

---

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Economía**



**Estrategias Óptimas de Mercado en el Estado de Nuevo León: un estudio aplicado al mercado de la cirugía refractiva**

*"El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir"*  
Albert Einstein

**Por: José de Jesús Rocha Salazar**

**Asesor: Vitaly Kalashnikov**

**Tesis**

**Para Obtener el Grado de Maestría en Economía con Orientación  
en Economía Industrial**

**Agosto 2013**

## CONTENIDO

Capítulo	Página
1. Introducción. . . . .	3
2. Mercado de Cirugía Refractiva en Nuevo León . . .	5
2.1 Estructura. . . . .	8
2.2 Conducta . . . . .	12
3. Estructura y conducta de la industria de anteojos. . . . .	13
4. Marco Teórico. . . . .	14
4.1 Antecedentes . . . . .	14
4.2 Marco Matemático. . . . .	18
4.2.1 Caso continuo con industria del sustituto muy competitiva . . . . .	21
4.2.2 Caso estático con industria del sustituto muy competitiva . . . . .	32
4.2.3 Caso estático con industria del sustituto oligopólica . . . . .	41
5. Estimación . . . . .	45
6. Conclusiones. . . . .	56
7. Referencia . . . . .	58
8. Bibliografía. . . . .	59
9. Apéndice . . . . .	60

## 1. Introducción

El mercado de especialidades médicas es un tema poco estudiado y analizado en sus diferentes áreas. En México, distintas instituciones capacitadas con el equipo adecuado ofrecen día a día diversos servicios de especialidades. Ejemplos de estos son: cirugía plástica, cirugía refractiva, servicios radiológicos, microbiología, oncología, neurocirugía, etc. Generalmente el equipo necesario para realizar estas actividades es costoso y se requiere su importación.

En esta tesis nos enfocaremos en el estudio de los precios en el mercado de cirugía refractiva contenida dentro de la especialidad de Oftalmología. Según un estudio realizado por el INEGI, las discapacidades visuales y las motrices, son las más frecuentes en la población Mexicana. La cirugía refractiva atiende discapacidades visuales como son miopía, hipermetropía y astigmatismo; para realizar este tipo de cirugías se requiere de un equipo especializado y de alto costo, al que sólo un número contado de oftalmólogos tienen acceso.

Los oftalmólogos se enfrentan a una población en constante crecimiento de la cual estima la Sociedad Mexicana de Oftalmología que el 47.23 % sufre alguno de estos tres tipos de discapacidad visual.

Del citado porcentaje de personas con errores refractivos, unos optan por usar medidas correctivas como son lentes de contacto y anteojos, y otros

deciden deshacerse de estos rudimentos de forma permanente sometiéndose a la cirugía refractiva. En el año de 1980 llega a Nuevo León la era de la cirugía refractiva con una técnica manual llamada queratotomía radiada. El precio inicial al que se pensaba cobrar era en 3000 dólares. Más adelante en 1994 se inicia la era de la cirugía láser con una técnica llamada PRK y en el 2002 se modifica la técnica y se llama lasik <sup>(1)</sup>.

La dinámica de la investigación será analizar el mercado de la cirugía refractiva considerando primero la existencia de un solo prestador de servicio (monopolio), se planteará un problema de control óptimo en caso continuo en el que se buscará la producción óptima de cirugía refractiva (variable de control) y la producción del bien sustituto (variable de estado) que maximicen los beneficios del monopolista en horizonte finito, sujeto a la restricción del flujo del sustituto; después plantearemos un problema de oligopolio tipo Cournot en el que consideraremos la presencia de “ $n$ ” prestadores de servicio que buscan la producción óptima que maximice sus beneficios en un periodo de tiempo, sujeto a la restricción del flujo del sustituto; por último consideraremos el problema de una empresa pública que maximiza el bienestar social en el mercado de cirugía refractiva, considerando el flujo del sustituto. Finalmente, haremos un análisis parecido en el caso estático en distintos escenarios de mercado.

*Todo lo anterior, con el objeto de comprobar o refutar la hipótesis de que el precio cobrado en la Industria de cirugía refractiva es más elevado que el que cobraría un empresa pública como el IMSS interesada en maximizar el bienestar social; inclusive que el precio de la industria es más elevado que el precio teórico de Oligopolio.*

## 2. Mercado de cirugía refractiva en Nuevo León

Según datos del INEGI, se tienen las siguientes estimaciones de personas con errores refractivos para el año 2010.

**Tabla 1: Estadísticas de personas con discapacidad visual**

Edades	Población total	Requieren servicio de optometría	%
0 a 4	10,528,322	473,775	4.5
5 a 14	21,987,474	5,716,743	26
15 a 44	53,479,571	16,043,871	30
45 en adelante	26,341,171	26,341,171	100
<b>Total</b>	<b>112,336,538</b>	<b>48,575,560</b>	<b>43.24</b>

*Fuente: Estadísticas del INEGI (Un servicio de optometría se refiere a corregir el problema visual)*

Se observa que el 43.24% de la población tiene deficiencia visual, pero sólo cerca del 0.3% de la población se somete a una cirugía refractiva.

Los precios elevados en la industria refractiva y la constante competencia del bien sustituto, hacen que este porcentaje sea tan pequeño.

La Industria de Cirugía Refractiva ofrece satisfacer una necesidad importante entre la población, una necesidad que es considerada vital para la mayoría. Por otro lado, no existe un gran número de prestadores de este servicio por las diversas barreras que impiden que nuevos competidores ingresen al mercado.

La industria actual de cirugía refractiva tiene un comportamiento oligopólico debido a las siguientes barreras de entrada <sup>(2)</sup>:

- La Secretaría de Salud requiere que el médico tenga un certificado que haga constar una subespecialidad en córnea y una subespecialidad en cirugía refractiva.
- Los especialistas tiene que tomar cursos de capacitación en el extranjero, sobre las nuevas técnicas quirúrgicas.
- El alto costo en el equipo necesario para hacer la cirugía. El costo aproximado de 450 000 dólares.
- El permiso de importación del equipo.

La industria de cirugía refractiva en el estado de Nuevo León es relativamente joven en comparación con otras industrias de especialidades médicas.

Una cirugía refractiva es un procedimiento quirúrgico, que tiene como objetivo eliminar los problemas de errores refractivos como son Hipermetropía, Miopía y Astigmatismo, errores que no son considerados como un problema de salud grave para el IMSS. Esta institución ve una cirugía refractiva más bien como una cirugía estética, y no como un procedimiento relevante, digno de incluirlo en su repertorio quirúrgico.

La cirugía refractiva es una industria cuyo funcionamiento se basa en la disponibilidad de tecnología necesaria para proporcionar el servicio y la aparición de nuevas técnicas para realizar el procedimiento.

Esto obliga a que los competidores a través del tiempo adquieran las innovaciones tecnológicas y aprendan las nuevas técnicas, y aquellos competidores que no se ajusten a las exigencias del avance, tendrán que salir del mercado. Debido a esta situación, la industria de cirugía refractiva vive una constante salida y entrada de competidores y los precios actualmente manejados son altos. Esta situación hace que los consumidores, busquen sustituir el procedimiento quirúrgico, con otros instrumentos que corrijan su problema visual, como son los anteojos y lentes de contacto.

## 2.1 Estructura

Cuando llegó la cirugía refractiva a Nuevo León en el año de 1982, sólo ciertos médicos realizaban el procedimiento de forma clandestina usando las instalaciones de algunos quirófanos privados; ninguna clínica, Centro Médico u Hospital realizaba este procedimiento de forma legal. En el año de 1992 algunos oftalmólogos entre ellos Ramiro Saldaña y Luis Garza, empezaron a hacer tratos, con la Secretaría de Salud para realizar la cirugía refractiva de forma legal. Así, en el año de 1994 la Secretaría de Salud y la Sociedad Mexicana de Oftalmología legalizaron este procedimiento quirúrgico.

Inicialmente había 3 competidores ofreciendo este procedimiento quirúrgico de forma legal en el Estado de Nuevo León.

