ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA ENTRE EL PRINCIPAL Y EL AGENTE EN UN CONTEXTO EVOLUTIVO*

John James Mora
Universidad del Valle

Resumen: En este ensayo se discuten las condiciones necesarias para establecer un contrato entre el principal y el agente en un contexto de interacción evolutiva, y como se impone un tipo de tecnología. Al usar juegos evolutivos, se encuentran las condiciones de estabilidad del juego a través del concepto de Estrategias Evolutivas Estables, *EEE*, de Maynard Smith. Cuando la productividad es mayor que uno surge una *EEE* en una tecnología, y cuando es inferior a uno, la única explicación plausible en torno a como escogen los jugadores un tipo de tecnología, radica en que éstos siguen una convención.

Abstract: This paper discusses the necessary conditions for principal and agent contract in an evolutionary interactive context and how a specific technology prevails. The resulting stability condition is an Evolutionarily Stable Strategy, *ESS*, in the Maynard Smith tradition. When productivity is greater or equal to one arises a *ESS* in a particular technology and when productivity is less than one the only way to explain why a particular technology prevails is by means of a convention.

* Este ensayo forma parte de la investigación: El uso de los conocimientos en la sociedad: una aproximación desde la teoría de los juegos evolutivos y las convenciones, financiado por el CIDSE, Departamento de Economía, y la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle. Me he beneficiado de los comentarios de Boris Salazar de la Universidad del Valle, de Briam Skyrms de California University, de Yanis Varoufakis de Sydney University, de Jórgen Weibull de Stockholm School of Economics y de un dictaminador anónimo. Los errores que subyacen son mi responsabilidad y los comentarios serán bienvenidos a: jjmora@chasqui.univalle.edu.co.

1. Introducción

Supongamos dos agentes que establecen un contrato, uno se denominará el principal y el otro el agente. En principio, el problema consiste en diseñar un esquema de incentivos, de tal forma, que el agente realice el máximo de esfuerzo, cuando éste no es observado por el principal, Grossman y Hart (1983), Tirole (1989), Laffont y Tirole (1988), Fudemberg y Tirole (1991).

El esquema de incentivos en un contrato, surge cuando el agente tiene información acerca de su habilidad, que el principal no posee, Laffont y Tirole (1988). De esta forma, un mecanismo óptimo de incentivos asegurará el máximo de esfuerzo del agente, que se verá reflejado en alguna variable que pueda ser observada por el principal; en algunos modelos esta variable es la ganancia, Tirole (1989) y en otros es el producto, Grossman y Hart (1983).

Por otro lado, cuando el agente tiene preestablecida su habilidad, el contrato "estimula" al agente a que revele ésta, como en el modelo de Grossman y Hart (1983). Sin embargo, cuando no están preestablecidas las habilidades, entonces el agente ya no seguirá un esquema perfecto de revelación de éstas, y no será clara la elección que deberá tomar.

Bajo el supuesto de que cada tipo de habilidades está relacionado con un tipo de tecnología, y si partimos de la existencia de más de un tipo de tecnología y, por lo tanto, que la interacción de los participantes en un juego cuyas estrategias evolucionan en el tiempo seleccionará alguna, uno deberá preguntarse ¿En qué condiciones se impone un tipo de tecnología?

En este ensayo se aventura como hipótesis que una tecnología cuando la productividad es mayor o igual a uno, $\mu \geq 1$, y es observada por los jugadores, se impondrá cuando ésta sea una Estrategia Evolutivamente Estable, *EEE*. Este resultado es similar al encontrado por Grossman y Hart (1983), en tanto la productividad es la variable que los agentes toman como elemento básico en sus decisiones.

Sin embargo, cuando la productividad es inferior a uno, $\mu < 1$, y las tecnologías existentes no son lo suficientemente productivas como para que alguna prevalezca, la tecnología dominante será resultado de una convención, que será estable en tanto que seguirla generará mayores pagos de acuerdo con la condición (**k**) (en el texto).

Finalmente, las condiciones en las cuales una tecnología se impone, determinan que tipo de contrato se establecerá entre el principal y el agente: cuando $\mu \geq 1$ el contrato se fijará sobre la productividad, y cuando $\mu < 1$ se establecerá sobre aquella tecnología que se ha impuesto cuando los agentes siguen una convención.

2. Interacción evolutiva

La evolución se produce por mecanismos de selección, determinando la parte del mercado asignada a los grupos y los comportamientos adaptativos de los agentes y, por lo tanto, el conjunto de estrategias dependerá del tamaño de la población. Como menciona Vromen(1995), en juegos evolutivos, la selección depende de las decisiones individuales y del medio ambiente social. Por medio ambiente social entenderemos, por un lado, las condiciones que hacen que una tecnología tenga una mayor probabilidad de ser escogida y, por el otro, aquellas que podrían mantener una situación de compromiso entre el principal y el agente. En ciertas situaciones, ambas condiciones podrían ser indisolubles, si más individuos escogen una tecnología el compromiso entre el principal y el agente podría especificar el tipo a usar en el contrato establecido por éstos. Sin embargo, esta situación podría cambiar en tanto la proporción de agentes que elige un tipo de tecnología sea pequeño y no garantice compromisos.

En un contexto evolutivo, las preguntas de fondo son: ¿cuando la selección de estrategias induce a comportamientos agregados? y ¿existen reglas sociales que caractericen dicho resultado? En este ensayo partiremos de que una estrategia evolutiva asigna los pagos y, por lo tanto, en una situación de interacción: "La distribución de las estrategias en cada población de jugadores cambia de acuerdo con algún proceso de selección dinámico", Ritzberger y Weibull(1995).[1]

La evolución del comportamiento agregado tiene un desarrollo fundamental en el trabajo de Maynard Smith(1982), a través del concepto de *EEE*, en donde la dinámica de réplica produce cambios individuales de acuerdo con la razón entre las mejores estrategias y las estrategias totales, las cuales son proporcionales a las diferencias en los pagos. Para una gran clase de dinámicas, la convergencia a un estado estacionario desde un estado interior inicial implica un equilibrio de Nash, Nachbar (1990).[2] No

[1] Para Binmore (1987) los procesos de evolución proceden de algún mecanismo de selección que limita la racionalidad, de igual forma ver Weibull (1995), Weibull y Bjórnerstedt (1996a), y Weibull y Hofbauer (1996b).

[2] Aun bajo la existencia de débiles propiedades de estabilidad, véase Bomze(1986).

obstante, Ritzberger y Vogelsberger (1990) muestran que aun existiendo equilibrios de Nash, pocos de ellos tienen fuertes propiedades de estabilidad en juegos multipoblacionales (véase también Ritzberger y Weibull, 1995), y tan sólo estrictos equilibrios son estables asintóticamente, en lo que se conoce como Dinámica de Selección Monótona Agregada (Samuelson y Zhang, 1992). De donde se infiere que muchos juegos no son asintóticamente estables. En orden para obtener un resultado, usaremos la definición de Maynard Smith, y se establecerán las condiciones necesarias para obtener estabilidad.[3]

Sin embargo, las condiciones anteriores tan sólo explican la elección de los jugadores cuando las tecnologías son lo suficientemente productivas como para que los jugadores establezcan un contrato sobre éstas. Cuando la productividad no es un elemento claro a seguir, entonces una tecnología llegará a dominar entre más jugadores le asignen un papel predominante a ésta, en tal caso la tecnología dominante será resultado de una convención, la cual provendrá de un comportamiento agregado.

