

NÚMERO 476

SONIA DI GIANNATALE, ITZA CUIEL,
JUAN HERRERA Y KATYA RODRÍGUEZ

Aproximación con algoritmos evolutivos de la
frontera de Pareto de un modelo dinámico de
agente-principal con acciones discretas

MAYO 2010



www.cide.edu

• Las colecciones de **Documentos de Trabajo** del CIDE representan un medio para difundir los avances de la labor de investigación, y para permitir que los autores reciban comentarios antes de su publicación definitiva. Se agradecerá que los comentarios se hagan llegar directamente al (los) autor(es).

• D.R. © 2010. Centro de Investigación y Docencia Económicas, carretera México-Toluca 3655 (km. 16.5), Lomas de Santa Fe, 01210, México, D.F.
Fax: 5727•9800 ext. 6314
Correo electrónico: publicaciones@cide.edu
www.cide.edu

• Producción a cargo del (los) autor(es), por lo que tanto el contenido así como el estilo y la redacción son su responsabilidad.

Resumen

Usamos algoritmos evolutivos para aproximar un frente de Pareto de un modelo dinámico de agente-principal con acciones discretas. El frente de Pareto que obtenemos se caracteriza por su concavidad, la cual es resultado de la asimetría de información entre el principal y el agente. Conforme nos movemos en la frontera de Pareto hacia los contratos donde se privilegia la utilidad esperada descontada del agente, obtenemos esquemas de compensación donde el principal es quien mayoritariamente asume el riesgo inherente a la actividad productiva. Ante variaciones en el factor de descuento del agente y el principal y en el costo relativo de ejercer una unidad adicional de esfuerzo, obtenemos que la frontera de Pareto preserva sus características topológicas. Cuanto más pacientes sean el agente y el principal ambos obtienen mayores valores de utilidad esperada descontada; es decir, la relación genera excedentes mayores. Cuanto más costoso sea ejercer una unidad adicional de esfuerzo, se observa que, a lo largo de la frontera, el principal es quien asume mayoritariamente los riesgos inherentes a la actividad productiva.

Palabras clave: información asimétrica, modelo de agente-principal, incentivos, frontera de Pareto, algoritmos evolutivos.

Clasificación JEL: C63, D61, D82, D86, L14.

Abstract

We use Evolutionary Algorithms to approximate the Pareto frontier of a dynamic Principal-Agent model with discrete actions. The Pareto frontier that we obtain is concave, a result that is due to the asymmetry of information between the Principal and the Agent. As we move in the Pareto frontier towards contracts that favor the discounted expected utility of the agent, we obtain compensation schemes in which the Principal primarily assumes the risk inherent to the productive activity. Given changes in the discount factor of the Principal and the Agent and in the relative cost of exerting an additional effort unit, the Pareto frontier preserves its topological characteristics. When the Principal and the Agent are more patient, both of them obtain higher values of discounted expected utility and the relationship generates higher economic surplus. When it is costlier to exert an additional effort unit, the Principal tends to bear the majority of the risk inherent to the productive activity along the Pareto frontier.

Keywords: Asymmetric Information, Principal-Agent Model, Incentives, Pareto Frontier, Evolutionary Algorithms.

Aproximación con Algoritmos Evolutivos de la Frontera de Pareto de un Modelo Dinámico de Agente-Principal con Acciones Discretas

Itza T. Q. Curiel C.
Juan A. Herrera O.

Sonia B. Di Giannatale M.
Katya Rodríguez V.¹

Resumen

Usamos Algoritmos Evolutivos para aproximar un frente de Pareto de un modelo dinámico de Agente-Principal con acciones discretas. El frente de Pareto que obtenemos se caracteriza por su concavidad, la cual es resultado es producto de la asimetría de información entre el Principal y el Agente. Conforme nos movemos en la frontera de Pareto hacia los contratos donde se privilegia la utilidad esperada descontada del Agente, obtenemos esquemas de compensación donde el Principal es quien mayoritariamente asume mayormente el riesgo inherente a la actividad productiva. Ante variaciones en el factor de descuento del Agente y el Principal y en el costo relativo de ejercer una unidad adicional de esfuerzo, obtenemos que la frontera de Pareto preserva sus características topológicas. Cuanto más pacientes sean el agente y el principal ambos obtienen mayores valores de utilidad esperada descontada; es decir, la relación genera excedentes mayores. Cuanto más costoso sea ejercer una unidad adicional de esfuerzo, se observa que, a lo largo de la frontera, el Principal es quien asume mayoritariamente los riesgos inherentes a la actividad productiva.

