipo alto otorgaría una renta informacional excesiva al tipo bajo, haciéndolo inviable para SpaceX. Por lo tanto, la firma opta por excluir estratégicamente al tipo más costoso.

Las condiciones necesarias para que este equilibrio sea factible son:

- El tipo bajo debe estar dispuesto a aceptar el contrato:

$$(1 - v_L)q_L - P_L \geq \frac{1}{2\gamma c}$$

- El tipo alto debe preferir la producción interna:

$$(1 - v_H)q_L - P_L < \frac{1}{2\gamma c}$$

El contrato óptimo ofrecido en este caso es:

$$q_L^* = \frac{1 - v_L}{c}, \quad P_L^* = \frac{(1 - v_L)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}$$

El beneficio esperado de SpaceX es:

$$\Pi_1^* = (1 - p)\left[\frac{(1 - v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}\right]$$

2.4.2. Equilibrio 2: Agrupador (ambos tipos aceptan)

En este equilibrio, SpaceX ofrece un contrato único (q, P) que resulta aceptable tanto para el tipo bajo como para el tipo alto. Dado que el tipo alto es más restrictivo, la participación de ambos requiere que el contrato satisfaga su restricción de participación.

La intuición es que, cuando los tipos no están demasiado alejados o cuando la probabilidad del tipo alto es suficientemente elevada, SpaceX prefiere sacrificar parte del margen informacional a cambio de asegurar volumen de contratación.

La condición activa es:

$$(1 - v_H)q - P = \frac{1}{2\gamma c}$$

El contrato óptimo en este caso es:

$$q^* = \frac{1 - v_H}{c}, \quad P^* = \frac{(1 - v_H)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}$$

El beneficio total para SpaceX es:

$$\Pi_2^* = \frac{(1 - v_H)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}$$

Este contrato también debe ser aceptable para el tipo bajo, lo que se verifica si:

$$(1 - v_L)q^* - P^* \geq \frac{1}{2\gamma c} \quad \text{(siempre cierto si } v_H > v_L\text{)}$$

2.4.3. Equilibrio 3: Ningún tipo contrata (autarquía)

Este escenario representa un régimen en el que ambos tipos de gobierno rechazan cualquier contrato ofrecido por SpaceX. Esto ocurre cuando incluso el tipo bajo tiene una valoración por autonomía tan alta que el costo simbólico de subcontratar excede los beneficios de eficiencia.

Formalmente, esto sucede cuando:

$$v_L > 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} = v^*$$

En ese caso, SpaceX no puede ofrecer ningún contrato aceptado y rentable al mismo tiempo, por lo que no participa en el mercado.

Los resultados asociados a este equilibrio son triviales:

$$q = 0, \quad P = 0, \quad \Pi_S = 0$$

2.4.4. Imposibilidad de un equilibrio separador

Una pregunta natural es si SpaceX podría diseñar un menú de contratos diferenciados que induzca revelación del tipo de gobierno, es decir, un equilibrio separador clásico. Esta sección demuestra que tal equilibrio no puede sostenerse en este modelo, dado que las restricciones de incentivo se vuelven incompatibles con la asignación eficiente.

Supongamos que SpaceX ofrece dos contratos (q_L, P_L) y (q_H, P_H), diseñados para que cada tipo los seleccione de forma separada. Las utilidades asociadas para el tipo $v \in \{v_L, v_H\}$ son:

$$U_G(v, q, P) = (1 - v)q - P.$$

Las condiciones de incentivo son entonces:

$$(1 - v_H)q_H - P_H \geq (1 - v_H)q_L - P_L \quad \text{(IC-H)}$$
$$(1 - v_L)q_L - P_L \geq (1 - v_L)q_H - P_H \quad \text{(IC-L)}$$

Sumando ambas desigualdades, se obtiene:

$$(v_L - v_H)(q_H - q_L) \geq 0.$$

Dado que $v_H > v_L$, esto requiere que $q_H \leq q_L$. Es decir, el tipo con mayor aversión a la pérdida de autonomía debería recibir una cantidad menor que el tipo más pragmático. Esta asignación es ineficiente desde el punto de vista de la eficiencia asignativa, y contradice la lógica clásica de diseño de mecanismos.

Además, cualquier contrato que satisfaga la restricción de participación del tipo alto con una cantidad alta (para mantener eficiencia) genera, vía (IR-L) y (IC-L), una renta informacional tan grande para el tipo bajo que hace inviable la estrategia para SpaceX.

Por lo tanto, el equilibrio separador no puede sostenerse en este modelo. Esta imposibilidad es consecuencia directa de la forma lineal y monótona en que el parámetro v afecta las utilidades, y de la ausencia de complementariedad entre el tipo y la cantidad asignada.

2.4.5. Resumen

Los tres equilibrios pueden representarse según la posición relativa de los tipos respecto al umbral crítico v^*:

- **Si** $v_L \leq v^* < v_H$: solo el tipo bajo contrata.
- **Si** $v_H \leq v^*$: ambos tipos contratan .
- **Si** $v_L > v^*$: ningún tipo contrata .

2.5. Selección de equilibrio

La elección entre los distintos regímenes contractuales depende no solo de la viabilidad individual de los contratos, sino también de la rentabilidad esperada para SpaceX. En particular, cuando ambos equilibrios —screening (solo tipo bajo) y pooling (ambos tipos)— son factibles, SpaceX debe comparar los beneficios que le reporta cada uno.

Para ello, se define un umbral de probabilidad p^*, que representa la máxima proporción del tipo alto compatible con una estrategia de segmentación. Si la probabilidad de enfrentar a un gobierno tipo alto es demasiado elevada, resulta más rentable adoptar una estrategia de pooling.

El umbral crítico de autonomía está representado por:

$$v^* = 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}.$$

Las tres configuraciones posibles son:

- Si $v_L > v^*$, ningún tipo acepta: el mercado cae en autarquía.
- Si $v_H \leq v^*$, ambos tipos son viables: pueden implementarse tanto pooling como segmentación.
- Si $v_L \leq v^* < v_H$, solo el tipo bajo puede ser contratado sin pérdidas: únicamente el equilibrio de screening es factible.

Cuando ambos equilibrios son viables, SpaceX elige la estrategia que maximiza su beneficio esperado. El beneficio en cada caso es:

- **Solo tipo bajo (screening):**

$$\Pi_1^* = (1-p)\left[\frac{(1-v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}\right].$$

- **Agrupador:**

$$\Pi_2^* = \frac{(1-v_H)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Comparando ambos beneficios, SpaceX prefiere la estrategia agrupadora si y solo si:

$$\Pi_2^* > \Pi_1^*.$$

Reordenando la desigualdad, se obtiene el umbral de probabilidad p^* implícito definido como:

$$p^* = 1 - \frac{\Pi_2^*}{\Pi_1^*}.$$

Es decir, SpaceX prefiere realizar un contrato único para ambos tipos cuando la probabilidad de enfrentar un gobierno tipo alto es mayor a p^*. En caso contrario, conviene diseñar un menú que excluya estratégicamente al tipo menos deseado.