3. El modelo

Considere un conjunto de poblaciones de principales y agentes que interactúan indexadas como $h = 1, 2$. Un miembro de cada población, será un jugador, que tiene disponible un numero finito de estrategias, indexadas por $i = \alpha$, β. Algún punto r^2 en el simplex

$$S^2 := \{x = (x_1, x_2) : x_i \geq 0 \ \sum x_i = 1\}$$

representa una posible estrategia para un miembro individual de la población h, empleando cada estrategia disponible. El producto cartesiano del simplex $S = S^1 \times S^2$ es el conjunto de estrategias y, también, el estado espacio bajo la interpretación de que las interacciones son anónimas. La interacción estratégica, viene determinada por una función de pagos, la cual especifica para

[3] En trabajos recientes Ritzberger y Weibull (1995) desarrollan el concepto de selección que preserva su signo (SPS), el cual es un equilibrio robusto si satisface el criterio de estabilidad de Lyapunov, es decir, un equilibrio es robusto si el Lyapunov es estable en alguna *SPS*. Esta propiedad garantiza que cuando fracciones pequeñas de la población sufren cambios que generan choques pequeños al estado, la estabilidad asintótica no se altera. Este resultado, es compatible con el encontrado por Matsui (1992) en estrategias socialmente estables.

los individuos en cada población el pago evolutivo relevante, como una función de su propia estrategia y del estado corriente. Una función de pagos consiste en los mapas $f^h : S^h \times S \rightarrow R$, $h = 1, 2$, los cuales se asumen lineales en su propia estrategia $[r^h \in S^h]$ y continuamente diferenciables en el estado de la población $[s \in S]$. La función de pagos puede ser expresada como $f : S \times S \rightarrow R^2$ con $f(r, s) = (f^1(r^1, s), f^1(r^2, s), f^2(r^1, s), f^2(r^2, s))$. La linealidad permite una representación alternativa en términos del vector gradiente de pagos $\hat{f}^h(s) \in R^2$, para una población de principales y agentes dado el estado $s \in S$, donde $x \cdot \hat{f}^h(s) = f^h(x, s)$ para toda $x \in S^2$. El elemento final de la estructura dinámica se especifica con un estado s que evoluciona en tiempo continuo, donde las derivadas en el tiempo, $\dot{s} := (\dot{s}^1, \dot{s}^{2)}$ con $\dot{s}^1 := (\dot{s}^1{}_1, \dot{s}^1{}_2)$; $\dot{s}^2 := (\dot{s}^2{}_1, \dot{s}^2{}_2) =: (\partial s^1{}_1/\partial t, \partial s^1{}_2/\partial t, \partial s^2{}_1/\partial t, \partial s^2{}_2/\partial t)$, son representadas por alguna función $F : S \rightarrow R^4$ tal que $\dot{s} = F(s)$. Este es un sistema autónomo de ecuaciones diferenciales ordinarias donde la curva de solución $s(t)$, dadas las condiciones iniciales $s(0) \in S$, describe la evolución de toda la población comenzando en algún estado de interés. Así, $F : S \rightarrow R^4$ es admisible si:

(a) $F^h{}_1(s) + F^h{}_2(s) = 0$ para toda $s \in S$ y $h = 1, 2$
(b) $s^h{}_1 = 0$ implica que $F^h{}_1(s) = 0$
(c) F es continua y dos veces diferenciable sobre S.

Las dos primeras condiciones aseguran que s^h no esté por fuera del simplex S^h. De acuerdo con (a) las fracciones de la población suman 1 y por (b) se previenen fracciones negativas, esto es, que revivan "estrategias extintas". La (c) es una condición técnica que asegura soluciones bien definidas. Una de ellas deberá garantizar que $\dot{s} = F(s)$ sea una Lipshitz continua, o que $\dot{s} = F(s)$ cumpla la condición Picard-Lindelóf.[4]

Adicionalmente, supongamos que las poblaciones en el estado $(p, q) \in S$ podrían no ser estables en el sentido evolutivo cuando existe un estado (x, y) cerca de (p, q), de tal forma, que ambas poblaciones puedan incrementar su pago promedio cambiando a este estado. Sea A la matriz de pagos entonces:

(d) $pAq \geq xAq$; $qAp \geq yAp$ para toda $(x, y) \in S$

[4] Una definición general para H poblaciones y N estrategias se puede encontrar en Friedman (1991) y Weibull (1995).

Una demostración formal puede verse en Hofbauer y Sigmund (1988). La condición (*d*) puede escribirse también en los siguientes términos: sean α y β dos estrategias de un juego Principal - Agente, si α es una *EEE*, entonces se deberán cumplir las siguientes condiciones:

(*e*) $E(\alpha, \alpha) > E(\beta, \alpha)$, para toda β
(*f*) $E(\alpha, \beta) > E(\beta, \beta)$, para toda β

Supongamos ahora, que la estrategia para un grupo de la población consiste en la elección de un tipo de tecnología (*i*). Por tecnología se entiende, aquellos conocimientos o habilidades que los jugadores usan. Las tecnologías están dadas exógenamente y los participantes del juego deciden el tipo a usar. Cada una genera beneficios y costos para los jugadores. Se denotará π_i como las ganancias del empresario derivadas de utilizar la tecnología (*i*); w_i los salarios pagados al agente cuando éste usa la tecnología (*i*); ε_i el esfuerzo realizado por el agente cuando elige la tecnología (*i*) y c_i el coste de complementariedad de escoger un tipo de tecnología. Los jugadores podrían estar de acuerdo con el tipo de tecnología a utilizar, entonces el principal podría sugerirle al agente el tipo que requiere, en este caso el costo de complementariedad es cero.