Abstract

We use Evolutionary Algorithms to approximate the Pareto frontier of a dynamic Principal-Agent model with discrete actions. The Pareto frontier that we obtain is concave, a result that is due to the asymmetry of information between the Principal and the Agent. As we move in the Pareto frontier towards contracts that favor the discounted expected utility of the agent, we obtain compensation schemes in which the Principal primarily assumes the risk inherent to the productive activity. Given changes in the discount factor of the Principal and the Agent and in the relative cost of exerting an additional effort unit, the Pareto frontier preserves its topological characteristics. When the Principal and the Agent are more patient, both of them obtain higher values of discounted expected utility and the relationship generates higher economic surplus. When it is costlier to exert an additional effort unit, the Principal tends to bear the majority of the risk inherent to the productive activity along the Pareto frontier.

Palabras Clave: Información Asimétrica, Modelo de Agente-Principal, Incentivos, Frontera de Pareto, Algoritmos Evolutivos.

Números de Clasificación JEL: C63, D61, D82, D86, L14.

¹Para contactar Curiel o Di Giannatale: CIDE, Carretera México-Toluca 3655, 01210 México, DF, Mexico, Phone: +52 55 57279800; e-mail: sonia.digiannatale@cide.edu. e-mail: itza.curiel@gmail.com. Para contactar Herrera o Rodríguez: Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, DF, México.

1 Introducción

El problema de Agente-Principal analiza una situación de información asimétrica donde un Principal neutral al riesgo delega tareas a un agente con aversión al riesgo, que dicho Principal no está en capacidad realizar. La asimetría de información surge del hecho que el Principal no puede observar el esfuerzo que elige realizar el Agente en el cumplimiento de sus tareas y que es excesivamente costoso para el Principal monitorear perfectamente al Agente. Adicionalmente, la existencia de aleatoriedad en los resultados del trabajo que realiza el Agente, condicionado al esfuerzo que éste elige realizar, hace que el diseño de un esquema de compensación al Agente no sea un problema trivial. La solución a la versión estática de este problema genera esquemas de compensación donde el Principal y el Agente comparten el riesgo inherente a su actividad, véase Holmstrom (1979).

Cuando la relación Agente-Principal se repite varios periodos, se puede modelar como un problema dinámico en donde la relación entre ambos se prolonga por infinitos periodos, véase Spear y Srivastava (1987) y Wang (1997). En este marco, el esquema de compensación del Agente tiene dos componentes, un componente de compensación presente y uno de compensación futura. Ambos componentes del esquema de compensación tienen como objetivo vincular la riqueza del Agente con la del Principal; sin embargo, este objetivo se logra más efectivamente con el componente de compensación futura.

En la literatura, se consideran tanto los modelos estáticos como los dinámicos de Agente-Principal como una situación posterior a la contratación del Agente por parte del Principal donde el objetivo es maximizar la utilidad esperada del Principal sujeto a dos restricciones fundamentales. Una de dichas restricciones es la restricción de participación, la cual asegura que el Agente acepte esta relación contractual, y la otra es la restricción de compatibilidad de incentivos, la cual asegura que el Agente elija el nivel de esfuerzo que el Principal desea implementar, dada la inobservabilidad del esfuerzo del Agente.

Sin embargo, los arreglos contractuales iniciales afectan no sólo cómo se reparte el excedente generado en la relación entre el Principal y el Agente, sino la magnitud misma de dicho excedente. De allí la relevancia de caracterizar un frente de Pareto donde el Principal y el Agente tengan diferentes niveles de poder de negociación. Demougin y Helm (2010) analizan este problema usando un modelo estático de Agente-Principal donde ambos son neutrales al riesgo. Encuentran que el mismo conjunto de contratos emerge tanto de variar la utilidad de reserva del Agente dentro del modelo de Agente-Principal, de variar el factor de descuento en un juego de Rubinstein (1982) o de variar el coeficiente de poder de negociación en un juego de negociación de Nash. Estos autores obtienen un frente de Pareto que es cóncavo con lo cual las equivalencias anteriores no producen sorpresa; sin embargo, sí encuentran que la variación en el coeficiente del poder de negociación de los individuos afecta los resultados de la negociación.