Teorema de selección de equilibrio

Dado un conjunto de parámetros (v_L, v_H, γ, p), la estrategia adoptada por SpaceX es:

1. **Autarquía:** Si $v_L > v^*$, ningún contrato es viable. El gobierno produce internamente y SpaceX no participa.
2. **Solo tipo bajo (screening):** Si $v_L \leq v^* < v_H$, únicamente el tipo bajo puede ser contratado sin pérdidas. SpaceX diseña un contrato dirigido exclusivamente a este tipo.
3. **Agrupador vs screening:** Si $v_H \leq v^*$, ambos equilibrios son viables. SpaceX prefiere:
   - Agrupador, si $p > p^*$
   - Screening (solo tipo bajo), si $p \leq p^*$

La demostración completa se encuentra en el Anexo A.

Interpretación económica

El parámetro p^* capta la relación entre la rentabilidad marginal de incluir al tipo alto y la pérdida de margen asociada a renunciar a la segmentación. Su valor depende de tres factores clave:

- La diferencia entre tipos: una mayor brecha $v_H - v_L$ reduce la rentabilidad del pooling, elevando el umbral p^*.
- La ineficiencia estatal γ: un mayor γ hace que los gobiernos estén más dispuestos a contratar, incrementando la viabilidad de incluir al tipo alto.
- El costo marginal c: afecta directamente la magnitud de los beneficios en ambos escenarios, aunque no altera la condición de viabilidad.

De este modo, el modelo permite explicar cómo la estructura institucional y política del entorno —capturada por v, γ y p— determina no solo qué contratos son viables, sino también cuál es la estrategia óptima de diseño de contratos desde el punto de vista del oferente privado.

2.6. Implicancias del modelo

El modelo desarrollado permite extraer una serie de implicancias relevantes sobre el comportamiento de los gobiernos frente a la contratación externa, así como sobre la estrategia óptima de los oferentes privados en contextos institucionales diversos. A continuación se analizan los principales factores que afectan la viabilidad de la contratación, las decisiones por tipo de gobierno, y los efectos de los parámetros estructurales.

2.6.1. Condiciones de decisión del gobierno

La decisión del gobierno de contratar a SpaceX depende de si el beneficio que obtiene del contrato —una combinación de eficiencia técnica y penalidad simbólica— supera el valor de producir internamente. Esta condición puede expresarse como:

$$(1 - v)q - P \geq \frac{1}{2\gamma c}.$$

El lado izquierdo de la desigualdad representa la utilidad neta por contratación externa, mientras que el lado derecho es la utilidad de reserva, determinada por la tecnología pública. Esta comparación revela que:

- Una mayor valoración por autonomía (v) reduce la probabilidad de contratación.

- Una mayor cantidad contratada (q) y un menor precio (P) incentivan la participación.
- Una mayor ineficiencia estatal (γ) disminuye la utilidad de reserva, facilitando la aceptación del contrato.

2.6.2. Umbral crítico de autonomía

El análisis formal permite definir un umbral v^* que separa los tipos de gobierno que aceptan contratar de aquellos que no lo hacen. Este umbral depende exclusivamente de la ineficiencia relativa del Estado:

$$v^* = 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}.$$

Este resultado implica que:

- Si $v > v^*$, el gobierno siempre prefiere producir internamente.
- Si $v \leq v^*$, existe al menos un contrato viable que genera beneficio positivo para SpaceX.
- El umbral v^* crece con γ: a mayor ineficiencia pública, la probabilidad de que un tipo no contrate es mas baja (hay mas gobiernos viables a contratar).

2.6.3. Decisiones por tipo de gobierno

La combinación entre el tipo de gobierno y su posición relativa al umbral v^* determina su decisión:

- Si $v_L \leq v^* < v_H$: solo el tipo bajo contrata.
- Si $v_H \leq v^*$: ambos tipos contratan (agrupador viable).
- Si $v_L > v^*$: ningún tipo contrata (autarquía).

Este patrón refleja cómo la heterogeneidad ideológica y la capacidad estatal interactúan para definir los límites de la colaboración público-privada.

2.6.4. Factores que favorecen la contratación externa

El modelo identifica dos factores clave que aumentan la probabilidad de que el gobierno acepte un contrato ofrecido por SpaceX:

1. **Mayor ineficiencia estatal ($\gamma \uparrow$):** eleva el umbral v^*, haciendo que más gobiernos resulten viables para contratar. Formalmente:

$$\frac{\partial v^*}{\partial \gamma} = \frac{1}{2\gamma^{3/2}} > 0.$$

2. **Menor valoración por autonomía ($v \downarrow$):** reduce el costo simbólico de subcontratar, y por lo tanto, aumenta la disposición a aceptar el contrato.

Un resultado relevante es que, a diferencia de versiones anteriores del modelo, el umbral v^* no depende del costo marginal c de SpaceX, lo que sugiere que el rol de la eficiencia privada es secundario frente a los condicionantes institucionales.

2.6.5. Interpretación de los parámetros clave

Ineficiencia relativa del gobierno (γ): mide cuán costoso le resulta al Estado producir por su cuenta. Valores representativos incluyen:

- $\gamma = 1{,}5$: el Estado requiere 50 % más recursos que SpaceX.
- $\gamma = 2$: el Estado produce al doble del costo privado.
- $\gamma = 3$: el Estado es tres veces menos eficiente.

Un mayor γ reduce el valor de reserva ($B = \frac{1}{2\gamma c}$) y aumenta el umbral v^*, facilitando la contratación.

Valoración por autonomía (v): representa el sesgo institucional hacia la producción propia. Se interpreta como:

- $v = 0$: gobierno puramente pragmático, prioriza eficiencia.
- v bajo: gobiernos pro-mercado, abiertos a la cooperación público-privada.

- v alto: gobiernos nacionalistas o estratégicos, con alta aversión a la pérdida de control.

El parámetro v funciona como un costo marginal subjetivo por unidad contratada, distorsionando la decisión de externalizar incluso cuando la eficiencia es evidente.

2.6.6. Heterogeneidad y rentabilidad esperada

La diferencia entre los tipos de gobierno $(v_H - v_L)$ impacta directamente en la estrategia óptima de SpaceX. Una mayor heterogeneidad eleva la renta informacional en el equilibrio de screening y reduce la rentabilidad del pooling, haciendo más probable que se opte por segmentar y excluir al tipo alto.

En términos analíticos, el umbral p^* aumenta con $v_H - v_L$, reflejando que, a mayor dispersión ideológica, se requiere una mayor proporción de gobiernos tipo alto para justificar un contrato común.

2.7. Aplicaciones estratégicas para SpaceX

El modelo desarrollado no solo permite caracterizar el comportamiento del gobierno frente a distintas ofertas contractuales, sino que también ofrece herramientas concretas para diseñar estrategias comerciales en contextos de contratación pública con riesgo institucional. A continuación se presentan sus principales aplicaciones estratégicas.