No siempre los jugadores estarán de acuerdo en cuanto al tipo de tecnología a usar, sin embargo, ellos observan que entre más complementarias sean las tecnologías, menores serán los costos de complementariedad: si un agente elige α, asume un coste $c(\alpha)$, pero de igual forma está ganando lo que podría haber perdido si hubiera elegido β, así las ventajas de la complementariedad están definidas en términos de los costos $-[c(\alpha) - c(\beta)]$. Los costos de complementariedad podrían no venir especificados en el contrato, pero el principal conoce que si la tecnología escogida por el agente es la misma que él ha considerado, la pérdida en tiempo y aprendizaje será menor, razón por la cual las ganancias se incrementan. Supondremos también, que el costo de esta complementariedad y el esfuerzo no cambian, una vez elegida la tecnología. Por otro lado, asumamos que existe una oferta competitiva de agentes, con un salario de reserva $w(0)$, y cuando el agente considera una tecnología diferente a la del principal, este último ofrece un salario de reserva $w(0)$, entonces el agente decidirá si acepta o no el contrato. Las ganancias del principal estarán determinadas por:

$$\int \pi_i \, d\pi - w_i - \varepsilon_i \, ; \; i = \alpha, \beta \tag{1}$$

Adicionalmente, un contrato deberá garantizar:

(g) Racionalidad individual. Un contrato bajo compromiso establece que los beneficios derivados de realizar alguna actividad con la tecnología i serán mayores o iguales al salario de reserva:

$$\int w_i + \varepsilon_i \geq w(0)\ ;\ i = \alpha, \beta \tag{2}$$

(h) Compatibilidad de incentivos. Siempre que el uso de la tecnología α represente mayores beneficios que el de la β, los costos para el principal por su utilización serán mayores, ya que los salarios pagados al agente, así como el esfuerzo que éste realice serán mayores, entonces:

$$\int w_\alpha + \varepsilon_\alpha > \int w_\beta + \varepsilon_\beta \quad \text{para toda} \quad \alpha > \beta \tag{3}$$

De esta forma, cualquier diferencial en el tipo de esfuerzo deberá ser pagado por el principal.

Por otro lado, el principal y el agente podrían escoger un solo tipo de tecnología α o β, o el principal escoger α y el agente β, o bien a la inversa ¿Qué tipo de resultado se impondrá?

Es importante observar, que el resultado final dependerá necesariamente del conocimiento que los jugadores tienen sobre las ventajas de una complementariedad y de ε_i. Cuando c_i y ε_i son de dominio público, dominará aquella tecnología con la que se alcanza la mayor productividad y, por lo tanto, rendimientos mayores, en este caso, un contrato se establece cuando el principal maximiza sus beneficios sujeto a *(g)* y *(h)*.[5] Cuando las ventajas de una complementariedad y ε_i no son de dominio público, encontrar un resultado ya no es tan simple. Si el agente tiene conocimiento sobre ε_i mientras el principal lo tiene parcialmente sobre las ventajas de la complementariedad, entonces: primero, el juego debe ser jugado asimétricamente, ya que los jugadores han aprendido a diferenciarse entre ellos, y asignan a cada grupo un papel diferente. Segundo, los jugadores tienen distintas percepciones en torno al riesgo, como en Ross (1973). De esta forma, se dice que el aprendizaje toma un matiz de comportamiento específico. De las

[5] Cuando la información es perfecta y simétrica. Una adaptación al modelo clásico principal-agente, implicará que, aunque ε_i no sea de dominio publico, c_i sí lo sea. Este problema, se podría resolver en el contexto clásico de maximización, teniendo en cuenta las objeciones de Mirrlees y Mas-Collel (1975).

consideraciones anteriores, el juego planteado implica la siguiente matriz de pagos:

Matriz 1

Agente

		Tecnología α	*Tecnología* β
Principal	α	$\mu\int\pi(\alpha)d\pi - w(\alpha) - \varepsilon(\alpha)$, $w(\alpha) + \varepsilon(\alpha)$	$\int\pi(\alpha)d\pi - w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)]$, $w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)]$
	β	$\int\pi(\beta)d\pi - w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]$, $w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]$	$\mu\int\pi(\beta)d\pi - w(\beta) - \varepsilon(\beta)$, $w(\beta) + \varepsilon(\beta)$

Donde μ es un índice de productividad cuando el principal y el agente eligen la misma tecnología, y toma valores de $\mu \geq 1$ cuando la tecnología es suficientemente productiva y $\mu < 1$ cuando no es claro que tan productiva es. En otras palabras, cuando $\mu \geq 1$ la tecnología escogida es lo suficientemente productiva como para que un contrato entre el principal y el agente se establezca. Sin embargo, cuando $\mu < 1$ no existe certeza sobre la elección tecnológica a realizar, razón por la cual, no es posible determinar el tipo de tecnología que generará productividades mayores.

De la matriz (1), los pagos se definen como:

$$F(\alpha \mid \text{Principal}) = q[\mu\int\pi(\alpha)d\pi - w(\alpha) - \varepsilon(\alpha)] + (1-q)[\int\pi(\alpha)d\pi - w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)]]$$

$$F(\beta \mid \text{Principal}) = q[\int\pi(\beta)d\pi - w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]] + (1-q)[\mu\int\pi(\beta)d\pi - w(\beta) - \varepsilon(\beta)]$$

$$F(\alpha \mid \text{Agente}) = p[w(\alpha) + \varepsilon(\alpha)] + (1-p)[w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)]]$$

$$F(\beta \mid \text{Agente}) = p[w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]] + (1-p)[w(\beta) + \varepsilon(\beta)].$$

Las ecuaciones de dinámica de replica serán:

$$\partial p/\partial t = 0.5(1-p)[\pi^2(\alpha)(\mu q - p + 1) + \pi^2(\beta)(\mu(q-1)$$

$$+ 2(c(\alpha)p - c(\alpha)q - c(\alpha) - c(\beta)p + c(\beta)q + c(\beta) - \varepsilon(\alpha)q$$

$$+ w(\beta) - w(\beta)q + \varepsilon(\beta) - \varepsilon(\beta)q - qw(\alpha))] \tag{4}$$

$$\partial q/\partial t = q(q-1)[c(\alpha) - p(\varepsilon(\alpha) + w(\beta) + \varepsilon(\beta) - 2w(0) + w(\alpha))$$

$$- c(\beta) + w(\beta) + \varepsilon(\beta) - w(0)]. \tag{5}$$

PROPOSICIÓN 1. *El juego Principal-Agente tiene al menos un equilibrio de Nash.*

DEMOSTRACIÓN. En un juego evolutivo Principal-Δgente, si $X \subset \Re^2$ es abierto, y $\varphi : X \rightarrow \Re^2$ es una Lipshitz continuamente diferenciable, donde $\mathrm{div}[\varphi(x)] < 0$ para todo $x \in X$. Entonces la dinámica $F(s)$ tiene un conjunto $A \in EEE \subset X$. Esto se deduce del cumplimiento del teorema de Liouville y de la proposición (3.2) de Friedman (1991), ya que si $EEE \subset EN$ (equilibrio de Nash), entonces todo $x \in A$, y cumpla con que la $\mathrm{div}[\varphi(x)] < 0$ deberá ser asintóticamente estable, de esta forma, un EEE es también un Nash en el juego anterior. ■

Las condiciones (g) y (h) son necesarias para el cumplimiento de ma EEE de la siguiente forma: suponga una matriz de pagos $A(2 \times 2)$ y $\zeta = (\zeta_1, \ldots, \zeta_n)$ un vector en $\Re^2$. El soporte de ζ está dado por $\mathrm{supp}(\zeta) = \{i \mid \zeta \neq 0\}$, y el rango de $A\zeta = (\psi_1, \psi_2) \in \Re^2$ por

$$R(\zeta) = \{\psi_i = \max\{\psi_1, \psi_2\}\}.$$

Entonces:

(i) $X^2 = \{x = (x_1\ x_2) \in \Re^2 \mid x_1 + x_2 = 0\}$ es el subespacio de $\Re^2$ paralelo l simplex Δ^2.