Las fechas exactas de establecimientos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Consolidación de la Industria de Cirugía Refractiva**

<b>Fechas de Establecimiento</b>	
<b>Provisión Láser</b>	Febrero 1994
<b>Gocam</b>	Enero 1994
<b>Dr. De la Garza Viejo</b>	Marzo 1994

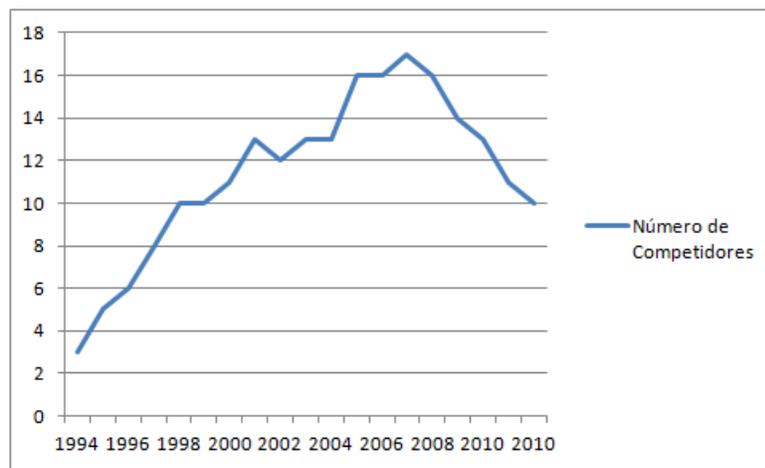
*Fuente: Elaboración propia con datos de la SMO*

Con el tiempo más competidores fueron involucrándose en la Industria, pero este número nunca ha sobrepasado los 20, esto se debe en gran medida a los requisitos antes establecidos.

La barrera más importante en esta Industria, es el alto costo del equipo que en la mayoría de los casos es adquirido por una clínica y al contado.

En la siguiente gráfica podemos ver la forma en que el número de competidores ha variado en el tiempo:

**Gráfica 1: Evolución en el número de competidores**



*Fuente: Elaboración propia con información privada de la SMO*

En esta gráfica, se puede observar de mejor manera como el número de competidores inicialmente fue creciente, alcanzado un máximo y después decreciendo hasta el tiempo actual.

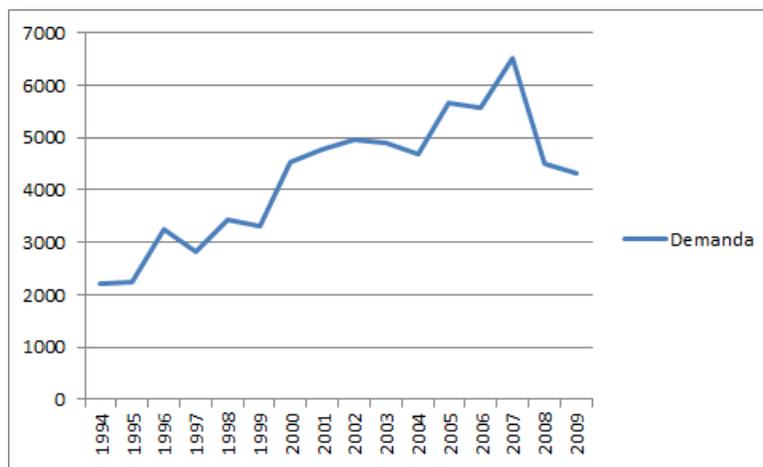
También se puede observar claramente el corto lapso de existencia que tiene la Industria de Cirugía Refractiva en el Estado de Nuevo León.

La Industria de la cirugía refractiva ha tenido un sustituto poderoso desde su nacimiento, un sustituto cuya industria es más antigua que la cirugía.

Al inicio, la cirugía refractiva era una novedad e imponía una moda dado que ofrecía a los consumidores la oportunidad de deshacerse “definitivamente” de sus anteojos y lentes de contacto, novedad que ayudó a que el número de competidores se incrementara con el tiempo. Pero el mercado de anteojos no se quedó con los brazos cruzados e inmediatamente comenzó a invadir con publicidad, ofreciendo un producto que no sólo corregía un problema visual, sino que también era un accesorio que imponía una moda y mejoraba el aspecto físico. Con el tiempo, los consumidores apreciaban a los anteojos como un accesorio estético y optaban por seguir utilizándolo a someterse a la cirugía y fue entonces, que la Industria quirúrgica comenzó a desvanecerse, sumándose a esta reducción de mercado, el incremento de noticias negativas sobre la inseguridad en la ciudad de Monterrey en el 2008.

En cuanto a la demanda de cirugía refractiva, podemos ver la siguiente evolución a través de los años:

**Gráfica 2: Evolución en la demanda de Cirugía Refractiva**



*Fuente: Elaboración propia con información privada de la SMO*

Se puede observar que la demanda en el Estado de Nuevo León fue creciente en los primeros años y a partir del año 2008 comenzó su descenso. Además de la competencia por la Industria de Anteojos, los oftalmólogos en el estado coinciden en que parte de este decremento en la demanda, podría explicarse por el incremento en la inseguridad en el Estado y por la crisis iniciada en el 2008.

En la actualidad prevalecen un total de 10 competidores en esta industria.

## 2.2 Conducta

Se puede ver que a través del tiempo la cantidad de competidores en la industria no ha sido constante, esto habla de una fuerte competencia entre los participantes interesados en permanecer en el mercado y captar la mayor demanda posible. Desde el inicio y hasta la actualidad, la estrategia utilizada ampliamente para captar mayor demanda es la publicidad en medios de comunicación como radio, televisión y medios impresos, para operar la cantidad proyectada por la clínica. A una clínica refractiva le resulta más fácil manipular la cantidad a operar, ya que el procedimiento dura sólo de 3 a 5 minutos, y los oftalmólogos son muy inflexibles a mover precios.

Las campañas publicitarias han ido enfocadas en tratar de hacer ver a la población las ventajas de la cirugía sobre utilizar anteojos, presentan el procedimiento quirúrgico como una forma de deshacerse de sus molestos lentes y dejar de realizar gastos regulares en la adquisición de nuevos anteojos. Inicialmente el servicio no era conocido y fueron los pioneros en esta industria en el año de 1994, que comenzaron a lanzar una campaña publicitaria, para dar a conocer el producto y ganar la confianza de la comunidad.

Cabe mencionar que en el año de 1982 se comenzaron hacer cirugías de forma ilegal en México y en Nuevo León, y la publicidad sólo se restringía a pacientes cercanos y conocidos de médicos.

En esos tiempos se utilizaba un aparato llamado **Excimer Láser** que era importado de Estados Unidos (no legalizado).

Fue hasta el año de 1990 que la cirugía se legalizó en Canadá, después en México en el año de 1994 y por último en Estados Unidos en 1996.

Los competidores han destinado parte importante de sus ingresos a la publicidad para operar la cantidad proyectada y han adoptado esto como una estrategia crucial que garantiza su participación viva en el mercado.

### **3. Estructura y Conducta de la Industria de Anteojos**

La industria de anteojos existe desde mucho antes que la industria quirúrgica. Está compuesta por el conjunto de ópticas distribuidas en el área metropolitana que ofrecen variedad de armazones, micas y accesorios para formar la unidad final conocida como antejo.

A diferencia de la cirugía refractiva, existe una diversidad de anteojos de distintos colores, material de armazón, material de la mica y marca, que satisfacen el mismo problema refractivo. En este sentido, podemos decir que existe diferenciación de producto en la Industria optométrica en cuanto a material y diseño de los anteojos.

A pesar del multiforme diseño y material de los anteojos, no existe óptica que maneje marcas o diseños exclusivos.

Todas las ópticas tienen la posibilidad de surtir la misma variedad de anteojos, y lo hacen en función de lo que imponga la moda y las preferencias del cliente.

En base a lo anterior, podemos descartar una estructura de competencia monopolística en la industria de anteojos. La estructura es más bien oligopólica, donde cada una de las ópticas posee los mismos elementos para competir, sin exclusividades de marcas o diseños, y donde cada variedad de anteojos posee su función de demanda específica.

Debido a la complejidad de determinar la función de demanda de cada variedad en la industria de anteojos y para fines de este escrito, supondremos una función de demanda única para los anteojos, en función de su precio y el precio del sustituto. El precio de anteojos será el promedio del precio de todas las variedades de anteojos, y la demanda, la cantidad total de anteojos consumidos sin hacer distinción entre marca o diseño.

#### **4. Marco Teórico**

##### 4.1 Antecedentes

El Oligopolio se encuentra a mitad de camino entre la competencia perfecta y el monopolio en lo que refiere al grado de competencia que se da en el mercado.

Es aquella estructura donde hay pocos vendedores, si son dos se denomina duopolio.

Dado que cada empresa se enfrenta a un número reducido de rivales, sus decisiones suelen afectar a cada uno de ellos, por lo que al maximizar beneficios deben tomar en cuenta la acción de sus rivales. Siempre que esto ocurre se dice que las empresas se comportan estratégicamente.

Uno de los primeros investigadores que desarrolló modelos de oligopolio fue Cournot en 1938, matemático francés que formalizó un modelo donde dos empresas poseen manantiales naturales eligen simultáneamente la cantidad de agua a producir. Ambas deciden la cantidad a producir sin saber la decisión de producción de la otra firma. No obstante, las empresas consideran que su competidor actúa de forma racional.