La caracterización de un frente de Pareto en el marco de un modelo dinámico de Agente-Principal nos permitiría observar los distintos esquemas de compensación ante distintos acuerdos de contratación entre el Agente y del Principal y cómo esos distintos arreglos contractuales afectan la generación del excedente económico. Dada la dificultad en la obtención de resultados analíticos en el marco de modelos dinámicos de Agente-Principal, es común observar en la literatura una aproximación numérica de los contratos óptimos, véase Wang (1997) y Fernandes y Phelan (2000). Es por ello que elegimos seguir la ruta de la aproximación numérica de un frente de Pareto del modelo dinámico de Agente-Principal como primer paso en el estudio de poder de negociación en dichos modelos. Esta aproximación numérica es de todas formas un problema complejo, donde se deben manejar procesos de optimización multi-objetivo. Los Algoritmos Evolutivos ofrecen un marco de acción donde la aproximación numérica a este tipo de problemas se hace posible.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: En la segunda sección se describe el modelo dinámico de Agente-Principal que se va a aproximar. En la tercera sección se presenta la aplicación de los Algoritmos Evolutivos a este modelo. En la cuarta sección se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, las conclusiones se presentan en la quinta sección.

2 Modelo

El modelo que se presentará a continuación se basa en el modelo expuesto por Wang (1997). Considere un mundo de horizonte infinito donde el tiempo es discreto y denotado por $t = 0, 1, 2, \dots$, donde $t = 0$ es el periodo previo a la contratación. Existen dos individuos: el Principal y el Agente. Ambos son maximizadores de utilidad esperada descontada, con un factor de descuento en común, $\beta \in (0, 1)$. Sólo existe un bien perecedero, el cual tanto el principal como el agente consumen. El Principal es neutral al riesgo y el Agente es adverso al riesgo.

La función de utilidad periódica del Agente $v(c, a)$ es cerrada; estrictamente creciente y estrictamente cóncava con respecto de c ; así como estrictamente decreciente respecto de a . Donde c es el consumo al final del periodo, y a es la acción no observable por el Principal tomada por el Agente en el periodo.

Sea A el conjunto compacto de acciones factibles. Se asume la elección de a , el Agente entonces elige efectivamente bajo una distribución de probabilidad $y = y(a) \in Y$, donde Y es $f(y; a)$ que denota la probabilidad de que la realización del producto sea y , dado el esfuerzo a . Se asume $f(y; a) \geq 0$, $\forall y \in Y$ y $\forall a \in A$.

Dado el ambiente, el problema estático es elegir una acción $a \in A$ y un esquema de compensación $w(y) \in [0, y]$, $\forall y \in Y$ con la finalidad de maximizar

$$\int_Y [y - w(y)] f(y; a) dy$$

sujeto a

$$\int_Y v(w(y), a) f(y; a) dy \geq \int_Y v(w(y), a') f(y; a') dy, \quad \forall a' \in A$$

$$\int_Y v(w(y), a) f(y; a) dy = v_0,$$

donde la primera restricción es una restricción de compatibilidad de incentivos y la segunda restricción promete una utilidad esperada dada v_0 al Agente, que se conoce como restricción de participación.

En un conjunto dinámico, el problema es construir un esquema de compensación dependiente de la historia de realizaciones del producto $\{w_t(h^t)\}_{t=1}^\infty$, donde $h^t = \{y_1, y_2, \dots, y_t\} \in Y^t$ denota la historia hasta la fecha t , y y_t denota la realización del producto en la fecha t , junto con un plan de recomendación de acciones $\{a_t(h^{t-1})\}_{t=1}^\infty$, para maximizar el consumo previo descontado esperado del Principal, sujeto a la restricción de compatibilidad de incentivos y para deliberar una utilidad previa descontada esperada dada V_0 para el Agente.