(j) Sea S una estrategia en el interior de Δ^2 (o S es el soporte total) tal ue supp $(S) = \{1, 2\}$, en donde se cumple (g) y (h) para cada S.

Si el soporte de una EEE es $S^* \in \Delta^2$, y especifica aquellas estrategias ıras que son usadas por la población, esto implica que $\mathrm{supp}(s^*) \subseteq \Re(S^*)$.

Esto es, S^* es una *EEE* si y sólo si $\text{supp}(s^*) \subseteq \Re(S^*)$ y $SAS < S^*AS$ para toda $S \in \Delta^2$ diferente de S^* con $\text{supp}(s) \subseteq \Re(S^*)$. De esta manera, S^* sería una *EEE* bajo cumplimiento de (g) y (h). Supongamos ahora que S^* no cumpla con (g) y (h), por lo cual $\text{supp}(s^*) \not\subset \Re(S^*)$, entonces la $\text{div}[\varphi(x^*)] \geq 0$.

Dado que el estado espacio relevante es $\Delta^2 = [0, 1]^2$, y que el campo vectorial es una Lipshitz continuamente diferenciable en $\Re^2$, la divergencia al interior de Δ^2, será:

$$\text{div}[\varphi(x)] = -0.5[\pi^2(\alpha)(\mu q(2p-1) - 3p^2 + 4p - 1)$$

$$+ \pi^2(\beta)(2p-1)(\mu(q-1) - q) + 2(c(\alpha)(3p^2 - 2p(q+2) - q + 2)$$

$$+ \varepsilon(q-p) + w(\beta)(p-q) + w(0)(1-2q)(2p-1) - w(\alpha)(p-q))]. \quad (6)$$

Si evaluamos en los puntos (1,1), (1,0), (0,1), (0.5,0.5) y (0,0), encontramos:

$$\text{div}(1,1) = \frac{\mu\pi^2(\alpha) - \pi^2(\beta) - 2[2c(\alpha) - 2c(\beta) + w(0)]}{2} \quad (6.1)$$

$$\text{div}(1,0) = \frac{\mu\pi^2(\beta) - 2[c(\alpha) - c(\beta) - \varepsilon(\alpha) + w(\beta) + \varepsilon(\beta) + w(0) - w(\alpha)]}{2} \quad (6.2)$$

$$\text{div}(0,1) = \pi^2(\alpha)(\mu + 1) - \pi^2(\beta) - 2[c(\alpha) - c(\beta) + \varepsilon(\alpha)$$

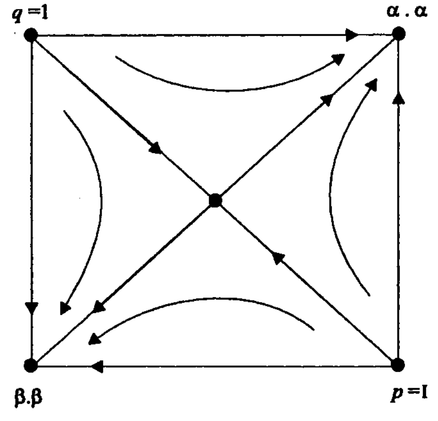
$$- w(\beta) - \varepsilon(\beta) + w(0) + w(\alpha)]/2 \quad (6.3)$$

$$\text{div}(0.5,0.5) = -\frac{\pi^2(\alpha) - 2[c(\alpha) - c(\beta)]}{8} \quad (6.4)$$

$$\text{div}(0,0) = -\frac{\mu\pi^2(\beta) - \pi^2(\alpha) - 2[2c(\alpha) - 2c(\beta) - w(0)]}{2} \quad (6.5)$$

Una inspección al diagrama de fases muestra:

Gráfica 1



Obsérvese en la gráfica, que las estrategias (α, α) y (β, β) son *EEE*. Esto significa, que una estrategia es evolutivamente estable cuando la productividad es mayor o igual a uno, cuando esto se cumple, los jugadores escogen la tecnología más "eficiente", en el sentido que genera mayores complementariedades y por lo tanto una mayor productividad. Así, la productividad es una condición suficiente para establecer un contrato entre el principal y el agente, por lo tanto, la elección realizada es una *EEE* con la cual se puede efectuar un contrato.

De igual forma, a partir de la proposición 1 se puede observar que (α, β) y (β, α) no son *EEE*. Esto significa, que si el principal juega α y el agente β, ésta no será una situación estable. La razón de que (α, β) y (β, α) sean situaciones inestables es la siguiente: El principal desearía que los beneficios netos $\mu\pi^2(\beta) - 2w(\beta) - 2\varepsilon(\beta)$ fuesen positivos, dado que la productividad es observable y mayor que uno, entonces él esperaría $\varepsilon(\beta)$ y pagar $w(\beta)$, sin embargo, el agente ha escogido $\{w(\alpha), \varepsilon(\alpha)\}$, y también esperaría que a tal esfuerzo se le pagara $w(\alpha)$, pero el principal ofrecerá $w(0)$.

4. Convenciones ¿Son necesarias?[6]

Las condiciones encontradas en la sección anterior muestran, que si la productividad es mayor o igual a uno, un contrato puede incluirla como elemento de referencia para el mismo y, por lo tanto, que existen *EEE*. Sin embargo, debemos preguntarnos que sucede cuando los jugadores no pueden determinar claramente cuales son las tecnologías más productivas, es decir, cuando $\mu < 1$. En una situación como la anterior, no es claro que tipo de tecnología genera mayores(menores) esfuerzos, y por ello mayores (menores) ganancias para los jugadores, así como tampoco cual ofrece mayores (menores) costos de complementariedad, razón por la cual es dificil su elección. Lo anterior implica, que una situación donde los jugadores escogen tecnologías diferentes podría ser estable, este resultado no es sorprendente, en tanto no existe un mecanismo claro de incentivos, dado que la productividad no es un elemento claro para establecer un contrato, por lo tanto, podríamos tener agentes que eligen α cuando el principal lo hace con β, sin que existan pérdidas para los agentes en cumplimiento de (g).

La aproximación a partir de la dinámica de replica, si bien servía para mostrar cuales equilibrios eran más probables, es de escasa utilidad para saber cómo se llega a uno en particular cuando las tecnologías no son lo suficientemente productivas para que los jugadores puedan elegir, es decir, cuando $\mu < 1$, debido a que tecnologías aparentemente ineficientes podrían llegar a imponerse. De tal manera, cuando $\mu < 1$ las estrategias (α, β) y (β, α) dados los costos de complementariedad, podrían ser estrategias evolutivamente estables, debido a que la parte negativa en (6.2) y (6.3) que está definida por dichos costos, podría superar la parte positiva de la diferencia entre las ganancias .