2.7.1. Segmentación y targeting de gobiernos

La existencia de un umbral crítico de autonomía v^* permite clasificar a los gobiernos en función de su disposición a contratar, brindando una base para segmentar mercados:

- **Gobiernos viables** $(v \leq v^*)$: representan oportunidades comerciales claras. Son más sensibles a mejoras en eficiencia, rapidez y precio.
- **Gobiernos no viables** $(v > v^*)$: rechazan la contratación externa salvo bajo esquemas simbólicos o con transferencia de tecnología. Requieren propuestas institucionalmente adaptadas.

La estimación de v puede realizarse a través de variables proxy como el discurso político, la legislación sobre contenido local, o el historial de contratos anteriores. Esto habilita un sistema de *scoring* institucional y una priorización objetiva de mercados.

2.7.2. Diseño de precios y estrategia comercial

La elección entre ofrecer un contrato único (pooling) o diseñar un menú diferenciado (screening) depende de la distribución esperada de tipos (p) y de los parámetros del entorno.

- Si $p < p^*$: conviene enfocar la estrategia en gobiernos tipo bajo, maximizando el margen a través de contratos selectivos.
- Si $p > p^*$: es preferible ofrecer un contrato estándar aceptable para ambos tipos, asegurando volumen a menor margen.

Este trade-off permite adaptar las decisiones de precio a las condiciones institucionales del país objetivo, evitando errores de sobreinversión en mercados ideológicamente cerrados.

2.7.3. Predicción de demanda esperada

Según el equilibrio que surge para un conjunto dado de parámetros (v_L, v_H, γ, p), puede anticiparse el volumen de contratación:

$$\text{Demanda esperada} = \begin{cases} 1 & \text{(pooling viable)} \\ 1 - p & \text{(solo tipo bajo)} \\ 0 & \text{(autarquía)} \end{cases}$$

Esta expresión permite planificar la capacidad productiva, ajustar la estrategia de entrada a nuevos mercados y proyectar ingresos esperados con base en indicadores institucionales.

2.7.4. Síntesis de resultados

El segundo modelo desarrollado en este trabajo caracteriza formalmente un entorno de contratación pública con información asimétrica, en el que el gobierno enfrenta un costo simbólico por delegar la provisión de bienes estratégicos en actores privados. Este costo, representado por un parámetro de valoración por la autonomía (v), introduce restricciones adicionales a la contratación que no dependen únicamente de la eficiencia tecnológica.

Se demuestra que, bajo estas condiciones, no puede sostenerse un equilibrio separador, y que los únicos regímenes factibles son: participación exclusiva del tipo más pragmático (screening), aceptación conjunta mediante contrato único (pooling), o rechazo completo de la oferta (autarquía). La existencia de cada uno de estos equilibrios está determinada por la ineficiencia estatal relativa (γ), la distribución de tipos (p) y la heterogeneidad en la valoración por autonomía.

A partir de esta estructura, el modelo permite derivar umbrales explícitos para la viabilidad y selección de estrategias contractuales, así como herramientas para segmentar mercados gubernamentales, anticipar escenarios de demanda y gestionar el riesgo institucional en sectores estratégicos. Estos resultados ofrecen una base analítica para entender cómo las restricciones simbólicas moldean las decisiones de contratación pública en contextos de sensibilidad política e ideológica.

Conclusiones

Esta tesis desarrolló un modelo bayesiano de competencia en cantidades con el objetivo de analizar decisiones estratégicas en el mercado de lanzamientos espaciales, incorporando distintos tipos de actores frente a un líder de mercado como SpaceX. Se propusieron dos escenarios analíticos: el primero, con un competidor privado cuyo tipo es desconocido; el segundo, con un actor estatal cuyo tipo determina su disposición a cumplir o revocar un contrato.

En el primer modelo, se examinó cómo un competidor privado, que posee información privada sobre su tipo—representado por su costo de inversión en investigación y desarrollo (I+D)—decide si ingresar o no al mercado. SpaceX, por su parte, observa una señal sobre dicha decisión y responde estratégicamente eligiendo una cantidad de producción. El equilibrio bayesiano resultante ilustra cómo el líder del mercado puede influir en la entrada del competidora través de la anticipación racional de sus decisiones productivas.

El segundo modelo se centra en una situación de contratación entre SpaceX y un gobierno con un tipo institucional privado, que refleja su valoración simbólica de la autonomía estatal. SpaceX, como oferente, diseña un menú de contratos con el objetivo de inducir revelación y lograr autoselección.

Ambos modelos evidencian cómo la presencia de información asimétrica condiciona las decisiones estratégicas, aunque de formas distintas. En el caso del competidor privado, la información privada afecta la estructura del mercado y las condiciones de entrada; mientras que en el caso del actor estatal, condiciona la sostenibilidad de la cooperación y el cumplimiento contractual. Esta comparación revela que cuando el actor involucrado es un gobierno, no sólo cambian las restricciones tecnológicas y económicas, sino que emergen restricciones políticas adicionales que deben ser incorporadas explícitamente en el diseño de los mecanismos de interacción.

En términos generales, esta tesis proporciona un marco formal que permite pensar la interacción entre actores públicos y privados en sectores estratégicos caracterizados por incertidumbre estructural. Al mostrar cómo varían los incentivos, restricciones y equilibrios en función del tipo de contraparte, se destaca la necesidad de adaptar las herramientas del diseño de mecanismos y la teoría de juegos a contextos institucionales complejos, en los que las decisiones no se rigen exclusivamente por criterios económicos.

El análisis se desarrolló bajo el supuesto de tipos discretos. Si bien esta simplificación permitió un tratamiento analítico tractable, limita la capacidad del modelo para capturar situaciones con señales graduales, múltiples dimensiones de información privada o dinámicas temporales, todas ellas relevantes en la práctica. Extender el marco a tipos continuos, juegos repetidos o entornos con aprendizaje permitiría incorporar fenómenos como reputación, renegociación e incentivos intertemporales, enriqueciendo significativamente el análisis estratégico.

Asimismo, el modelo no consideró la posibilidad de múltiples gobiernos contratantes o la existencia de competencia entre incumbentes, lo cual podría abrir nuevas dimensiones estratégicas vinculadas a la competencia por contratos internacionales, la cooperación interestatal o la fragmentación del mercado espacial. Además, se asumió que los contratos se cumplen en su totalidad o se revocan por completo, dejando fuera un espectro importante de escenarios con incumplimientos parciales, ajustes contractuales o renegociaciones, comunes en contratos de largo plazo y sectores de alta incertidumbre.

Finalmente, incorporar restricciones presupuestarias explícitas o calibrar los modelos con datos empíricos del sector espacial o de experiencias de contratos público-privados en industrias intensivas en I+D permitiría evaluar cuantitativamente estos fenómenos. Este enfoque abriría un camino prometedor para el diseño de mejores políticas públicas en sectores estratégicos, aportando herramientas formales para gestionar la interacción entre la innovación tecnológica, los incentivos económicos y las restricciones institucionales.