Formalizando lo anterior, sea $\sigma = \{a_t(h^{t-1}), w_t(h^t)\}_{t=1}^\infty$ un contrato. Decimos que σ es factible si

$$A \in a_t h^{t-1}, 1 \leq t \forall, \in \forall Y^{t-1} h^{t-1} \quad (1)$$

$$0 \leq w_t(h^t) \leq y_t, \forall t \geq 1, \forall h^{t-1} \in Y^{t-1} \quad (2)$$

Aquí con (2) se requiere que la compensación en t sea no negativa y acotada por encima por la producción en t . Es razonable pensar que este supuesto debe ser relajado donde el Principal está permitido tener riqueza o tener acceso a un mercado de crédito. Por lo tanto, la restricción implícita es que el Agente no puede pedir prestado.

En cualquier periodo t , dada la historia h^t , la continuación del perfil de σ desde $t + 1$ en adelante es denotada por $\sigma | h^t$. Note que $\sigma = \sigma | h^0$, donde h^0 representa la historia nula. Dado que el Agente sigue el esquema de recomendación de acciones en la continuación del perfil desde $t + 1$ en adelante, y $U(\sigma | h^t)$ para el Principal, desde $t + 1$ en adelante, el contrato dicta los valores $V(\sigma | h^t)$ para el Agente y $U(\sigma | h^t)$ para el Principal, desde $t + 1$ en

adelante. Se puede definir ahora a σ como compatible en incentivos si $\forall t > 0$ y $\forall h^{t-1} \in Y^{t-1}$,

$$\int [v(w_t(h^t), a_t(h^{t-1})) + \beta V(\sigma | h^t)] f(y_t; a_t(h^{t-1})) dy_t$$

$$\geq \int [v(w_t(h^t), a_t(h^{t-1})) + \beta V(\sigma | h^t)] f(y_t; a_t(h^{t-1})) dy_t \quad \forall a_t \in A \quad (3)$$

Esta restricción es la compatibilidad de incentivos temporal de Green. El lado izquierdo de (3) es la utilidad descontada esperada del Agente si el elige, en t , tomar la acción recomendada $a_t(h^{t-1})$, y seguir el esquema de recomendación de acción en $\sigma | h^t$ desde $t+1$ en adelante. El lado derecho de (3) es la utilidad descontada esperada del Agente si toma una acción arbitraria a_t en el periodo t , y entonces sigue el esquema de recomendación de acción en $\sigma | h^t$ desde $t+1$ en adelante. Entonces (3) garantiza que el Agente no podría beneficiarse desviándose del plan de acción recomendada.

Se observa que dado $0 < \beta < 1$ y que el Agente tiene una utilidad acotada, la aplicación del principio de no improbabilidad y (3) implica que el Agente no puede beneficiarse a través de la desviación del plan de recomendación de acción en todo σ . Además, esto es un subjuego perfecto, en el sentido de que la negociación en cualquier periodo t , dada una historia h^{t-1} , el Agente no tendrá incentivo a desviarse en cualquier periodo futuro desde el plan de recomendación de acción original condicionado en h^{t-1} , i.e., $\{a_t(h^{t-1}) | h^{t-1}\}_{t=1}^{\infty}$.

Sea V el conjunto de todas las utilidades descontadas esperadas del Agente que pueden ser generadas por un contrato factible y compatible de incentivos, i.e.,

$$\mathcal{V} \equiv \{V \in \mathcal{W} | \exists \sigma \text{ s.a. (1), (2), (3), } V(\sigma | h^0) = V\},$$

Donde \mathcal{W} es el espacio en el cual V está permitido tomar valores. Se asume que \mathcal{W} es no vacío, compacto y es tal que también \mathcal{V} es no vacío. Ahora, para cada $V \in \mathcal{V}$, el problema de optimización que el Principal se enfrenta puede caracterizarse de la forma siguiente:

$$\max_{\sigma} U(\sigma | h^0) \text{ s.a. (1), (2), (3), } V(\sigma | h^0) = V$$

Se dice que una solución al problema anterior es un contrato óptimo que otorga una utilidad descontada esperada V al Agente.

Para cada $V \in \mathcal{V}$, sea

$$\mathcal{U}(V) \equiv \{U(\sigma | h^0) \mid \sigma \text{ s.a. (1), (2), (3), } V(\sigma | h^0) = V\} \quad (4)$$

$\mathcal{U}(V)$ es el conjunto factible y que satisface la restricción de compatibilidad de incentivos de la utilidad descontada esperada del Principal, dado que V debe ser otorgado al agente. El siguiente lema garantiza que un contrato óptimo existe para todo en V en \mathcal{V} .