Encontrar una solución a la elección de tecnología entre el principal y el agente, cuando $\mu < 1$, requiere más que el simple conocimiento de que los otros agentes son racionales, de las preferencias y de las acciones disponibles. Por esta razón, deberá realizarse alguna conjetura sobre las creencias de los participantes en el juego. Sin embargo, muchas de las conjeturas necesarias para alcanzar un "resultado", podrían emerger espontáneamente. Algunas son imposibles de predecir, e incluso se establecen bajo condiciones iniciales que aparentemente resultarían insignificantes,

[6] El desarrollo de esta parte fue posible gracias a la ayuda de Yanis Varoufakis.

entonces, un orden podría evolucionar de forma natural, Hayeck (1936). El orden se refiere a algún patrón regular en el nivel agregado en torno a las acciones de un grupo de individuos, esto es, aquella secuencia de eventos en los cuales las acciones de los miembros individuales de un grupo son compatibles con las de los otros. Orden que reduce la incertidumbre en tanto es un patrón que regula el comportamiento y se autorrefuerza debido a encasillamientos o patrones de costumbres. Entonces las "[P]ersonas que siguen una convención, son guiadas por algo más que los axiomas de elección racional", Sugden (1989, pag. 89). ¿Qué es lo que guía el comportamiento de los agentes si ya no es propiamente la conducta racional? Para Sugden la existencia de patrones espontáneos y reglas como "el primero en llegar" pueden envolver el conjunto de expectativas de los agentes formando una convención. Las reglas de comportamiento, establecerán patrones y entonces una convención llegara a ser una norma.[7]

Una convención es una regularidad en el comportamiento entre los miembros de una comunidad, en una situación recurrente que es una costumbre esperada y mutuamente consistente, en donde los individuos mejoran si siguen la convención; desviaciones unilaterales no pagan.[8]

Esto significa, como anota Young (1993), que cada papel en tal interacción asimétrica es una costumbre y un comportamiento esperado, y cada uno prefiere seguir el comportamiento esperado de si mismo provisto por el comportamiento esperado de los otros.

Una convención puede emerger como dominante dependiendo del número inicial de personas que la adoptan, la cuestión es muy simple: la convención se mantiene en tanto exista un mayor número de adoptantes de la misma. Esto es claro, en la medida que los pagos dependen de usar una convención u otra, y ésta a su vez depende del número de adoptantes. La convención podría decirle a los jugadores que su mejor acción está depen-

[7] Para Elster(1989) existen dos tipos de normas: sociales y morales. De esta forma, existe un gran juego de normas ya sea de regularidad o uso de dinero, de reciprocidad, de retribución, de trabajo, de cooperación, de distribución, etc, y en tanto las normas sean adaptativas los agentes se ajustarán a ellas.

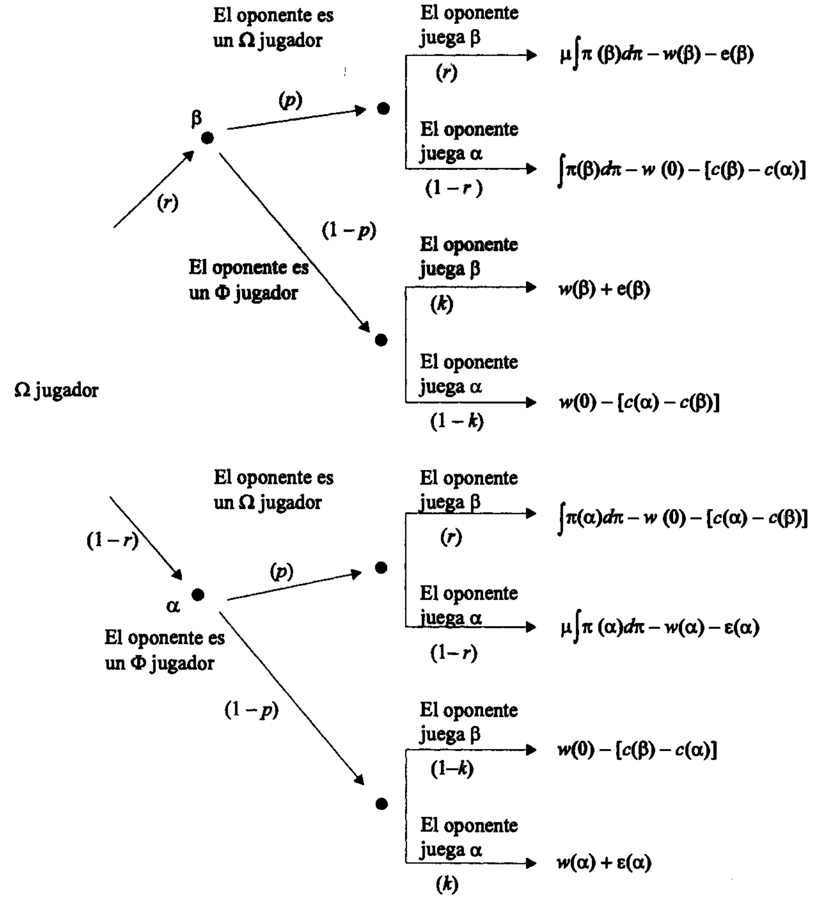
[8] Aquí seguiremos a Young (1993a, b, 1996), mientras en el tiempo las expectativas convergen en un equilibrio a través de retroalimentaciones positivas, así supongamos que un juego es jugado repetidamente, tanto por el mismo agente o por diferentes, juegos pasados tienen un efecto de retroalimentación sobre las expectativas y comportamientos de aquellos que juegan el juego ahora porque la atención a lo que viene paga.

diendo de que uno se adhiera a ella. En otras palabras, cuando el número de agentes que usan su convención aumenta, nos confirmará que la convención que lo guía a uno es la mejor opción. De igual forma, es de esperarse que las personas cambien entre convenciones de acuerdo con las ganancias que generan éstas, razón por la cual una de ellas podría emerger como dominante.