Anexo Modelo 1

Anexo A: Derivaciones Analíticas

Este anexo presenta el desarrollo detallado de todas las expresiones analíticas utilizadas en el cuerpo principal del trabajo. Se incluyen las funciones de beneficio, condiciones de incentivo, derivadas parciales, y comparaciones paramétricas para los distintos tipos de equilibrio.

A.1 Beneficios del Competidor

A.1.1 Caso de Éxito Tecnológico

Para un competidor exitoso (es decir, cuya inversión en I+D resultó efectiva), el costo marginal es:

$$c^{\text{éxito}} = c_E + \frac{q_c}{R}$$

La función de ingreso del competidor es:

$$\pi_c = (P - c^{\text{éxito}})q_c = \left(a - b(q_s + q_c) - c_E - \frac{q_c}{R}\right) q_c$$

Derivando respecto a q_c:

$$\frac{\partial \pi_c}{\partial q_c} = a - bq_s - 2bq_c - c_E - \frac{2q_c}{R}$$

Igualando a cero:

$$a - bq_s - 2bq_c - c_E - \frac{2q_c}{R} = 0$$

$$q_c^{\text{éxito}} = \frac{a - bq_s - c_E}{2b + \frac{2}{R}}$$

Sustituyendo en π_c:

$$\pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R) = \left(a - bq_s - c_E - \frac{1}{R} \cdot \frac{a - bq_s - c_E}{2b + \frac{2}{R}}\right) \cdot \frac{a - bq_s - c_E}{2b + \frac{2}{R}}$$

Simplificando:

$$\pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R) = \frac{R(a - bq_s - c_E)^2(bR + 1)}{(2bR + 2)^2}$$

A.1.2 Caso de Fracaso Tecnológico

El costo marginal es:

$$c^{\text{fracaso}} = c_E + c_L + \frac{1}{R}$$

Maximizando:

$$\pi_c = \left(a - bq_s - bq_c - c_E - c_L - \frac{1}{R}\right) q_c$$

FOC:

$$a - bq_s - 2bq_c - c_E - c_L - \frac{1}{R} = 0 \quad \Rightarrow \quad q_c^{\text{fracaso}} = \frac{a - bq_s - c_E - c_L - \frac{1}{R}}{2b}$$

Sustituyendo:

$$\pi_c^{\text{fracaso}}(q_s, R) = \frac{(a - bq_s - c_E - c_L - \frac{1}{R})^2}{4b}$$

A.2 Pagos Esperados Netos

- Tipo $\alpha_i \in \{\alpha_H, \alpha_L\}$ con inversión $R_j \in \{R_L, R_H\}$:

$$U_i(R_j) = \alpha_i \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R_j) + (1 - \alpha_i) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s, R_j) - F(R_j)$$

- No entrada (no produce tras observar resultado):

$$U_i^{\text{no entra}}(R_j) = -F(R_j)$$

- Entrada con éxito:

$$U_i^{\text{éxito}} = \pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R_j) - F(R_j)$$

- Entrada con fracaso:

$$U_i^{\text{fracaso}} = \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s, R_j) - F(R_j)$$

A.3 Cantidades Óptimas de SpaceX

Sea la función de ingreso de SpaceX:

$$\pi_s = (P - c_s)q_s = (a - b(q_s + q_c) - c_s)\, q_s$$

Derivando respecto a q_s:

$$\frac{d\pi_s}{dq_s} = a - 2bq_s - bq_c - c_s$$

FOC:

$$q_s^* = \frac{a - bq_c - c_s}{2b}$$

Casos relevantes:

- $q_s^{L,0}$: cantidad de SpaceX si cree que es tipo bajo con certeza.
- $q_s^{H,1}$: cantidad si cree que es tipo alto con certeza.
- $q_s^{L,p}$, $q_s^{H,p}$: cantidades si cree que está en pooling (con probabilidad μ).

A.4 Derivadas Clave de $\pi_c^{\text{éxito}}$

Dado:

$$\pi_c^{\text{éxito}}(q_s, R) = \frac{R(a - bq_s - c_E)^2(bR + 1)}{(2bR + 2)^2}$$

A.4.1 Derivada parcial respecto a R

Definimos $A = a - bq_s - c_E$. Entonces:

$$\frac{\partial \pi_c^{\text{éxito}}}{\partial R} = A^2 \cdot \frac{(2bR + 1)(2bR + 2) - 4bR(bR + 1)}{(2bR + 2)^3}$$

A.4.2 Derivada parcial respecto a q_s

$$\frac{\partial \pi_c^{\text{éxito}}}{\partial q_s} = -2b \cdot \frac{RA(bR + 1)}{(2bR + 2)^2}$$

A.4.3 Derivada total respecto a R

Considerando que q_s depende de R:

$$\frac{d\pi_c^{\text{éxito}}}{dR} = \frac{\partial \pi}{\partial R} + \frac{\partial \pi}{\partial q_s} \cdot \frac{dq_s}{dR}$$

(Si se conoce $\frac{dq_s}{dR}$, se puede calcular explícitamente.)

A.5 Condiciones de Incentivo

A.5.1 Tipo alto no desea imitar al tipo bajo

$$\alpha_H \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{H,1}, R_H) + (1-\alpha_H) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{H,1}, R_H) \geq \alpha_H \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,0}, R_L) + (1-\alpha_H) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,0}, R_L)$$

A.5.2 Tipo bajo no desea imitar al tipo alto

$$\alpha_L \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,0}, R_L) + (1-\alpha_L) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,0}, R_L) \geq \alpha_L \cdot \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{H,1}, R_H) + (1-\alpha_L) \cdot \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{H,1}, R_H)$$

A.3 Derivadas Relevantes

A.3.1 Derivada de la función de beneficio exitoso respecto a R

Sea $A = a - bq_s - c_E$:

$$\frac{\partial \pi_c^{\text{éxito}}}{\partial R} = A^2 \cdot \frac{(2bR+1)(2bR+2) - 4bR(bR+1)}{(2bR+2)^3}$$

A.3.2 Derivada total respecto a R (con respuesta de q_s)

$$\frac{d\pi_c^{\text{éxito}}}{dR} = \frac{\partial \pi}{\partial R} + \frac{\partial \pi}{\partial q_s} \cdot \frac{dq_s}{dR}$$

A.4 Derivadas comparativas

A.4.1 Incentivo del tipo alto respecto a α_H

$$\frac{d}{d\alpha_H}(U_H^S - U_H^P) = \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{H,1}, R_H) - \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,p}, R_L) - \left[\pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{H,1}, R_H) - \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,p}, R_L)\right]$$