Bertrand (1883) critica a Cournot argumentando que los duopolistas no compiten en cantidades sino en precios. La solución del modelo es la misma que la solución competitiva. Cada duopolista sabe que si fija su precio levemente por debajo del precio de la otra firma se quedará con todo el mercado. Pero el otro duopolista tendrá la misma estrategia. El resultado es que ambos bajarán sus precios para competir hasta que sea igual al costo marginal.

De este modo la condición de equilibrio es la misma que en la situación competitiva.

Von Stackelberg (1934) desarrolló un modelo donde las empresas toman sus decisiones secuencialmente. En este modelo, existe una firma líder que decide la cantidad a producir, y un seguidor quien luego de observarla decide la suya. Las dos firmas producen de acuerdo a sus planes y el precio se determina según la demanda del mercado. El modelo supone que el líder conoce la función de costos del seguidor. En este sentido no hay problemas de información asimétrica relevantes (el seguidor puede o no conocer la función de costos del líder, pero esto no influye en la solución del modelo). Lo relevante es que el Líder es capaz de prever con precisión la reacción del seguidor ante cada posible nivel de producción que él decida.

En la medida que ambos conocen la función de demanda es posible saber, para el nivel de forma crucial de los supuestos informacionales: el líder conoce la función de costos del seguidor y tanto el líder como el seguidor conocen la función de demanda.

Una versión de este último modelo es el liderazgo en precios, en el cual existe un líder que fija un precio y una franja de competidores cuasicompetitivos. En la medida que el producto es homogéneo y no hay discriminación, no puede haber dos precios distintos. A dicho precio, el líder fija la cantidad,

produciendo el resto de las empresas la diferencia entre ésta y la demanda del mercado.

La solución del modelo se basa en la idea de que el líder adelanta la reacción del seguidor por cada posible precio que él decida. Debe notarse que la solución del modelo depende, al igual que en el modelo de Stackelberg, de los fuertes supuestos acerca de la información que maneja cada agente.

La característica común de los modelos anteriores es que se resuelven en caso estático. El caso estático ofrece una muy buena aproximación de la realidad, pero aún podemos acercarnos más a la realidad si tomamos en cuenta una variable extra en nuestro modelo, el tiempo. Sabemos que la realidad misma es compleja y que sólo podemos abstraer pequeños fragmentos de conocimiento mediante modelos simplificados.

La teoría del control óptimo desarrollada por un grupo de investigadores rusos y dirigidos por Pontryagin en los años 50's, ha sido aplicada en distintos campos de la ciencia en las que existe la necesidad de resolver problemas de optimización dinámica.

La teoría de control óptimo ha experimentado un notable desarrollo a lo largo de estos últimos años. Es un tanto complejo proporcionar un análisis imparcial de un área que aún está evolucionando; sin embargo, echando un vistazo al

pasado, pueden señalarse aquellos aspectos y avances más importantes que marcaron las pautas con las que se escribió dicha teoría de control.

La teoría de control óptimo nos permite resolver problemas dinámicos de naturaleza muy variada, donde la evolución de un sistema que depende del tiempo puede ser controlada en parte por las decisiones de un agente.

Este cumulo de ciencia ha sido aplicado a problemas dinámicos en Física, Biología, Ecología, etc. En Economía, existen diversos trabajos que tratan de maximizar los beneficios de un monopolista planteando el problema de control óptimo en horizonte finito o infinito, tal es el caso de **“Consumer information, product, quality, and seller reputation”** de Carl Shapiro (1982), y **“Exploitation of the Lobster Fishery”** por J.V. Henderson y M. Tugwell (1979).

El interés por la solución de problemas de optimización dinámica en el área de economía ha crecido rápidamente en estos últimos tiempos debido a los resultados importantes que se pueden obtener cuando se considera el tiempo dentro del modelo.

#### 4.2 Marco Matemático

Es muy conocido en teoría microeconómica que en el caso estático el precio ofrecido por un oligopolio en competencia tipo Cournot, es superior al precio ofrecido por una empresa pública interesada en maximizar el bienestar social.

Veremos qué pasa en el caso donde el problema se traslada a un caso dinámico sujeto a una restricción de flujo.

En esta sección plantearemos primeramente el problema considerando que existe sólo una empresa encargada de prestar el servicio especializado (monopolio), después consideraremos la presencia de “ $n$ ” competidores en el mercado y por último resolveremos el problema de la empresa pública.

Se estudiará el caso continuo de este problema, así como las condiciones necesarias y suficientes para garantizar la existencia de una solución que maximice la función objetivo en el periodo continuo, con el fin de comprobar la hipótesis de esta investigación. En todos los escenarios presentados, consideramos competencia tipo Cournot, ya que a las clínicas se les facilita más modificar cantidades que precios, por las razones antes dichas.

Para fines de análisis, incluimos en el modelo variables de costos por unidad que denotamos como  $C_1(t)$  y  $C_2(t)$  para la industria quirúrgica e industria optométrica, respectivamente.

Cada una de estas variables se construyó, considerando los siguientes aspectos <sup>(3)</sup>:

**Tabla 3: Costos de Cirugía Refractiva**

Elementos Considerados
Sueldo Instrumentista por unidad
Sueldo Oftalmólogo por unidad
Renta del equipo láser por unidad
Renta del cuarto operatorio por unidad
Consumo de energía eléctrica por unidad

*Nota: Cada cirugía refractiva dura entre 3 y 5 minutos.*

**Tabla 4: Costos de Anteojos**

Elementos Considerados
Sueldo Optometrista por unidad
Costo de armazón y mica por unidad
Renta del equipo optométrico por unidad
Renta del local por unidad
Consumo de energía eléctrica y agua por unidad

*Nota: Un Examen optométrico se realiza entre 15 y 20 minutos.*

Los costos fueron contruidos por La Sociedad de Oftalmología en base a la información disponible y pretenden ser una estimación de los costos por unidad.

#### 4.2.1 Caso continuo con industria del sustituto muy competitiva

##### Monopolio

Es bien sabido que el mercado de cirugía refractiva compite con la industria de anteojos desde sus orígenes. Los anteojos son un bien que corrige exactamente los mismos problemas visuales que la cirugía refractiva, pero de forma distinta.

En este sentido podemos considerar los anteojos como un bien sustituto, de tal forma que el paciente con problema refractivo, tiene que corregirse y optar por realizarse la cirugía o utilizar lentes.

Consideremos solamente la presencia de un prestador de servicio a la población.

Sea  $R(t)$ , la cantidad de personas que adquieren la cirugía refractiva, el bien ofrecido por el monopolista (cantidad misma que el monopolista producirá) en el instante  $t$ , donde  $R(t)$ , es una función continua y dos veces diferenciable en la variable  $t$ , esto es  $R(t) \in C^2$ .

Sea  $S(t)$ , la cantidad de personas que adquieren el bien sustituto en el instante “ $t$ ”, donde  $S(t)$ , es una función continua y dos veces diferenciable en la variable “ $t$ ”, esto es  $S(t) \in C^2$ .

Sea  $P(t)$ , el precio de la cirugía refractiva, una función de demanda inversa en el instante “ $t$ ” que depende de la cantidad demandada  $R(t)$  y de la cantidad de demanda del bien sustituto  $S(t)$ .

La dependencia de  $P(t)$  por  $R(t)$  y  $S(t)$ , es la típica relación que se ve en teoría microeconómica.

En este modelo, supondremos que una persona con problemas refractivos se corrige con algunos de los bienes sustitutos, y que no existe alguna otra medida alterna<sup>(4)</sup>.

De este modo, tenemos la siguiente relación:

$$P(t) = P[R(t), S(t)]$$

Con la siguiente relación con respecto a los argumentos:

$$\frac{\partial P(t)}{\partial R(t)} < 0 \qquad \frac{\partial P(t)}{\partial S(t)} < 0$$

Ahora, en caso discreto, el flujo de personas que adquieren el bien sustituto sigue la siguiente regla:

$$S_{t+1} = S_t + F(S_t) - R_t \quad (1)$$

Esto significa que la cantidad de personas que adquieren el bien sustituto en el tiempo “ $t+1$ ”, es igual a la cantidad de personas que adquirieron el bien en el tiempo “ $t$ ”, más un factor de crecimiento  $F(S_t)$ , menos la cantidad de personas a las que se les realizó la cirugía en el tiempo “ $t$ ”.

Cuando a una persona se le realiza la cirugía, ya no necesita corrección con anteojos en ningún momento en la etapa de adulto joven <sup>(5)</sup>.

Esto significa que la cantidad de cirugías hechas en el tiempo “ $t$ ”, reduce en la misma cuantía el crecimiento de la demanda del bien sustituto.