Por lo tanto, las ganancias de una convención podrían depender no solamente de las proporciones de jugadores que se adhieren a una u otra, sino también de la frecuencia con la cual se le asigna un papel predominante. Es decir, de la población que podría desplazarse de una convención a otra, lo que significa que los cambios de la población entre éstas podrían ayudar a establecer cual de ellas es la más popular. De esta forma, el movimiento relativo de la población cuando las condiciones no son claras, determina inicialmente las diferencias de cada convención, con respecto a la distribución de las ventajas de usar una tecnología u otra. Deberá quedar claro entonces, que las convenciones a las cuales los jugadores pertenecen afectan la probabilidad con la cual ellos podrían jugar, y una vez que éstos elijan un tipo de tecnología, los pagos dependen de la matriz de pagos.[9]

Supóngase que existen dos convenciones con igual número de jugadores en cada una. La ganancia esperada de cada convención es la misma y cada jugador tiene una oportunidad del 50% de escoger la que pueda llegar a dominar. Asumamos que existen las convenciones (Ω, Φ) con relación al uso de las tecnologías. Sea p la probabilidad de que un Ω jugador interactúe con el siguiente Ω jugador(que es igual a la proporción de Ω jugadores). Sea q la probabilidad de que un Φ jugador interactúe con el siguiente Φ jugador (que es igual a la proporción de Φ jugadores). Sea k la proporción de todas las interacciones entre las convenciones en las cuales los jugadores son enseñados por las suyas a jugar de la misma forma. Sea r la probabilidad de que un Ω jugador sea enseñado por Ω a jugar α. Sea s la probabilidad de que un Φ jugador sea enseñado por Φ a jugar α. Todas las posibilidades para un Ω jugador que se encuentra en un juego principal-agente, cuyas estrategias son $\{\alpha, \beta\}$ con un desconocido que deberá adoptar una de las dos convenciones Ω o Φ, vienen dadas por el juego:

[9] Comunicación personal con Y. Varoufakis (1998).



Del anterior diagrama de arbol, se deducen que las ganancias esperadas para el Ω jugador serán:

$$E^{\Omega} = rpr(\mu\int\pi(\beta)d\pi - w(\beta) - \varepsilon(\beta))$$

$$+ rp(1 - r)(\int\pi(\beta)d\pi - w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]$$

$$+ r(1 - p)k(w(\beta) + \varepsilon(\beta)) + r(1 - p)(1 - k)(w(0)$$

$$- [c(\alpha) - c(\beta)]) + (1 - r)pr(\int \pi(\alpha)d\pi - w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)])$$

$$+ (1 - r)p(1 - r)(\mu \int \pi(\alpha)d\pi - w(\alpha) - \varepsilon(\alpha)) + (1 - r)(1 - p)k[w(\alpha) + \varepsilon(\alpha)]$$

$$+ (1 - r)(1 - p)(1 - k)(w(0) - [c(\beta) - c(\alpha)]). \qquad (7)$$

Un cálculo análogo nos muestra las ganancias para el Φ jugador. Cuando se observa la ecuación (7) existe un rango de r, k, p y s, para los cuales E^{Ω} y E^{Φ} son funciones crecientes de p y q respectivamente. Esto confirma la observación que, movimientos en la población crean efectos a favor de una convención, una vez que ésta emerge y ofrece ganancias superiores. Para ver esto, supongamos pares aleatorios de jugadores cuando p y la proporción de Ω jugadores se incrementan, entonces las ganancias serán mayores para los Ω jugadores, y a mayores ganancias más jugadores estarán incentivados a adoptar como convención a Ω. Esto se puede observar del cumplimiento de la siguiente condición:[10]

$$k > [\pi^2(\alpha)(r - 1)(\mu(r - 1) - r) + \pi^2(\beta)r(\mu r - r + 1) + 2(c(\alpha)(2r - 1)$$

$$+ c(\beta)(1 - 2r) - \varepsilon(\alpha)(r - 1)^2 - w(\beta)r^2 - \varepsilon(\beta)r^2 + w(0)(2r^2 - 2r - 1)$$

$$- w(\alpha)(r - 1)^2]/[2[c(\alpha)(2r - 1) + c(\beta)(1 - 2r) + \varepsilon(\alpha)(1 - r)$$

$$+ w(\beta)r + \varepsilon(\beta)r - w(0) - w(\alpha)(r - 1)]]. \qquad (8)$$

Para la convención Φ, E^{Φ} es una función creciente en q, de tal forma que:

$$k > [\pi^2(\alpha)(s - 1)(\mu(s - 1) - s) + \pi^2(\beta)s(\mu s - s + 1) + 2(c(\alpha)(2s - 1)$$

$$+ c(\beta)(1 - 2s) - \varepsilon(\alpha)(s - 1)^2 - w(\beta)s^2 - \varepsilon(\beta)s^2 + w(0)(2s^2 - 2s - 1)$$

$$- w(\alpha)(s - 1)^2]/[2[c(\alpha)(2s - 1) + c(\beta)(1 - 2s) + \varepsilon(\alpha)(1 - s) + w(\beta)s$$

$$+ \varepsilon(\beta)s - w(0) - w(\alpha)(s - 1)]]. \qquad (9)$$

[10] Esta condición se deduce de derivar E^{Ω} con respecto a p, e igualar a cero.

Dado que sólo existen dos convenciones, se puede observar que el movimiento de los jugadores de una a otra podría empeorar la situación para aquellos que siguen la convención con menos adherentes. Esto significa que, los jugadores finalmente seguirán una convención la cual podría ser o no una *EEE* en un juego asimétrico.[11] Bajo una convención asimétrica, el principal podría obtener un pago de $\int \pi(\alpha) d\pi - w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)]$ cuando el promedio de agentes escoge una tecnología diferente. Al último, cuando el principal escoge α y el oponente β, los pagos esperados de seguir tal convención serán:

$$(1-r)\int \pi(\alpha) d\pi - w(0) - [c(\alpha) - c(\beta)].$$

Aquí deberemos preguntarnos: ¿Porque los jugadores siguen sosteniendo la convención? Indudablemente el comportamiento individual (g), le indicará a los jugadores que estarán en una situación peor si se alejan de la convención, después de todo, ella le podría decir a uno que nuestro oponente está jugando α o β. Entonces, uno es enseñado a jugar α o β, y no puede mejorar a menos que siga la convención, dado que es la mejor respuesta. De esta forma, una tecnología se impondrá en torno a la productividad, como resultado de una convención, de acuerdo con la siguiente condición:

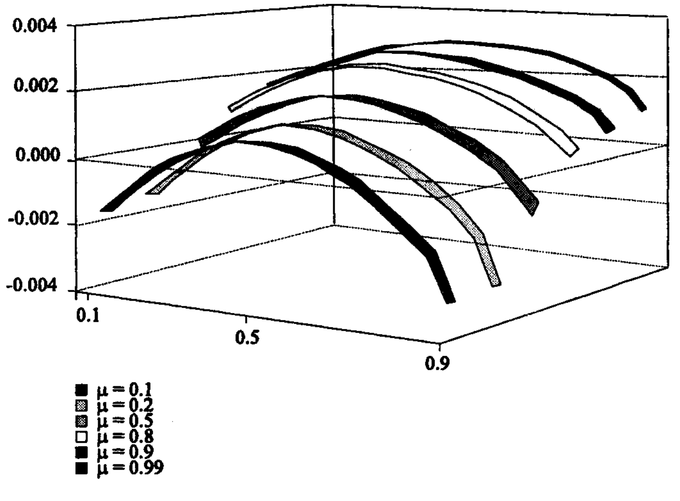
(k) Sea $\mu(\Omega)$ los pagos asociados a la convención Ω, y $\mu(\Phi)$ los pagos asociados a la convención Φ. Un contrato se establecerá entre una población de principales - agentes, si más jugadores le asignan un papel predominante a la convención Ω, ya que los pagos asociados crecerán. De lo cual se deduce que $p(\Phi, k) < \mu(\Omega, k)$, donde $k = \varepsilon s + (1-\varepsilon)r$ representa las interacciones de las convenciones, cuando éstas afectan en una fracción ε a los individuos de una población. Obsérvese que k depende de la probabilidad que le sea asignada a una convención como predominante.