Lema: $\mathcal{U}(V)$ es compacto, $\forall V \in \mathcal{V}$. La demostración de este lema puede revisarse en el artículo de Wang (1997).

Teniendo especificado el problema de optimización y mostrando que existe un contrato óptimo, se puede caracterizar con estos elementos una ecuación de Bellman. Primero, para todo $V \in \mathcal{V}$, dado el Lema, se define

$$U^*(V) \equiv \max \{U(\sigma | h^0) \in \mathcal{U}(V)\}$$

Es decir, $U^*(V)$ es la mejor utilidad esperada descontada del Principal que se alcanza por medio de un contrato factible con compatibilidad de incentivos, el cual promete una utilidad descontada esperada V al Agente. Después, se define el operador Γ , el cual mapea al espacio de funciones continuas acotadas $U : \mathcal{V} \rightarrow \mathbb{R}$ con sup norma en sí mismo, como sigue: para todo V ,

$$\Gamma(U)(V) \equiv \max_{a(V), w(y,V), \bar{V}(y,V)} \int [y - w(y, V) + \beta U(\bar{V}(y, V))] f(y; a(V)) dy$$

sujeto a

$$\begin{aligned} & \int [v(w(y, V), a(V)) + \beta \bar{V}(y, V)] f(y; a(V)) dy \\ & \geq \int [v(w(y, V), at(V)) + \beta \bar{V}(y, V)] f(y; at(V)) dy, \quad \forall at \in A \end{aligned} \quad (5)$$

$$\int [v(w(y, V), a(V)) + \beta \bar{V}(y, V)] f(y; a(V)) dy = V, \quad (6)$$

$$a(V) \in A \quad (7)$$

$$0 \leq w(y, V) \leq y \quad (8)$$

$$\bar{V}(y, V) \in \mathcal{V}, \quad (9)$$

Se tienen tres variables de decisión $a(V)$, $w(y, V)$ y $\bar{V}(y, V)$, las cuales son las contrapartes estacionarias de $a_t(h^{t-1})$, $w_t(h^t)$ y $V(\sigma | h^t)$ respectivamente. Las condiciones (7), (8), (5) y (6) son las contrapartes estacionarias de las cuatro restricciones en el problema de optimización del Principal. Finalmente, (9) refleja la idea de que, en cualquier periodo, el Principal y el Agente se enfrentan exactamente al mismo conjunto de utilidades descontadas esperadas del Agente que un contrato factible y con compatibilidad de incentivos. La siguiente proposición muestra que U^* es un punto fijo de Γ .

Proposición: $U^*(V) = \Gamma(U^*)(V)$, $\forall V \in \mathcal{V}$. De forma similar que el lema anterior, la demostración de esta proposición puede revisarse detalladamente en el artículo de Wang (1997).

Esta proposición proporciona una ecuación de Bellman para un contrato óptimo. Suponga que $[a(V), w(y, V), \bar{V}(y, V)]$ representa una regla de decisión óptima de la ecuación de Bellman. Entonces, se puede construir un contrato óptimo.

3 Aplicación de Algoritmos Evolutivos al Modelo de Agente-Principal

El propósito de esta sección es caracterizar la estructura de un contrato óptimo en un ejemplo numérico. La elección de formas funcionales y valores paramétricos se basa en Wang (1997); específicamente, la función de utilidad del Agente se asume es de forma exponencial, i.e.,

$$v(a, c) = -e^{\gamma(a-\alpha c)},$$

donde $\gamma > 0$ es el coeficiente de aversión al riesgo absoluto y $\alpha > 0$ mide el costo relativo del Agente de ejercer unidad de esfuerzo. Por el momento, se toman $\gamma = \alpha = 1$ para el modelo estándar. Para la tecnología de producción, se tiene dos niveles de esfuerzo factibles $A = \{a_L = 0.1, a_H = 0.2\}$.