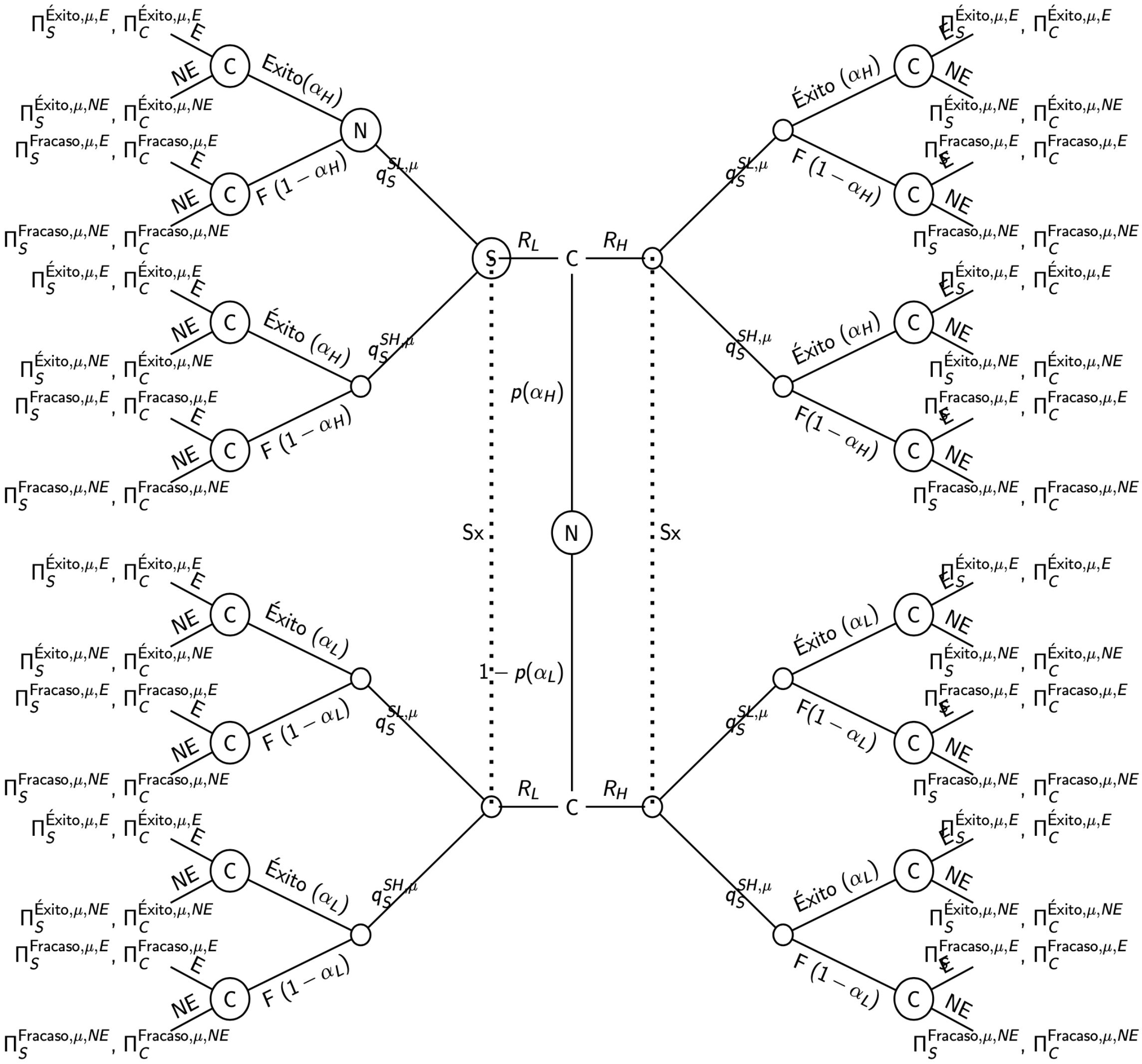
A.4.2 Incentivo del tipo bajo respecto a α_L

$$\frac{d}{d\alpha_L}(U_L^P - U_L^S) = \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,p}, R_L) - \pi_c^{\text{éxito}}(q_s^{L,0}, R_L) - \left[\pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,p}, R_L) - \pi_c^{\text{fracaso}}(q_s^{L,0}, R_L)\right]$$

A.5 Otras expresiones clave

- Costo fijo de inversión: $F(R) = \delta R + \gamma$
- Pago neto en caso de no entrada: $\pi_c^{\text{no entra}} = -F(R)$

A.6 Juego de información asimétrica entre SpaceX y sus competidores



.

Anexo B: Representaciones Gráficas

Este anexo reúne los gráficos que acompañan el análisis teórico del modelo competitivo. Las figuras permiten visualizar los incentivos de los distintos tipos, las regiones paramétricas donde se sostiene cada tipo de equilibrio, y los efectos de variaciones en los parámetros clave sobre las decisiones estratégicas de los jugadores.

Parámetro	**Separador**	**Pooling en R_H**	**Pooling en R_L**	**Monopolio Natural**
$\alpha_H - \alpha_L$	Alto	Bajo	Muy bajo o irrelevante	Bajo o irrelevante
δ	Bajo	Medio	Alto	Alto
$R_H - R_L$	Alto	Bajo	Bajo o irrelevante	Irrelevante
α_L	Bajo	Medio/Alto	Bajo	Bajo
α_H	Alto	Medio	Bajo	Bajo
c_E	Medio	Medio	Medio	Alto
c_L	Alto	Bajo	Medio	Alto
γ	Medio	Medio	Medio	Alto

La tabla anterior resume, de manera cualitativa, qué valores relativos de los parámetros favorecen la existencia de cada tipo de equilibrio. Un valor “alto” indica que ese parámetro, al incrementarse, tiende a reforzar las condiciones necesarias para sostener dicho equilibrio. Por ejemplo, un α_H alto favorece el equilibrio separador porque aumenta la expectativa de éxito del tipo alto, mientras que un c_E alto favorece el monopolio natural porque reduce la rentabilidad de cualquier intento de entrada. En cambio, un valor “bajo” sugiere que dicho equilibrio se vuelve más probable cuando ese parámetro adopta valores reducidos. Es importante notar que estas clasificaciones son relativas: lo relevante no es el valor absoluto del parámetro, sino su efecto sobre las condiciones de incentivo y las decisiones estratégicas de los jugadores en el modelo.

Anexo C: Análisis Gráfico y Representaciones Visuales

Este anexo presenta las representaciones visuales que ilustran las propiedades estratégicas del modelo, incluyendo incentivos cruzados, comparaciones paramétricas y zonas de equilibrio. Cada gráfico se acompaña de un comentario que explica su relevancia y conexión con el cuerpo analítico del trabajo.