Con el fin de ilustrar el anterior punto, supongamos que las ganancias son $\pi(\alpha) = \pi(\beta) = 0.4$, los costos de complementariedad son iguales entre las tecnologías a 0.01 y al esfuerzo, los salarios son 0.05 y el salario de reserva es cero. De acuerdo con estos datos, cuando la productividad va tomando valores de 0.1 a 0.9, una convención Ω puede llegar a establecerse entre más jugadores le asignen a un tipo de tecnología el papel dominante. Entonces, cuando más jugadores escogen un tipo, las ventajas de seguir esta

[11] Comunicación personal con Y. Varoufakis.

convención aumentarán y, por lo tanto, un tipo de tecnología llegará a dominar tal como se observa en la gráfica 2:

Gráfica 2
Evolución de Ω



De la gráfica ánterior se puede observar como, cuando el índice de productividad es bajo, $\mu = 0.1$, los pagos de los jugadores crecerán hasta donde los jugadores le asignen a esta convención una probabilidad de que dominará de 0.5. A partir de este valor, los pagos de los jugadores empezarán a decrecer, ya que no es rentable seguir la convención Ω, lo cual implica que aquellos jugadores que siguen Φ estarán en mejores condiciones, pues su convención se impondrá y obtendrán pagos crecientes. A medida que la productividad se va acercando a la unidad, la diferencia entre usar un tipo de convención u otro va disminuyendo.[12] La razón de tal resultado, como ya se había mencionado, consiste en que si el índice de productividad toma un valor mayor o igual a uno, entonces la tecnología que domina será aquella que es más eficiente.

[12] Obsérvese en la gráfica 2, como las ganancias de seguir Ω son menos cóncavas a medida que la productividad se va haciendo cercana a uno, lo cual implica menores pérdidas para los agentes.

Deberá quedar claro, que cuando se impone una convención, esta es el resultado del comportamiento de un grupo de principales y agentes, y tal comportamiento ha surgido de la interacción entre ellos. La interacción entre las poblaciones de principales y agentes, la información que de allí resulta y el posterior desplazamiento entre convenciones, es pues lo que explica porque se impone finalmente un resultado. De ahí que, la convención provee una explicación plausible del comportamiento de los individuos cuando el índice de productividad es bajo y ***no existen señales claras que los jugadores puedan seguir***. Un comportamiento "de optimización", tal como lo postula la parte clásica del modelo principal -agente, no explicaría porque los agentes seguirán demandando conocimientos que para el principal no representan un claro aumento en la productividad, y porque éste podría demandar agentes con conocimientos superiores que no se reflejen en el proceso productivo, como sucede en una situación de "credencialismo" donde los "títulos" se han impuesto como convención.

Es decir, cuando no es claro cual es la tecnología que produce una mayor productividad, entonces no se puede especificar en un contrato nada en torno a ella, entonces la interacción entre los jugadores podría determinar como regla a seguir (convención) que entre más títulos obtenga un individuo, su desempeño podría ser mejor y, por lo tanto, se establecería un contrato. Esta situación no tiene porque ser eficiente, el agente se percata que es necesario tener más títulos para conseguir un trabajo, por lo cual los adquirirá, más instituciones de educación ofrecerán títulos y, entonces, la sociedad destina sus recursos siguiendo esta convención. Así, los agentes adquieren más títulos para garantizar un contrato, sin que esto se refleje necesariamente en el esfuerzo. De igual forma, el principal demandará agentes con más títulos, siguiendo como convención que de aquellos agentes con más títulos se podrían obtener mayores esfuerzos. Y finalmente este resultado es estable, mostrándonos una situación donde el agente ha adquirido más títulos, aun cuando con los conocimientos anteriores fuesen suficientes para desempeñar el tipo de actividad que el principal requiere. Pero, cuando se impone una convención en "títulos", un contrato se establece de la forma anterior, entonces el principal acepta pagar un mayor salario esperando un esfuerzo mayor, que podría haber obtenido si no hubiera seguido la convención, pero que él se asegura en tanto ésta se ha formado. A veces, las sociedades establecen que quienes tienen más títulos son mejores trabajadores, este hecho determina los contratos, entonces los jugadores siguen tal convención.

Aquí, deberemos hacernos una pregunta fundamental: ¿Qué tan estable es la convención? Una mirada a (8) y (9) nos resolverá la pregunta: La convención depende de las ganancias, y no podría ser de otra forma, sólo que aquí las ganancias para los agentes no provienen del proceso de optimización, sino de seguir la convención, y es por dicha razón que (k) es una *condición fuerte* en el sentido anterior.

5. Comentarios finales

La forma en la cual un tipo de tecnología se impone, necesariamente influye en que términos deberá establecerse un contrato entre el principal y el agente. Para aventurar una respuesta se deberá partir de las siguientes características: Primero, si la productividad es mayor o igual a uno, los agentes escogen el tipo de tecnología que es más eficiente, entonces, establecerán un contrato bajo un sistema de incentivos guiado por la productividad, de tal manera que, surgirá una estrategia evolutiva estable en torno a un tipo de tecnología. Por otro lado, si la productividad es inferior a uno, y no existen mecanismos claros de diferenciación entre las tecnologías, una estrategia predominará en tanto se forme una convención alrededor de un tipo de tecnología. Ésta será una regla que guiará el comportamiento de los agentes dado que es la mejor opción para ellos. Segundo, una *EEE* necesariamente deberá incluir el cumplimiento de (g) y (h); sin embargo, cuando la productividad es baja otros elementos entran a determinar el resultado, esto es, una convención podría mostrarnos un resultado que en sí mismo cumpla (g) pero no (h). Tal resultado es bastante sugestivo, sobre todo en situaciones donde no impera un tipo de tecnología y, por lo tanto, no se puede cumplir (h). Tercero, cuando las tecnologías no son lo suficientemente productivas como para que los jugadores puedan elegir entre ellas, las interacciones en términos evolutivos entre el principal y el agente, muestran que el método tradicional es insatisfactorio. En tanto, la información relevante que usan los jugadores, dependerá de la probabilidad que se le asigne a una convención, esto es, de las interacciones entre los agentes se desprende la información que ellos usan y, por lo tanto, del establecimiento de un sistema de incentivos. Así, los participantes de un juego evolutivo podrían llegar a acordar un contrato, cuyas bases dependerán de que surja una convención en torno al uso de un tipo de tecnología.