Es decir, el Agente puede elegir entre un nivel bajo o un nivel alto de esfuerzo. Por lo tanto, $a_H > a_L$ indica que elegir el nivel bajo de esfuerzo es menos desgastante que elegir el nivel alto de esfuerzo. Ahora, se supone que la producción puede ser baja o alta, i.e.,

$$Y = \{y_L = 0.4, y_H = 0.8\},$$

y la función de probabilidad que asocia esfuerzo y producción se define de la forma

$$f(y_L; a_L) = f(y_H; a_H) = \frac{2}{3}$$

$$(y_L; a_H) = f(y_H; a_L) = \frac{1}{3}$$

Estas probabilidades se distinguen en capturar la idea de que entre más diligentemente trabaja el Agente, mayor es la probabilidad de una producción alta. Finalmente, el factor de descuento se fija como $\beta = 0.96$.

Para el espacio de la variable de estado, se distingue un intervalo factible $[V_*, V^*]$, donde:

$$V_* = -\frac{\exp(a_H)}{1 - \beta}$$

$$V^* = -\frac{\left[\frac{1}{3}\exp(a_L - y_L) + \frac{2}{3}\exp(a_L - y_H)\right]}{1 - \beta}$$

Note que V_* es la utilidad descontada esperada del Agente si él trabaja al máximo y consume cero en cada periodo. Por otro lado, V^* es la utilidad descontada esperada si él trabaja al mínimo en cada periodo pero disfruta consumir todo lo que se produce si y sólo si él trabajara al máximo en cada periodo. Así, cualquier utilidad descontada esperada por debajo de V_* o por encima de V^* no es admisible.

La solución numérica de la ecuación de Bellman es

$$\{U, V, a(V), w(V, y_H), w(V, y_L), \bar{V}(V, y_H), \bar{V}(V, y_L)\}$$

donde U y V son la utilidad descontada esperada del Principal y el Agente respectivamente; a es la acción óptima; $w(V, y_H)$ y $w(V, y_L)$ son la compensación actual para el Agente cuando la producción actual es alta y baja respectivamente; finalmente, $\bar{V}(V, y_H)$ y $\bar{V}(V, y_L)$ son los estados de mañana en adelante dado que la producción es baja y alta respectivamente.

Antes de que un algoritmo genético pueda ponerse a trabajar en un problema, se necesita un método para codificar las soluciones potenciales del problema de forma que la computadora pueda procesarlas. Un enfoque común es codificar las soluciones como cadenas de enteros o números decimales, donde cada posición representa algún aspecto particular de la solución (ver Fleming y Purshouse, 2002).

Considerando un horizonte finito para fines computacionales, el cromosoma de los individuos de nuestra población se caracteriza a través de 3 subcadenas de longitud N , donde N es el número de periodos que vive un individuo, es decir la longitud de nuestro cromosoma es de $3N$. La primera subcadena indica el historial de acciones o esfuerzos que realiza el individuo, la segunda y tercera

de ellas indican el historial de compensaciones dado que se tiene una producción alta o baja, respectivamente.

Por lo tanto, el cromosoma de un individuo queda definido de la siguiente forma,

$$[a_1(V), \dots, a_N(V); w_1(V, y_H), \dots, w_N(V, y_H); w_1(V, y_L), \dots, w_N(V, y_L)]$$

El historial de esfuerzo debe cumplir, según la condición (7), que $a_i \in A \forall i = \overline{1, N}$. Por otro lado, el esquema de compensación sujeto al nivel de producción debe cumplir la restricción (8), es decir,

$$0 \leq w_i(V, y_H) \leq y_H,$$

$$0 \leq w_i(V, y_L) \leq y_L,$$

$$w_i(V, y_L) \leq w_i(V, y_H) \quad \forall i = \overline{1, N}$$

De igual forma, el historial de la variable de estado sujeto al nivel de producción debe ser elegido dentro del intervalo factible $[V_*, V^*]$, es decir, se debe cumplir

$$\bar{V}_i(V, y_H) \in [V_*, V^*],$$

$$\bar{V}_i(V, y_L) \in [V_*, V^*],$$

$$\bar{V}_i(V, y_L) \leq \bar{V}_i(V, y_H) \quad \forall i = \overline{1, N}$$

El problema de cómo escribir la función de aptitud debe considerarse cuidadosamente para que se pueda alcanzar una mayor aptitud y verdaderamente signifique una mejor solución para el problema dado. Si se elige mal una función de aptitud o se define de manera inexacta, es posible que el algoritmo genético sea incapaz de encontrar una solución al problema, o acaba resolviendo el problema equivocado.