Si manipulamos un poco la ecuación, obtendremos la variación en la demanda del sustituto:

$$S_{t+1} - S_t = F(S_t) - R_t \quad (2)$$

De este modo, en el caso continuo, tendremos la siguiente variación en el bien sustituto con respecto al tiempo:

$$S'(t) = F[S(t)] - R(t) \quad (3)$$

Consideremos un periodo de tiempo que va desde  $t=0$  hasta  $t=T$ , y que el costo por unidad de producir depende del tiempo, esto es,  $C_1(t)$ .

Los beneficios obtenidos por el monopolista en el periodo desde  $t=0$  hasta  $t=T$ , están dados por la siguiente expresión:

$$\int_{t=0}^{t=T} e^{-rt} [P(R, S)R - C_1(t)R] dt$$

Donde el factor  $e^{-rt}$ , es el factor de descuento a través de tiempo.

Los beneficios del monopolista están sujetos a la restricción de **flujo de personas que optan por utilizar el bien sustituto**. De acuerdo a datos de la SMO, se estima que el crecimiento en la demanda de personas que utilizan anteojos, crece con el tiempo. Por esto suponemos un factor de crecimiento de la forma  $F[S(t)] = \beta(t)S(t)$ , donde  $\beta(t)$ , es una proporción que depende del tiempo.

Sustituyendo en la expresión (3) obtenemos:

$$S'(t) = \beta(t)S(t) - R(t)$$

De lo anterior, el problema del monopolista puede plantearse de la siguiente manera:

$$\text{Max } \int_{t=0}^{t=T} e^{-rt} [P(R(t), S(t))R(t) - C_1(t)R(t)] dt$$
$$\{R(t)\}$$

s.a

$$S'(t) = \beta(t)S(t) - R(t); S(0) = S_0$$

Sea la función inversa de demanda de la siguiente forma  $P(R,S) = G(R) + H(S)$ , donde  $G(R)$  es el efecto en el precio, en función de la demanda de cirugía refractiva  $G(R)$  y  $H(S)$  el efecto en el precio, en función de la demanda de personas que utilizan anteojos.

Donde  $G$  y  $H$ , son funciones continuas y dos veces diferenciables en sus argumentos. Las funciones anteriores cumplen lo siguiente:

$$\frac{\partial G}{\partial R} < 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial S} < 0$$

Las condiciones necesarias de acuerdo al principio máximo de Pontrayin de este problema son las siguientes:

$$1) e^{-rt}[P + RP_R - C_1(t)] - \lambda(t) = 0$$

$$2) \dot{\lambda}(t) = e^{-rt}[-RP_S] - \lambda(t)\beta(t)$$

$$3) \dot{S}(t) = \beta(t)S(t) - R(t)$$

En el equilibrio estacionario de este problema, se debe cumplir que las ecuaciones diferenciales 2 y 3 sean cero. Esto es:

$$\dot{\lambda}(t) = 0$$

$$\dot{S}(t) = 0$$

En el equilibrio estacionario, la ecuación (3) implica que para un nivel dado de población usando el bien sustituto, la cantidad de personas operadas será igual al factor de crecimiento. Y de este modo, tanto el mercado de cirugía como el mercado del bien sustituto, estarán en equilibrio coexistiendo.

Si  $R(t)$  fuera mayor a factor de crecimiento  $\beta(t)S(t)$ , entonces, esto significaría que la industria del bien sustituto estaría en reducción.

Si  $R(t)$  fuera menor al factor de crecimiento  $\beta(t)S(t)$ , esto significaría que el margen entre el crecimiento de la industria del sustituto y lo que se está operando en la industria refractiva es cada vez más amplio, y que por lo tanto

la industria quirúrgica, todavía puede operar más gente para obtener mayores beneficios, sin causar una reducción en la industria del sustituto.

La ecuación (2), implica que no hay modificaciones en el coste de oportunidad al hacer cirugías adicionales.

Al resolver lo anterior, obtenemos los siguientes resultados en el estado estacionario para el monopolio en la industria de cirugía refractiva:

$$R_M = \frac{[P(t) - C_1(t)]\beta(t)}{-\frac{\partial P}{\partial S} - \beta(t)\frac{\partial P}{\partial R}} \quad S_M = \frac{P(t) - C_1(t)}{-\frac{\partial P}{\partial S} - \beta(t)\frac{\partial P}{\partial R}}$$

Donde  $P(t)$ , es el precio asociado a la cirugía refractiva por el monopolista.  $R_M$ , es la cantidad de personas operadas y  $S_M$ , es la cantidad de personas que usan el bien sustituto.

### Empresa pública

Actualmente el IMSS no realiza cirugía refractiva porque lo considera como un procedimiento estético.

Suponemos que el IMSS proporciona el servicio de cirugía refractiva a un precio resultante de maximizar el bienestar social con respecto a la cantidad.

El IMSS considera en su problema de maximización el flujo de del sustituto, esto se expresa como sigue:

$$\text{Max } \int_{t=0}^{t=T} e^{-rt} \left[ \int_0^R P(x, S(t)) dx - C_1(t)R(t) \right] dt$$

$$\{R(t)\}$$

s.a

$$\dot{S}(t) = \beta S(t) - R(t)$$

$$S(0) = S_0$$

Al resolver este sistema por el principio máximo de Pontrayin obtenemos los siguientes resultados para el planeador social:

$$R_{PS\ SFS} = \frac{[P(t) - C_1(t)]\beta(t)}{-\frac{\partial P}{\partial S}} \quad S_{PS\ SFS} = \frac{P(t) - C_1(t)}{-\frac{\partial P}{\partial S}}$$

Donde  $P(t)$ , es el precio asociado a la cirugía refractiva por el planeador social.  $R_{PS\ SFS}$ , es la cantidad de personas operadas y  $S_{PS\ SFS}$ , es la cantidad de personas que usan el bien sustituto.

Oligopolio

Consideremos la existencia de “n” competidores en el mercado. En este caso  $R(t)$  es la demanda agreda de cirugía refractiva, esto es:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n R_i(t)$$

Cada empresa escogerá su nivel de producción  $R_i(t)$ , que maximice sus beneficios en el horizonte finito, dados los niveles de producción de los demás competidores, y sujeto a la restricción en el flujo del sustituto.

El problema a resolver por la empresa  $i$  es el siguiente:

$$\text{Max} \int_{t=0}^{t=T} e^{-rt} [P(R(t), S(t)) R_i(t) - C_1(t) R_i(t)] dt$$

$$\{R_i(t)\}$$

s.a

$$\dot{S}(t) = \beta S(t) - R(t)$$

$$S(0) = S_0$$

Aplicando las condiciones necesarias y suficientes obtenemos lo siguiente:

$$R_{OLI} = \frac{n[P(t) - C_1(t)]\beta}{-\frac{\partial P}{\partial S} - \beta \frac{\partial P}{\partial R}} \quad S_{OLI} = \frac{n[P(t) - C_1(t)]}{-\frac{\partial P}{\partial S} - \beta \frac{\partial P}{\partial R}}$$

Donde  $P(t)$ , es el precio asociado a la cirugía refractiva por cada competidor.  $R_{OLI}$ , es la cantidad de personas operadas y  $S_{OLI}$ , es la cantidad de personas que usan el bien sustituto.

Si proponemos una relación funcional lineal con constante, de  $G$  con respecto a  $R$ , y de  $H$  con respecto a  $S$ , obtendremos lo siguiente:

$$P_1[R(t),S(t)] = \alpha_0 + \alpha_1 R(t) + \alpha_2 S(t)$$

Al resolver, en el estado estacionario para cada una de las estructuras de mercado resulta:

$$P_M = \frac{\alpha_0 + C_1(t)}{2} \quad P_{OLI} = \frac{\alpha_0 + nC_1(t)}{n+1} \quad P_{PS SFS} = \frac{C_1(t)(\beta\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_2\alpha_0}{\beta\alpha_1 + 2\alpha_2}$$

Se espera que la constante  $\alpha_0$  sea significativa y que el modelo estimado arroje  $\alpha_0 > C_1(t)$ , para de este modo obtener un precio mayor al costo. En este modelo, un valor de cero en las variables  $R(t)$  y  $S(t)$ , genera un precio  $P = \alpha_0$ . En los tres casos, dadas las condiciones esperadas, se puede demostrar que el precio es mayor al costo. En el caso del precio de oligopolio, se observa que cuando el número de empresas se hace muy grande, el precio tiende al costo por unidad,  $P(t) = C_1(t)$ .

Se observa que el  $P_{OLI} > P_{PS}$ , ya que el precio del oligopolio será más alto que el precio del planeador social si  $\alpha_0 > C_1(t)$ .

El precio de oligopolio será igual al precio del planeador social, si y sólo si, se cumple lo siguiente:

$$\beta = \frac{\alpha_2(n-1)}{\alpha_1}$$
$$n = \frac{\alpha_2 + \alpha_1\beta}{\alpha_2}$$

Esto es, que la tasa de crecimiento en la demanda del sustituto sea igual al cambio del precio con respecto al cambio en la demanda del sustituto, entre el cambio en precio con respecto al cambio en la demanda de la cirugía, por el factor  $(n-1)$ .