C.1 Incentivo del Tipo Alto a Separarse

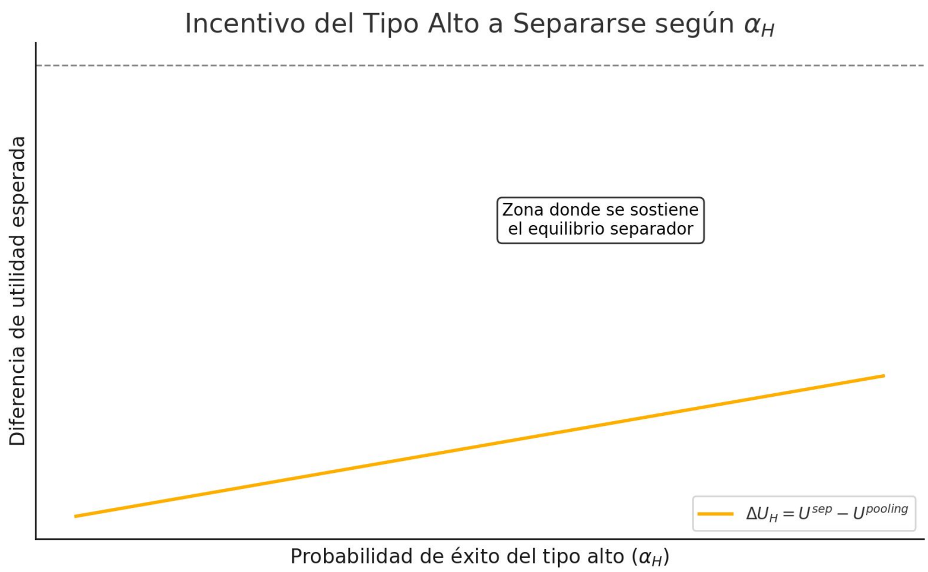


Figura 1: Incentivo del tipo alto a separarse en función de α_H

Este gráfico representa la diferencia de utilidad esperada del tipo alto entre separarse (elegir R_H) y permanecer en pooling. Cuando la curva está por encima de cero, el tipo alto prefiere revelarse mediante una inversión alta. El gráfico muestra cómo este incentivo aumenta con la probabilidad de éxito α_H, reflejando que a mayor probabilidad de que su inversión funcione, más le conviene al tipo alto distinguirse.

C.2 Incentivo del Tipo Bajo frente a R_H

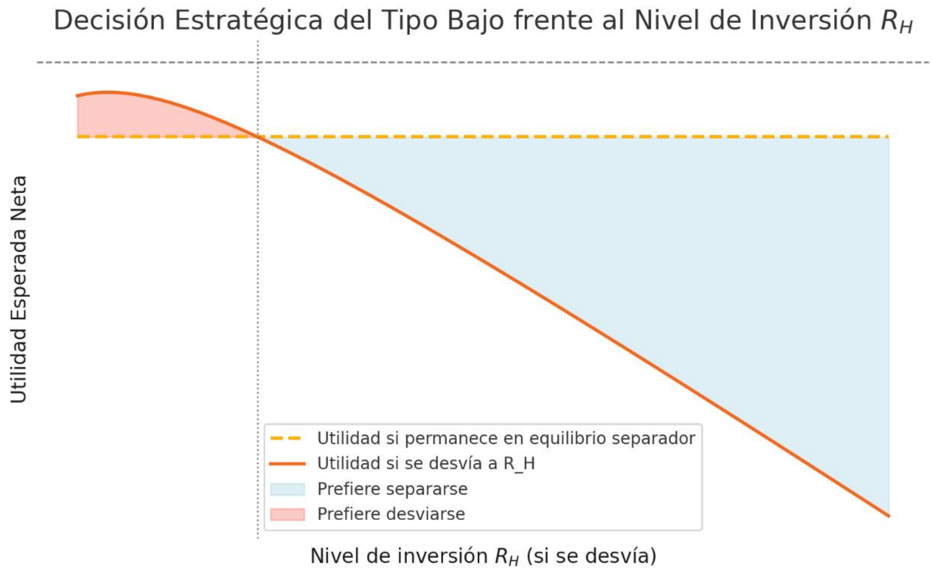


Figura 2: Decisión estratégica del tipo bajo frente al nivel de inversión R_H

Aquí se compara la utilidad esperada del tipo bajo si permanece en el equilibrio separador (línea discontinua) con la utilidad que obtendría si imita al tipo alto invirtiendo R_H. La intersección de ambas curvas define el umbral de R_H a partir del cual al tipo bajo le conviene quedarse en el pooling. Esta figura ilustra que cuanto mayor sea el costo de inversión R_H, menos incentivo tiene el tipo bajo para desviarse, lo que fortalece la posibilidad de un equilibrio separador.

C.3 Regiones de Equilibrio en el Plano Paramétrico

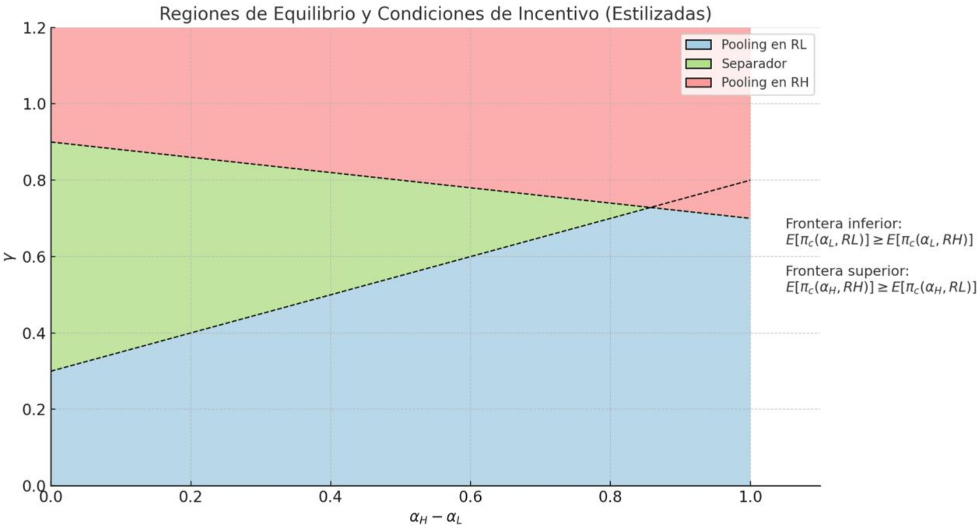


Figura 3: Regiones de equilibrio y condiciones de incentivo

El gráfico presenta un mapeo estilizado de las condiciones de incentivo en el espacio paramétrico $(\alpha_H - \alpha_L, \gamma)$. Cada color representa la región en que se sostiene un tipo distinto de equilibrio: pooling en R_L, equilibrio separador, y pooling en R_H. Las fronteras negras corresponden a las condiciones de incentivo que determinan la preferencia relativa por separarse o permanecer agrupado. La lógica es la siguiente: - Para bajos valores de γ y poca diferencia entre tipos, ambos prefieren invertir bajo: pooling en R_L. - Cuando γ no es ni muy alto ni muy bajo y la heterogeneidad entre tipos es moderada, puede sostenerse un equilibrio separador. - Para altos valores de γ, la penalidad ante fracaso desalienta al tipo bajo a separarse, favoreciendo pooling en R_H.