Bibliografía

Arrow, K., E. Colombatto y M. Perlman (1996). *The Rational Foundations of Economic Behavior*, Macmillan Press.

Arthur, B. (1989). "Competing Technologies, Increasing Returns and Locked-in by Historical Events", *Economic Journal*, vol. 99, pp. 116-131.

Bacharach, M. (1993). "Variable Universe Games", en K. Binmore y *P.* Tani (comps.), *Frontiers of Game Theory*, MIT Press, Cambridge.

Biccieri, C., R. Jeffrey and B. Skyrms (1997). *The Dynamics of Norms*, MIT Press, Cambridge.

Binmore, K. (1995). *Teoría de juegos*, McGraw Hill.

——— (1987). "Modeling Rational Players: Part I", *Economics and Philosophy*, núm. 3, pp. 179-214.

Bomze, I. M. (1986). "Non-cooperative Two-Person Games in Biology: A Classification", *International Journal of Game Theory*, 15, pp. 31-57.

Canning, D. (1995). "Learning and Social Equilibrium in Large Populations", en A. Kirman y M. Salmon (comps.), *Learning and Rationality in Economics*, Basil Blackwell.

Cressman, R. (1992). "The Stability Concept of Evolutionary Game Theory: A Dynamic Approach", *Lectures Notes in Biomathematics*, 94, Springer Verlag.

Elster, J. (1989). "Social Norms and Economic Theory", *Journal of Economics Perspectives*, núm. 3, pp. 99-117.

Friedman, D. (1991). "Evolutionary Games in Economics", *Econometrica*, vol. 59, núm. 3, pp. 637-666.

Fudemberg, D. y G. Ellison (1993). "Rules of Thumb for Social Learning", *Journal of Political Economics*, vol. 101, núm. 4.

——— y J. Tirole (1991). *Game Theory*, MIT Press, Cambridge.

——— (1990). "Moral Hazard and Renegotiation in Agency Contracts", *Econometrica*, vol. 58, núm. 6, pp. 1279-1319.

Grossmann, J. S. y D. O. Hart (1983). "An Analysis of the Principal-Agent Problem", *Econometrica*, vol. 51, núm.1, pp. 7-45.

Harsanyi, J. y R. Selten (1988). *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, MIT Press, Cambridge.

Hayek, F. (1936). "Economics and Knowledge", reimpreso en *Individualism and Economic Order*, University of Chicago Press, Chicago.

Hofbauer, J y K. Sigmund (1988). "The Theory of Evolution and Dynamical Systems", *Mathematical Society Student Text*, 7, Cambridge University Press.

Kirman, A. y M. Salmon (1995). *Learning and Rationality in Economics*, Basil Blackwell.

Laffont, J. J y J. Tirole (1988). "The Dynamics of Incentive Contracts", *Econometrica*, vol. 56, núm. 5, pp. 1153-1175.

Levine, D. K. y D. Fudemberg (1996). "Learning and Evolution in Games", UCLA (mimeo).

——— (1995). "Remarks on Evolution and Learning", UCLA (mimeo).

Lewis, D. (1969). *Convention: A Philosophical Study*, Harvard University Press, Cambridge.

Matsui, A. (1992). "Best Response Dynamics and Socially Stable Strategies", *Journal of Economic Theory*, vol. 57, núm. 2, pp. 343-362.

Maynard Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press, Cambridge.

Mirrlees, J. A. (1975). *The Theory of Moral Hazard and Unobservable Behavior*, Part 1, Nuffield College, Oxford (mimeo).

Nachbar, J. H. (1990). "'Evolutionary' Selection Dynamics in Games: Convergence and Limit Properties", *International Journal of Game Theory*, 19, pp. 50-90.

Ross, A. S. (1973). "Die Economic Theory of Agency: The Principal's Problem", *American Economic Review*, vol. 63, núm. 2, pp. 134-139.

Ritzberger, K. y J. Weibull (1995). "Evolutionary Selection in Normal-form Games", *Econometrica*, vol. 63, núm. 6, pp. 1371-1400.

——— y K. Vogelsberger (1990). *The Nash Field*, IAS Research Report, núm. 63, Viena.

Samuelson, L. (1997). *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, MIT Press, Cambridge.

——— y K. Binmore (1996). "Rationalizing Backward Induction", en K. Arrow, E. Colombatto y M. Perlman (comps.), *The Rational Foundations of Economic Behavior*, Macmillan Press.

——— y J. Zhang (1992). "Evolutionary Stability in Asymmetric Games", *Journal of Economic Theory*, vol. 57, núm. 2, pp. 363-391.

Shelling, T. (1960). *The Strategy of Conflict*, Harvard University Press, Cambridge.

Skyrms, B. (1997). "Chaos and the Explanatory Significance of Equilibrium: Strange Attractors in Evolutionary Game Dynamics", en C. Bicchieri, R. Jeffrey y B. Skyrms (comps.), *The Dynamics of Norms*. MIT Press, Cambridge.

Sudgen, R. (1995). "A Theory of Focal Points", *The Economic Journal*, núm. 105, pp. 533-550.

——— (1989). "Spontaneous Order", *Journal of Economics Perspectives*, núm. 3, pp. 85-97.

Swinkels, J. M. (1992). "Evolutionary Stability with Equilibrium Entrants", *Journal of Economic Theory*, vol. 57, núm. 2, pp. 306-332.

Tirole, J. (1989). The Theory of Industrial Organization, MIT Press, Cambridge.

Varoufakis, Y. y H. S. Hargreaves (1993). *The Simultaneous Evolution of Social Roles and of Cooperation: Some Experimental Evidence*, WP, núm. 184, Department of Economics, University of Sydney.

——— (1991). *Rational Conflict*, Blackwell, Oxford.

Vromen, J. (1995). *Economic Evolution: An Inquiry into the Foundations of New Institutional Economics*, Routledge, London.

Weibull, J. (1995). *Evolutionary Game Theory*, MIT Press, Cambridge.

——— y J. Björnerstedt (1996a). "Nash Equilibrium and Evolution by Imitation", en K. Arrow, E. Colombatto y M. Perlman (comps.), *The Rational Foundations of Economics Behavior*, Macmillan.

——— y J. Hofbauer (1996b). "Evolutionary Selection Against Dominated Strategies", *Journal of Economic Theory*, vol. 71, pp. 558-573.

Young, H.P. (1996). "Equilibrium Selection Through Adaptation and Experimentation", en A. Kirman y M. Salmon (comps.), *Learning and Rationality in Economics*, Basil Blackwell.

——— (1993a). "An Evolutionary Model of Bargaining", *Journal of Economic Theory*, vol. 59, pp. 145-168.

——— (1993b). "The Evolution of Conventions", *Econometrica*, vol. 61, núm. 1, pp. 57-84.