Entonces, el precio de oligopolio será mayor al precio del planeador social si y sólo si, se cumple lo siguiente:

$$\beta > \frac{\alpha_2(n-1)}{\alpha_1}$$
$$n < \frac{\alpha_2 + \alpha_1\beta}{\alpha_2}$$

De aquí observamos, que si la tasa de crecimiento en la demanda del sustituto es positiva y el número de competidores crece indefinidamente, entonces se llegará a un momento en el que el precio del planeador ya no será menor al

precio del oligopolio, porque la industria tendrá competidores suficientes como para no tener control de precio.

Más específicamente, el precio de oligopolio será mayor al precio del planeador si y sólo si, el número de competidores cumple con lo siguiente:

$$n < \frac{\alpha_2 + \alpha_1 \beta}{\alpha_2}$$

#### 4.2.2 Caso estático con industrial del sustituto muy competitiva

En este caso, suponemos que el mercado de anteojos es muy competitivo, y que la industria quirúrgica busca maximizar en sus diferentes estructuras. Consideramos que existe una población total en el tiempo  $t$ ,  $L(t)$ , que necesita corregir su problema visual, ya sea con anteojos o cirugía.

Si la totalidad de las personas con problemas refractivos son corregidas ya sea por lentes o cirugía, la situación puede expresarse matemáticamente de la siguiente manera:

$$R(t) + S(t) = L(t)$$

Monopolio

Si la estructura de la industria quirúrgica fuera monopólica, resolvería el siguiente problema de maximización, dado cierto nivel de cantidad  $S(t)$ :

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi &= P_1[R(t), S(t)]R(t) - C_2(t)R(t) \\ &\{R(t)\} \\ R(t) &\geq 0 \end{aligned}$$

La solución a este problema genera la siguiente función de  $R(t)$ , en términos de  $S(t)$ .

$$R(t) = \frac{C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)}{2\alpha_1}$$

Esto expresa, la mejor respuesta  $R(t)$  del monopolista dado cierto nivel de  $S(t)$ . Se observa que esta expresión es una recta con pendiente negativa.

En el instante  $t$ , hay cierta cantidad de personas con errores refractivos  $L(t)$ , esto implica que la suma de las personas que utilizan anteojos y las que se operan, no debe sobrepasar este total:

$$R(t) + S(t) \leq L(t)$$

Al derivar  $R(t)$  con respecto a  $S(t)$ , obtenemos un resultado que siempre es negativo, esto indica que la cantidad elegida por el monopolista disminuye al aumentar la cantidad utilizada en la industria del sustituto.

$$\frac{dR(t)}{dS(t)} = - \frac{\alpha_2}{2\alpha_1} < 0$$

De este modo, la cantidad máxima coherente, que elegirá el monopolista será cuando  $S(t) = 0$ . De esto se deduce, que dado cierto nivel de  $S(t)$  coherente con la realidad, el monopolista elegirá una cantidad  $R(t)$ , sobre su curva de reacción que cumplirá lo siguiente:

$$R(t) \leq \frac{C_1(t) - \alpha_0}{2\alpha_1}$$

Con esta última desigualdad se demuestra que el precio fijado por el monopolista de cirugía refractiva, dado cierto nivel de  $S(t) \geq 0$  coherente, es acotado de la siguiente manera:

$$C_1(t) \leq P_1(t) \leq \frac{\alpha_0 + C_1(t)}{2}$$

En particular, si suponemos que todas las personas con problemas refractivos son atendidas, se cumpliría la igualdad  $S(t) = L(t) - R(t)$ .

Al resolver simultáneamente la ecuación de reacción del monopolista con la restricción de igualdad, obtenemos los siguientes niveles de cantidades:

$$R(t) = \frac{C_1 - \alpha_0 - \alpha_2 L(t)}{2\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$S(t) = L(t) - R(t)$$

De estas cantidades obtenidas, se puede obtener que el precio cobrado en la industria quirúrgica es el siguiente:

$$P_1(t) = \frac{[L(t)\alpha_2 + \alpha_0](2\alpha_1 - \alpha_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)[C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 L(t)]}{2\alpha_1 - \alpha_2}$$

Oligopolio

Si la estructura de la industria quirúrgica fuera oligopólica, cada uno de los “n” competidores, resolvería el siguiente problema de maximización, dado cierto nivel de cantidad  $S(t)$ :

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi &= P_1[R(t), S(t)]R_i(t) - C_1R_i(t) \\ &\{R_i(t)\} \\ &R_i(t) \geq 0 \end{aligned}$$

La solución a este problema genera la siguiente función de  $R(t)$  (demanda agregada), en términos de  $S(t)$ :

$$R(t) = \frac{n}{n+1} \frac{[C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)]}{\alpha_1}$$

Esto expresa la demanda agregada  $R(t)$ , del oligopolio, dado cierto nivel de  $S(t)$ . Se observa que esta expresión es una recta con pendiente negativa.

En el instante  $t$ , hay cierta cantidad de personas con errores refractivos  $L(t)$ , del mismo modo, la suma de las personas que utilizan anteojos y las que se operan, no debe sobrepasar este total:

$$R(t) + S(t) \leq L(t)$$

Al derivar  $R(t)$  con respecto a  $S(t)$ , obtenemos un resultado que siempre es negativo, esto indica que la cantidad agregada en el monopolio, disminuye al aumentar la cantidad utilizada en la industria del sustituto.

$$\frac{dR}{dS} = - \frac{n}{(n+1)} \frac{\alpha_2}{2\alpha_1} < 0$$

De este modo, la cantidad máxima coherente, que elegirá el monopolista será cuando  $S(t) = 0$ . De esto se deduce, que dado cierto nivel de  $S(t)$  coherente con la realidad, el oligopolio tendrá una cantidad  $R(t)$  agregada, sobre su curva de reacción que cumplirá lo siguiente:

$$R(t) \leq \frac{n}{(n+1)} \frac{[C_1(t) - \alpha_0]}{2\alpha_1}$$

Con esta última desigualdad, se demuestra que el precio fijado en oligopolio de cirugía refractiva, dado cierto nivel de  $S(t) \geq 0$  coherente, está acotado de la siguiente forma:

$$C_1(t) \leq P_1(t) \leq \frac{\alpha_0 + nC_1(t)}{n+1}$$

En particular, si suponemos que todas las personas con problemas refractivos son atendidas, se cumpliría la igualdad  $S(t) = L(t) - R(t)$ .

Al resolver simultáneamente la ecuación de reacción del oligopolio con la restricción de igualdad, obtenemos los siguientes niveles de cantidades:

$$R(t) = \frac{n[C_1(t) - \alpha_0] - n\alpha_2 L(t)}{\alpha_1(n+1) - n\alpha_2}$$

$$S(t) = L(t) - R(t)$$

De estas cantidades obtenidas, se puede obtener que el precio cobrado en la industria quirúrgica es el siguiente:

$$P_1(t) = \frac{[\alpha_0 + \alpha_2 L(t)][(n+1)\alpha_1 - n\alpha_2] - n(\alpha_1 - 1)[C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 L(t)]}{(n+1)\alpha_1 - n\alpha_2}$$

Empresa Pública

Si una empresa como el IMSS estuviera interesada en maximizar el bienestar social en el área quirúrgica, resolvería el siguiente problema de maximización:

$$\begin{aligned} \text{Max } W &= \int_0^{R(t)} P[x, S(t)] dx - C_1(t)R(t) \\ &\{R(t)\} \\ &R(t) \geq 0 \end{aligned}$$

La solución da como resultado el siguiente nivel de demanda en la industria de cirugía refractiva en función de  $S(t)$ :

$$R(t) = \frac{C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)}{\alpha_1}$$

Esto expresa, la mejor respuesta de la empresa pública dado cierto nivel de  $S(t)$ .

Del mismo modo, la suma de las personas que utilizan anteojos y las que se operan, no debe sobrepasar el total disponible:

$$R(t) + S(t) \leq L(t)$$

Al derivar  $R(t)$  con respecto a  $S(t)$ , obtenemos un resultado constante y negativo, esto indica que la cantidad elegida por la empresa pública, disminuye al aumentar la cantidad utilizada en la industria del sustituto.

$$\frac{dR}{dS} = - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} < 0$$

De este modo, la cantidad máxima coherente, que elegirá el monopolista será cuando  $S(t) = 0$ . De esto se deduce, que dado cierto nivel de  $S(t)$  coherente con la realidad, la empresa pública elegirá una cantidad  $R(t)$ , sobre su curva de reacción que cumplirá lo siguiente:

$$R(t) \leq \frac{C_1(t) - \alpha_0}{\alpha_1}$$

Con esta última desigualdad se puede demostrar que el precio fijado por el monopolista de cirugía refractiva, dado cierto nivel de  $S(t) \geq 0$  coherente, cumple con lo siguiente:

$$P_1(t) = C_1(t)$$

En particular, si suponemos que todas las personas con problemas refractivos son atendidas, se cumpliría la igualdad  $S(t) = L(t) - R(t)$ .