Anexo Modelo 2

Anexo A: Derivaciones formales del modelo

A.5. Utilidad de reserva del gobierno

Cuando el gobierno produce internamente, resuelve:

$$\max_{q} \left\{ q - \gamma \cdot \frac{cq^2}{2} \right\}.$$

Condición de primer orden:

$$\frac{d}{dq}\left[q - \gamma \cdot \frac{cq^2}{2}\right] = 1 - \gamma c q = 0 \quad \Rightarrow \quad q^{\text{int}} = \frac{1}{\gamma c}.$$

Sustituyendo en la función objetivo:

$$B = \frac{1}{\gamma c} - \gamma \cdot \frac{c}{2} \cdot \left(\frac{1}{\gamma c}\right)^2 = \frac{1}{2\gamma c}.$$

A.6. Equilibrio 1: Solo tipo bajo contrata

Se parte de la restricción de participación del tipo bajo activa:

$$(1 - v_L)q_L - P_L = \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad P_L = (1 - v_L)q_L - \frac{1}{2\gamma c}.$$

El problema de SpaceX se reduce a:

$$\max_{q_L}(1 - p)\left[P_L - \frac{cq_L^2}{2}\right] = (1 - p)\left[(1 - v_L)q_L - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{cq_L^2}{2}\right].$$

Condición de primer orden:

$$\frac{d\Pi_1}{dq_L} = (1 - p)\left[(1 - v_L) - cq_L\right] = 0 \quad \Rightarrow \quad q_L^* = \frac{1 - v_L}{c}.$$

Reemplazando en el precio óptimo:

$$P_L^* = \frac{(1 - v_L)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Beneficio esperado:

$$\Pi_1^* = (1-p)\left[\frac{(1-v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}\right].$$

Verificación de que el tipo alto no acepta:

$$(1-v_H)q_L^* - P_L^* = \frac{(1-v_L)(v_L-v_H)}{c} + \frac{1}{2\gamma c} < \frac{1}{2\gamma c}.$$

(estricta porque $v_H > v_L$).

A.7. Equilibrio 2: Pooling

Restricción de participación del tipo alto activa:

$$(1-v_H)q - P = \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad P = (1-v_H)q - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Problema de SpaceX:

$$\max_q \left[P - \frac{cq^2}{2}\right] = (1-v_H)q - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{cq^2}{2}.$$

Condición de primer orden:

$$(1-v_H) - cq = 0 \quad \Rightarrow \quad q^* = \frac{1-v_H}{c}.$$

Precio óptimo:

$$P^* = \frac{(1-v_H)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Beneficio:

$$\Pi_2^* = \frac{(1-v_H)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Verificación de que el tipo bajo también acepta:

$$(1 - v_L)q^* - P^* = \frac{(1 - v_H)(v_H - v_L)}{c} + \frac{1}{2\gamma c} > \frac{1}{2\gamma c}.$$

A.8. Equilibrio 3: Autarquía

SpaceX intenta ofrecer un contrato que extrae toda la renta informacional al tipo más favorable:

$$(1 - v_L)q - P = \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad P = (1 - v_L)q - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Beneficio:

$$\Pi_S = P - \frac{cq^2}{2} = (1 - v_L)q - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{cq^2}{2}.$$

Condición de primer orden:

$$(1 - v_L) - cq = 0 \quad \Rightarrow \quad q^* = \frac{1 - v_L}{c}.$$

Sustituyendo:

$$\Pi_S = \frac{(1 - v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Para que esto sea negativo:

$$\frac{(1 - v_L)^2}{2c} < \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad (1 - v_L)^2 < \frac{1}{\gamma} \quad \Rightarrow \quad v_L > 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}.$$

Esa es la condición de autarquía.

A.9. Derivación del umbral crítico de autonomía v^*

El umbral v^* representa el valor máximo de v para el cual SpaceX puede ofrecer un contrato viable —es decir, que sea aceptado por el gobierno y le genere beneficios no negativos. Para derivarlo, se analiza el caso límite en el que SpaceX intenta contratar al tipo más favorable (v bajo), extrayendo exactamente su utilidad de reserva.

Se parte de la condición de participación al umbral:

$$(1-v)q - P = \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad P = (1-v)q - \frac{1}{2\gamma c}.$$

El beneficio de SpaceX es:

$$\Pi_S = P - \frac{cq^2}{2} = (1-v)q - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{cq^2}{2}.$$

Maximizando con respecto a q:

$$\frac{d\Pi_S}{dq} = (1-v) - cq = 0 \quad \Rightarrow \quad q^* = \frac{1-v}{c}.$$

Sustituyendo en la expresión del beneficio:

$$\Pi_S = (1-v)\cdot\frac{1-v}{c} - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{c}{2}\cdot\left(\frac{1-v}{c}\right)^2 = \frac{(1-v)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c} - \frac{(1-v)^2}{2c}.$$

Agrupando términos:

$$\Pi_S = \frac{(1-v)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Para que SpaceX esté dispuesto a ofrecer este contrato, se requiere que el beneficio sea no negativo:

$$\frac{(1-v)^2}{2c} \geq \frac{1}{2\gamma c} \quad \Rightarrow \quad (1-v)^2 \geq \frac{1}{\gamma} \quad \Rightarrow \quad v \leq 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}.$$

Por lo tanto, definimos el umbral crítico como:

$$v^* = 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}.$$

Este resultado implica que cuando $v > v^*$, ningún contrato aceptable para el gobierno genera ganancias para SpaceX. A partir de este umbral se delimitan las regiones de viabilidad en el espacio paramétrico del modelo.

A.10. Derivación de p^*

SpaceX es indiferente entre screening y pooling cuando:

$$\Pi_1^* = \Pi_2^*.$$

Reemplazando:

$$(1-p)\left[\frac{(1-v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}\right] = \frac{(1-v_H)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}.$$

Resolviendo para p:

$$p^* = 1 - \frac{\Pi_2^*}{\Pi_1^*}.$$

Anexo B: Valores explícitos bajo cada tipo de equilibrio

Variable	Solo Tipo Bajo	Pooling	Autarquía
q^*	$\frac{1-v_L}{c}$	$\frac{1-v_H}{c}$	$\frac{1}{\gamma c}$
P^*	$\frac{(1-v_L)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}$	$\frac{(1-v_H)^2}{c} - \frac{1}{2\gamma c}$	0
Π_S	$(1-p)\left[\frac{(1-v_L)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}\right]$	$\frac{(1-v_H)^2}{2c} - \frac{1}{2\gamma c}$	0
$U_G(v_L)$	$\frac{1}{2\gamma c}$	$\frac{(1-v_L)(v_H-v_L)}{c} + \frac{1}{2\gamma c}$	$\frac{1}{2\gamma c}$
$U_G(v_H)$	$< \frac{1}{2\gamma c}$	$\frac{1}{2\gamma c}$	$\frac{1}{2\gamma c}$

Cuadro 1: Valores explícitos bajo cada tipo de equilibrio

Anexo C: Gráficos del modelo

C.11. Regiones de equilibrio en el plano (γ, v)

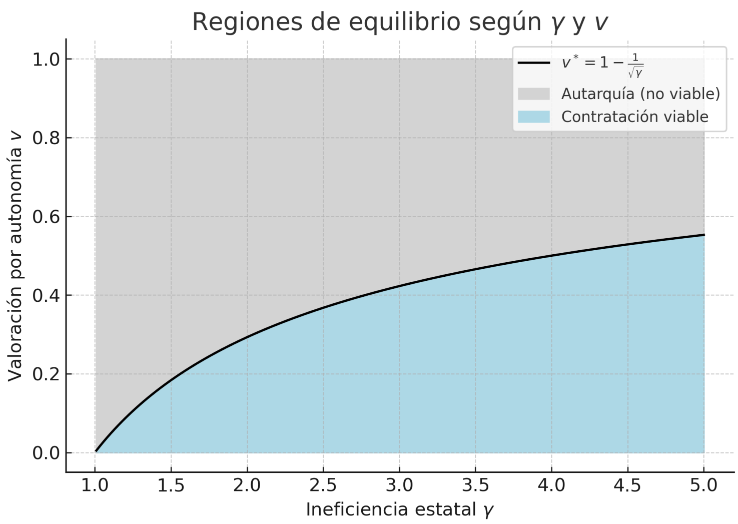


Figura 4: Regiones de equilibrio según ineficiencia estatal γ y valoración por autonomía v

La curva $v^*(\gamma) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ separa la región de autarquía (por encima de la curva) de la región de contratación viable (por debajo). Cuando $v_L < v^* < v_H$, solo el tipo bajo acepta. Cuando $v_H \leq v^*$, ambos tipos son contratables.