Al resolver simultáneamente la ecuación de reacción de la empresa pública y la igualdad anterior, obtenemos los siguientes niveles de cantidades:

$$R(t) = \frac{C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 L(t)}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$S(t) = L(t) - R(t)$$

De estas cantidades obtenidas, se puede obtener que el precio cobrado por la empresa pública en la industria quirúrgica es el siguiente:

$$P_1(t) = C_1(t)$$

#### 4.2.3 Caso estático con industria del sustituto oligopólica

En este escenario consideramos que la industria de anteojos es un oligopolio con mayor número de competidores que la industria quirúrgica.

La industria de anteojos es de mucho mayor antigüedad que la industria quirúrgica, existe desde hace más de un siglo, a diferencia de la industria refractiva que tiene una antigüedad de 18 años.

Por todo lo anterior, consideramos conveniente modelar la competencia entre las industrias como competencia tipo stackelberg, donde la industria líder es la de anteojos y la industria seguidora la de cirugía.

En la primera etapa, cada uno de los competidores de la industria líder elegirá su nivel de producción que maximice sus beneficios, y después, en la segunda etapa y habiendo observado las elecciones de cada uno de los competidores del bien diferenciado, cada uno de los competidores de la industria seguidora elegirá su nivel de producción que maximice sus beneficios. Resolvemos de atrás hacia adelante.

En la segunda etapa, cada uno de los competidores de la industria quirúrgica resuelve el siguiente problema de maximización, dado cierto nivel de  $S(t)$ :

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi &= P_1[R(t), S(t)]R_i(t) - C_1R_i(t) \\ &\{R_i(t)\} \\ R_i(t) &\geq 0 \end{aligned}$$

La solución a este problema genera la siguiente función de  $R(t)$ , en términos de  $S(t)$ .

$$R(t) = \frac{n}{n+1} \frac{[C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)]}{\alpha_1}$$

En la primer etapa, la industria líder elige el nivel de  $S(t)$ , que maximiza sus beneficios, tomando en cuenta que cada uno de los competidores de la industria seguidora, responderá el nivel elegido por la líder. El problema a resolver en la primera etapa es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi = P_2 \left\{ \frac{n}{n+1} \frac{[C_1 - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)]}{\alpha_1}, S(t) \right\} R_i(t) - C_2(t) S_i(t) \\ \{S_i(t)\} \\ S_i(t) \geq 0 \end{aligned}$$

Donde,  $S(t) = \sum_1^k S_i(t)$ .

Al resolver en la primera etapa se obtiene el siguiente nivel de producción agregada:

$$S(t) = \frac{k}{k+1} \left[ \frac{(n+1)\alpha_1(C_2 - \beta_0) - n\beta_1(C_1 - \alpha_0)}{(n+1)\beta_2\alpha_1 - \beta_1n\alpha_2} \right]$$

$$R(t) = \frac{n}{n+1} \left\{ \frac{C_1 - \alpha_0}{\alpha_1} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \frac{k}{k+1} \left[ \frac{(n+1)\alpha_1(C_2 - \beta_0) - n\beta_1(C_1 - \alpha_0)}{(n+1)\beta_2\alpha_1 - \beta_1n\alpha_2} \right] \right\}$$

Donde  $k > n$ .

Estos niveles de cantidades tendrán sentido sólo si cumplen que:

$$R(t)+S(t)\leq L(t)$$

El nivel de precio cobrado en la industria quirúrgica, se puede obtener sustituyendo estos valores en la función de precio:

$$P_1(t) = \alpha_0 + \alpha_1 R(t) + \alpha_2 S(t)$$

La cantidad agregada, resultado de la maximización en la industria de anteojos, se encuentra sobre la curva de reacción de la seguidora, de este modo, el precio cobrado en la industria quirúrgica está acotado de la siguiente manera:

$$C_1(t) \leq P_1(t) \leq \frac{\alpha_0 + nC_1(t)}{n+1}$$

## 5. Estimación

Los progresos de la ciencia económica han producido un notable desarrollo de las técnicas econométricas y de su uso en el análisis económico. La econometría se ha convertido en una herramienta de aplicación generalizada para la toma de decisiones.

La teoría de la demanda nos permite explicar la conducta de los consumidores. Es decir, explica la reacción de los consumidores ante cambios en el precio del bien, en su ingreso, y en los precios de otros bienes relacionados por sus consumos (complementarios o sustitutos).

En el apartado anterior, vimos que los precios en los distintos escenarios del caso estático, se encuentran acotados por las siguientes cantidades:

$$P_M = \frac{\alpha_0 + C_1(t)}{2} \quad P_{OLI} = \frac{\alpha_0 + nC_1(t)}{n+1} \quad P_{PS} = C_1(t)$$

En esta sección estimaremos los parámetros implicados en el modelo de optimización dinámica, para poder obtener una determinación de las cotas superiores e inferiores de los precios en los distintos casos.

En nuestro caso tenemos dos bienes sustitutos, la cirugía refractiva y anteojos. Para poder estimar los parámetros antes dichos necesitamos estimar las siguientes funciones de demanda de los bienes sustitutos:

Para la demanda de Cirugía Refractiva:

$$R(t) = a_0 + a_1P_1(t) + a_2P_2(t) + a_3Y(t)$$

Para la demanda de Anteojos:

$$S(t) = b_0 + b_1P_2(t) + b_2P_1(t) + b_3Y(t)$$

Donde:

$P_1(t)$ : Precio de la cirugía refractiva

$P_2(t)$ : Precio promedio de los anteojos

$Y(t)$ : PIB per cápita

Se espera los siguientes signos en los coeficientes:

$$\frac{\partial R(t)}{\partial P_1(t)} < 0 \quad \frac{\partial R(t)}{\partial P_2(t)} > 0 \quad \frac{\partial R(t)}{\partial Y(t)} > 0$$

$$\frac{\partial S(t)}{\partial P_2(t)} < 0 \quad \frac{\partial S(t)}{\partial P_1(t)} > 0 \quad \frac{\partial S(t)}{\partial Y(t)} > 0$$

La técnica econométrica para estimar los coeficientes de las funciones de demanda, será el de ecuaciones simultáneas por mínimos cuadrados en tres etapas.

El sistema de ecuaciones simultáneas para cada caso queda de la siguiente forma:

Cirugía Refractiva:

$$R(t) = a_0 + a_1P_1(t) + a_2P_2(t) + a_3Y(t) + u_1 \text{ (Demanda)}$$

$$R(t) = c_0 + c_1P_1(t) + c_2C_1(t) + u_2 \text{ (Oferta)}$$

Donde,  $C_1(t)$ , es el costo por unidad en la realización de cirugía refractiva.

Añadimos a este sistema, la condición de equilibrio, donde la cantidad ofrecida es igual a la cantidad demandada,  $R(t)^d = R(t)^o$ .

Anteojos:

$$S(t) = b_0 + b_1P_2(t) + b_2P_1(t) + b_3Y(t) + u_3 \text{ (Demanda)}$$

$$S(t) = d_0 + d_1P_2(t) + d_2C_2(t) + u_4 \text{ (Oferta)}$$

Donde,  $C_2(t)$ , es el costo por unidad en la producción de anteojos.