C.12. Crecimiento de v^* con γ

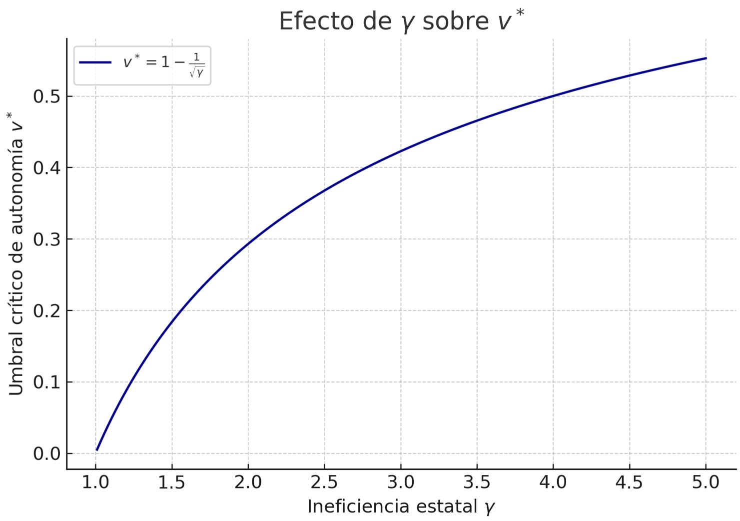


Figura 5: Relación entre el umbral crítico de autonomía v^* y la ineficiencia estatal γ

La función $v^*(\gamma)$ es creciente y cóncava. Refleja que, a mayor ineficiencia estatal, más tipos de gobierno caen dentro de la región de contratación viable.

C.13. Selección de estrategia según probabilidad p

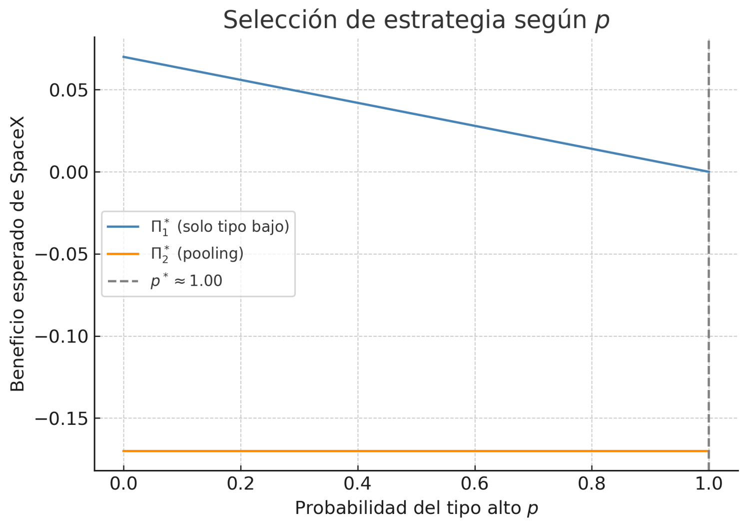


Figura 6: Selección de estrategia óptima según la probabilidad del tipo alto p

El punto de corte p^* indica la probabilidad a partir de la cual SpaceX prefiere ofrecer un contrato común (pooling). A la izquierda de p^*, es más rentable excluir al tipo alto y ofrecer un contrato dirigido solo al tipo bajo.

C.14. Zonas de equilibrio según γ y v_H (con $v_L = 0{,}2$)

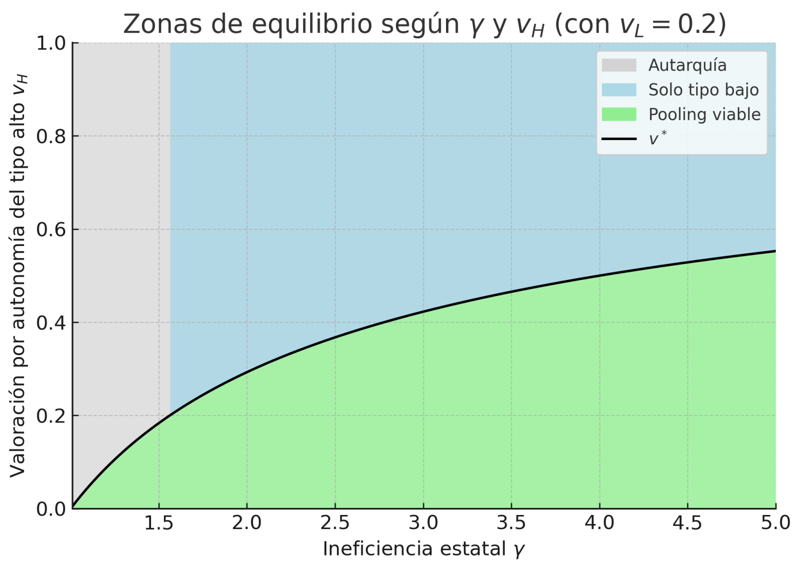


Figura 7: Zonas de equilibrio según γ y v_H, con $v_L = 0{,}2$

La figura ilustra las distintas regiones del espacio paramétrico según el valor de γ y del tipo alto v_H, manteniendo fijo $v_L = 0{,}2$. La curva negra representa el umbral crítico $v^*(\gamma) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$.

- **Zona gris — Autarquía**: $v_H > v^*$: ningún tipo acepta el contrato.
- **Zona celeste — Solo tipo bajo**: $v_L < v^* < v_H$: solo el tipo bajo acepta.
- **Zona verde — Pooling viable**: $v_H \leq v^*$: ambos tipos aceptan el mismo contrato.

...

...

Bibliografía

Fudenberg, D. and Tirole, J. (1986). A "signal-jamming"theory of predation. *RAND Journal of Economics*, 17(3):366–376.

Laffont, J.-J. and Martimort, D. (2002). *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model.* Princeton University Press, Princeton, NJ.

Laffont, J.-J. and Tirole, J. (1993). *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation.* MIT Press.

Spence, M. (1973). Job market signaling. *Quarterly Journal of Economics*, 87(3):355–374.