Añadimos a este sistema, la condición de equilibrio, donde la cantidad ofrecida es igual a la cantidad demanda,  $S(t)^d=S(t)^o$ . Al estimar estas regresiones mediante ecuaciones simultáneas en mínimos cuadrados en tres etapas y con datos anuales, obtenemos lo siguiente:

**Tabla 5: Demanda de Cirugía (Datos anuales a pesos del 2011)**

Variable	Coeficiente
<b>Demanda de Cirugía Refractiva <math>R(t)</math></b>	
	-0.0258317**
<b>Precio de Cirugía Refractiva <math>P_1(t)</math></b>	(-4.07)
	0.0705768**
<b>Precio de Anteojos <math>P_2(t)</math></b>	(3.82)
	0.3459333
<b>Ingreso per cápita <math>Y(t)</math></b>	(1.01)
	322.6289**
<b>Constante</b>	(3.04)
<b>R-SQ</b>	0.8155
<b>Observaciones</b>	16

*Fuente: Elaboración propia con datos de la SMO*

*El valor entre paréntesis es el estadístico  $t$*

*\*Significativo al 95%*

*\*\*Significativo al 99%*

**Tabla 6: Demanda de Anteojos (Datos anuales a pesos del 2011)**

Variable	Coefficiente
<b>Demanda de Anteojos <math>S(t)</math></b>	
	-29.09946**
<b>Precio de Anteojos <math>P_2(t)</math></b>	(-3.67)
<b>Precio de Cirugía Refractiva <math>P_1(t)</math></b>	6.382442**
	(2.46)
<b>Ingreso per cápita <math>Y(t)</math></b>	-72.17311
	(-0.57)
<b>Constante</b>	-11878.47
	(-0.29)
<b>R-SQ</b>	0.6228
<b>Observaciones</b>	16

*Fuente: Elaboración propia con datos de la SMO*

*El valor entre paréntesis es el estadístico  $t$*

*\*Significativo al 95%*

*\*\*Significativo al 99%*

De este modo, las demandas estimadas para datos anuales quedan como sigue:

$$R(t) = 322.6289 - 0.0258317P_1(t) + 0.0705P_2(t)$$

$$S(t) = -29.1P_2(t) + 6.3824P_1(t)$$

Al sustituir estos parámetros, obtenemos los siguientes niveles de precio estimados:

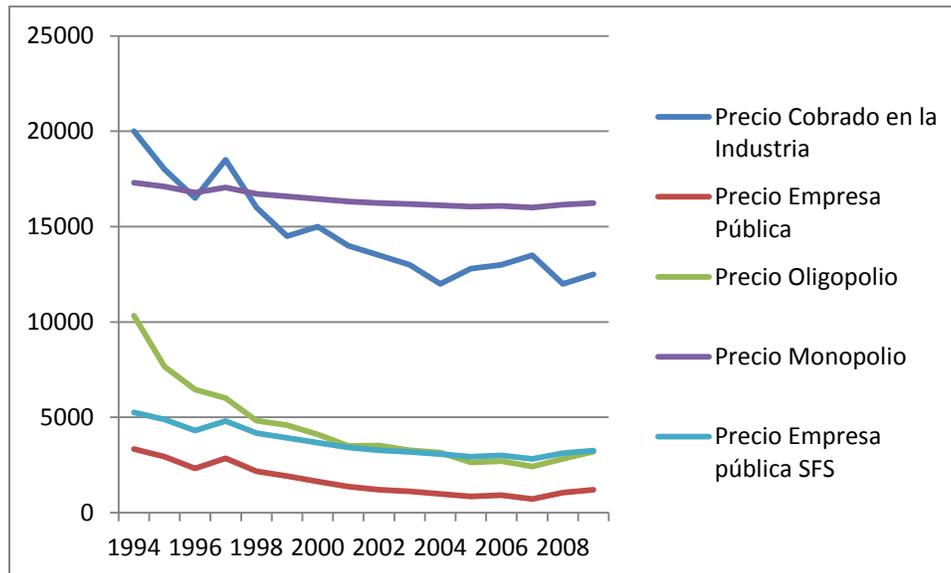
**Tabla 7: Estimación de Precios Anuales**

Año	Precio Cobrado en la Industria	Precio Empresa Pública	Precio Oligopolio	Precio Monopolio	Precio Empresa pública SFS
1994	20000	3343.63	10321.97	17300.32	5258.24
1995	18000	2943.32	7662.27	17100.16	4885.39
1996	16500	2329.52	6462.02	16793.26	4313.69
1997	18500	2860.19	6015.39	17058.60	4807.96
1998	16000	2177.98	4821.53	16717.49	4172.54
1999	14500	1917.25	4584.50	16587.13	3929.70
2000	15000	1640.87	4108.88	16448.94	3672.27
2001	14000	1368.78	3503.65	16312.89	3418.85
2002	13500	1209.89	3521.21	16233.45	3270.86
2003	13000	1128.6	3280.63	16192.80	3195.14
2004	12000	990.87	3152.74	16123.94	3066.86
2005	12800	848.54	2637.27	16052.77	2934.29
2006	13000	924.00	2708.29	16090.50	3004.58
2007	13500	729.21	2425.20	15993.11	2823.15
2008	12000	1050.68	2827.52	16153.84	3122.57
2009	12500	1201.91	3205.58	16229.46	3263.42

*Fuente: Elaboración propia (Precios en pesos mexicanos)*

Graficamos los resultados anteriores y obtenemos:

**Gráfica 3: Precios simulados con datos anuales**



*Fuente: Elaboración propia (Años 1994-2009)*

*El precio empresa pública es el costo por unidad*

A continuación presentamos las estimaciones para las de funciones de demanda para datos semestrales, sin incluir el ingreso per cápita debido a la falta de información semestral estatal de este dato.

**Tabla 8: Demanda de Cirugía (Datos semestrales a pesos del 2011)**

Variable	Coefficiente
<b>Demanda de Cirugía Refractiva <math>R(t)</math></b>	
	-0.0154761**
<b>Precio de Cirugía Refractiva <math>P_1(t)</math></b>	(-6.81)
<b>Precio de Anteojos <math>P_2(t)</math></b>	0.0411619** (5.11)
<b>Constante</b>	212.5331** (9.36)
<b>R-SQ</b>	0.7370
<b>Observaciones</b>	32

*Fuente: Elaboración propia con datos de la SMO*

*El valor entre paréntesis es el estadístico  $t$*

*\*Significativo al 95%*

*\*\*Significativo al 99%*

**Tabla 9: Demanda de Anteojos (Datos semestrales a pesos del 2011)**

Variable	Coeficiente
<b>Demanda de Anteojos <math>S(t)</math></b>	
	-16.63011**
<b>Precio de Anteojos <math>P_2(t)</math></b>	(-5.11)
<b>Precio de Cirugía Refractiva <math>P_1(t)</math></b>	3.941004**
	(4.38)
<b>Constante</b>	-18616.94*
	(-2.10)
<b>R-SQ</b>	0.4001
<b>Observaciones</b>	32

*Fuente: Elaboración propia con datos de la SMO*

*El valor entre paréntesis es el estadístico  $t$*

*\*Significativo al 95%*

*\*\*Significativo al 99%*

De este modo, las demandas estimadas con datos semestrales quedan como sigue:

$$R(t) = 212.5331 - 0.01547P_1(t) + 0.0411P_2(t)$$

$$S(t) = -18616.94 - 16.63P_2(t) + 3.941P_1(t)$$

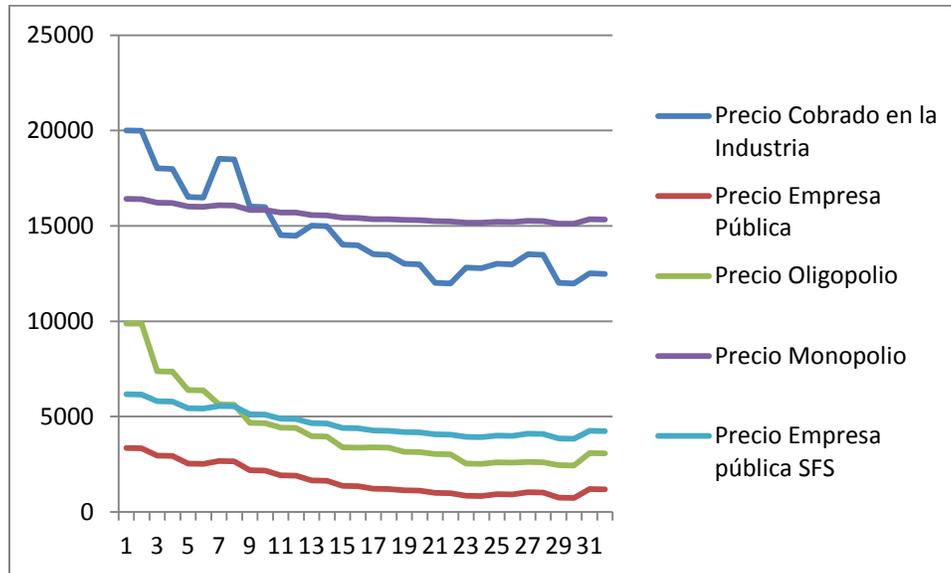
Al sustituir estos parámetros, obtenemos los siguientes niveles de precios:

**Tabla 10: Estimación de Precios Semestrales**

Semestre	Precio Cobrado en la Industria	Precio Empresa Pública	Precio Oligopolio	Precio Monopolio	Precio Empresa pública SFS
1	20011.55	3352.9	9885.80	16418.69	6170.99
2	19988.45	3334.36	9871.89	16409.42	6154.45
3	18011.55	2952.59	7374.57	16218.54	5813.85
4	17988.45	2934.05	7359.12	16209.27	5797.31
5	16511.55	2538.79	6388.17	16011.64	5444.67
6	16488.45	2520.25	6372.28	16002.37	5428.13
7	18511.55	2669.46	5648.91	16076.97	5561.25
8	18488.45	2650.92	5632.43	16067.70	5544.71
9	16011.55	2187.25	4668.82	15835.87	5131.04
10	15988.45	2168.71	4651.96	15826.60	5114.50
11	14511.55	1926.52	4431.79	15705.50	4898.43
12	14488.45	1907.98	4414.93	15696.23	4881.89
13	15011.55	1650.14	3969.67	15567.31	4651.86
14	14988.45	1631.6	3952.67	15558.04	4635.31
15	14011.55	1378.05	3385.65	15431.27	4409.11
16	13988.45	1359.51	3368.44	15422.00	4392.57
17	13511.55	1219.16	3393.42	15351.82	4267.35
18	13488.45	1200.62	3376.30	15342.55	4250.81
19	13011.55	1137.87	3162.63	15311.18	4194.83
20	12988.45	1119.33	3145.41	15301.91	4178.29
21	12011.55	1000.14	3034.74	15242.31	4071.95
21	11988.45	981.6	3017.52	15233.04	4055.41
23	12811.55	857.81	2541.73	15171.15	3944.97
24	12788.45	839.27	2524.28	15161.88	3928.43
25	13011.55	933.27	2612.75	15208.88	4012.29
26	12988.45	914.73	2595.30	15199.61	3995.75
27	13511.55	1038.48	2618.81	15261.48	4106.16
28	13488.45	1019.94	2601.30	15252.21	4089.62
29	12011.55	759.95	2449.63	15122.22	3857.67
30	11988.45	741.41	2432.18	15112.95	3841.12
31	12511.55	1211.18	3096.07	15347.83	4260.23
32	12488.45	1192.64	3078.76	15338.56	4243.69

*Fuente: Elaboración propia (Precios en pesos mexicanos)*

Graficamos los resultados anteriores y obtenemos:



*Fuente: Elaboración propia (Semestres de 1994-2009)*

*El precio empresa pública es el costo por unidad*

En ambos casos, se observa que los precios reales cobrados en la industria se encuentran por encima del costo por unidad, inclusive por encima de la cota superior del oligopolio (el Precio de Cournot).

## 6. Conclusiones

Las empresas en la industria de cirugía refractiva tienen cierto grado de poder de mercado que se puede observar mediante el Índice de Lerner. Este poder de mercado puede deberse a la escasez de oftalmólogos con la certificación y equipo necesario. Dicha escasez resulta de las barreras de entrada antes mencionadas. Como consecuencia de este poder de mercado, los precios actualmente cobrados en la industria de cirugía refractiva son muy elevados, y esto ha obligado a los consumidores a optar por utilizar anteojos, y por lo tanto, una reducción en el tamaño de la Industria Quirúrgica.

Del análisis realizado en este trabajo, podemos concluir lo siguiente:

- En los inicios de la Industria de Cirugía Refractiva los precios fueron superiores a los que teóricamente un monopolio cobraría, igualándose aproximadamente en los años de 1995 y 1998.
- La gráfica de la variación de precios a través del tiempo, muestra una brecha ajustada entre los precios reales y precios de monopolio, lo que sugiere un intento de colusión por parte de los médicos desde inicios de la industria.
- Se ha comprobado teóricamente que en el problema dinámico de oligopolio, sujeto a la restricción del flujo del sustituto, el precio es

superior al que cobraría una empresa social como el IMSS, interesada en maximizar el bienestar social, sujeto a la restricción del flujo del sustituto; inclusive, este precio es superior al que teóricamente cobraría un oligopolio, sujeto a la restricción del flujo del sustituto.

- Los precios realmente cobrados en la Industria de Cirugía Refractiva, son superiores a las cotas superiores de la empresa pública y oligopolio en el caso estático.
- Los médicos están colocando en el mercado un precio superior al que se deriva de un proceso de maximización de ganancias en una estructura oligopólica. Esto significa que si los elementos de la industria desean incrementar sus ganancias, deben disminuir el precio cerca del PS SFS estimado.
- También podemos observar una gran diferencia entre el costo por unidad de cirugía refractiva y el precio realmente cobrado en la industria. Esta diferencia puede considerarse como las ganancias recibidas por la clínica, atribuidas como se dijo antes, a la escasez de oftalmólogos con la capacitación y equipo necesario.

Actualmente el IMSS sigue considerando la cirugía refractiva como un procedimiento estético, y no se ve en un futuro próximo algún tipo de política pública en beneficio de mejorar el bienestar social en esta industria.

## 7. Referencia de texto

- <sup>(1)</sup> Antecedente histórico de la Industria de Cirugía Refractiva de la SMO.
- <sup>(2)</sup> Requisitos impuestos por la Secretaría de Salud para que un oftalmólogo realice cirugía refractiva.
- <sup>(3)</sup> La cirugía en la mayoría de los casos es realizada por el oftalmólogo dueño de la clínica. En la óptica, el examen refractométrico es realizado en la mayoría de los casos por un optometrista contratado.
- <sup>(4)</sup> Otra de las medidas que utiliza la población para corregir sus problemas refractivos es la utilización de lentes de contacto. La cantidad de personas que utilizan esta alternativa es mínima en comparación a la población que utilizan anteojos y cirugía. Además generalmente una persona usa sus lentes de contacto en combinación con anteojos, utilizando la mayor parte del tiempo los armazones.
- <sup>(5)</sup> Se considera que la cirugía refractiva es funcional hasta los 40 años de edad.

## 7. Bibliografía

- BENKARD, C. L. (2004): "A Dynamic Analysis of the Market for Wide-Bodied Commercial Aircraft," *Review of Economic Studies*, 71, 581-611. [1331,1339]
- BERESTEANU, A., AND P. B. ELLICKSON (2006): "The Dynamics of Retail Oligopoly," Mimeo, Duke University. [1333]
- Deal, K. R. (1979), "Optimizing Advertising Expenditures in a Dynamic Duopoly," *Operations Research*, 27, 682-692.
- Lee, E. B. and L. Markus (1968), *Foundations of Optimal Control Theory*, Wiley, New York.
- Sethi, S. P. (1973), "Optimal Control of Vidale-Wolfe Advertising Model," *Operations Research*, 21, 998-1013.
- Mate, K. (1982), "Optimal Advertising Strategies of Competing Firms Marketing New Products," Working Paper, University of Washington.
- Kalish, S. (1983), "Monopolist Pricing with Dynamic Demand and Production Cost," *Marketing Science*, 2 (Spring), 135-159.
- Robinson, B. and C. Lakhani (1975), "Dynamic Price Models for New-Product Planning," *Management Science*, 21 (June), 1113-1122.
- Shupp, F. R. (1986), "Limit Pricing in a Mature Market: A Dynamic Game Approach," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 10 (June), 67-71.

## 8. Apéndice

Para demostrar que un precio está acotado, se utilizan las propiedades de las desigualdades.

En el caso del monopolio de la sección 4.2.2, obtuvimos la siguiente función de  $R(t)$ , en términos de  $S(t)$ .

$$R(t) = \frac{C_1(t) - \alpha_0 - \alpha_2 S(t)}{2\alpha_1} \quad (1)$$

Esto expresa, la mejor respuesta  $R(t)$  del monopolista dado cierto nivel de  $S(t)$ . Se observa que esta expresión es una recta con pendiente negativa.

Se determinó que la cantidad máxima coherente, que elegirá el monopolista será cuando  $S(t) = 0$ . De esto se deduce, que el monopolista elegirá una cantidad  $R(t)$ , sobre su curva de reacción que cumplirá lo siguiente:

$$0 \leq R(t) \leq \frac{C_1 - \alpha_0}{2\alpha_1} \quad (2)$$

Tenemos que el precio en términos de las cantidades es el siguiente:

$$P_1(t) = \alpha_0 + \alpha_1 R(t) + \alpha_2 S(t) \quad (3)$$

De la expresión (1), podemos expresar  $S(t)$  en términos de  $R(t)$ :

$$S(t) = \frac{C_1(t) - \alpha_0 - 2\alpha_1 R(t)}{\alpha_2} \quad (4)$$

Sustituimos (4), en la definición de precio y obtenemos lo siguiente:

$$P_1(t) = -\alpha_1 R(t) + C_1(t)$$

Con la expresión (2), se cumple que:

$$C_1(t) \leq P_1(t) = -\alpha_1 R(t) + C_1(t) \leq \alpha_1 \left[ \frac{C_1(t) - \alpha_0}{2\alpha_1} \right] + C_1(t)$$

Lo anterior se simplifica para obtener que:

$$C_1(t) \leq P_1(t) \leq \frac{\alpha_0 + C_1(t)}{2}$$

Los demás casos de la sección 4.2.2 y 4.2.3, se comprueban de manera similar.