Dado que se tiene un horizonte finito, según Judd (1998), un algoritmo que sirve para realizar una aproximación numérica de U , la utilidad esperada descontada del Principal, así como de V , la utilidad esperada descontada del Agente, es a través de una inducción hacia atrás. Dicha inducción nos servirá para evaluar a los cromosomas de los individuos, son el objetivo de realizar un posterior ordenamiento de la población y efectuar una selección de los mejores individuos. Diremos que un individuo es mejor que otro si su cromosoma arroja valores mayores de las utilidades esperadas del Principal y del Agente.

4 Resultados

Dado que el problema del Agente Principal es un conflicto de intereses entre el Agente y el Principal, se realiza un algoritmo genético multiobjetivo, considerando como objetivos a optimizar: la utilidad esperada descontada del Agente, V , y, por otro lado, la utilidad esperada descontada del Principal U . Este enfoque representa una diferencia con las aproximaciones numéricas que se han realizado en la literatura del modelo dinámico de Agente-Principal.

El objetivo es encontrar un cromosoma que nos arroje soluciones óptimas para ambas funciones objetivo, las cuales se definieron utilizando inducción hacia atrás, como se describió en el apartado anterior. Esta búsqueda es controlada a través de las inspiraciones biológicas de mutación, recombinación genética y selección. Una descripción formal de optimización global es descrita por Bäck (1996) y de un problema de optimización multiobjetivo por Osyczka (1985).

El resultado de esta optimización multiobjetivo es una frontera de Pareto, o dominancia de Pareto, la cual está descrita por un conjunto de contratos óptimos que describen un nivel de utilidad tanto para el Agente como para el Principal.

El uso de un algoritmo genético multiobjetivo surge de la pugna de intereses entre el Agente y el Principal. Esta lucha de intereses es ideal para aplicar un algoritmo multiobjetivo, que se diferencia del método numérico utilizado por Wang (1997), donde maximiza la utilidad esperada descontada del Principal.

4.1 Modelo Estándar.

La frontera de Pareto de la Figura 1 es un gráfico donde se representan los contratos óptimos encontrados para ambos agentes del modelo. En el eje de las ordenadas se describe el nivel de utilidad alcanzado por el Agente, y en el eje de las abscisas se describe el nivel de utilidad alcanzado por el Principal. En este proceso se consideró una vida de 70 periodos² del Agente con un máximo de generaciones del algoritmo de 30 000 tiempos.

Estas variables, número de periodos de vida del Agente y número máximo de generaciones, se consideran de la forma tal que aseguremos que el algoritmo multiobjetivo alcance un nivel óptimo. En caso de considerar variaciones en el índice de mutación o de recombinación genética y mantener el número de periodos de vida del Agente como 70, sólo es necesario aumentar el número

²Se realizaron simulaciones considerando vidas de 80, 100, 150 y 200 periodos. Por cuestión de estética en los gráficos se considero la publicación de la simulación de 80 periodos, dado que los resultados no cambian sustancialmente.

máximo de generaciones que el algoritmo va a ejecutar para asegurar que se alcanza el nivel óptimo del algoritmo multiobjetivo. Si se aumenta el número de periodos de vida del Agente, de igual forma, se debe incrementar el número de generaciones.

Con los parámetros considerados para encontrar la frontera de Pareto de la Figura 1 es necesario que el algoritmo se deje correr 10 000 generaciones para asegurar que alcance el nivel óptimo. Las 20 000 generaciones restantes verifican que ya no hay cambios en la curva de contratos de dicho problema.

La frontera de Pareto obtenida sugiere un contrato óptimo en cada nivel de utilidad para ambos agentes, siguiendo un esquema de recomendación de acciones, de salarios y la utilidad esperada descontada del Agente desde t en adelante para cada nivel de producción, esta utilidad esperada descontada.³ La concavidad esta frontera de Pareto se debe a la existencia de asimetría de información entre el Agente y Principal y sugiere que ésta influye no sólo en el reparto del valor de la firma entre ambos sino también que el valor mismo de la firma está afectado por esta situación.

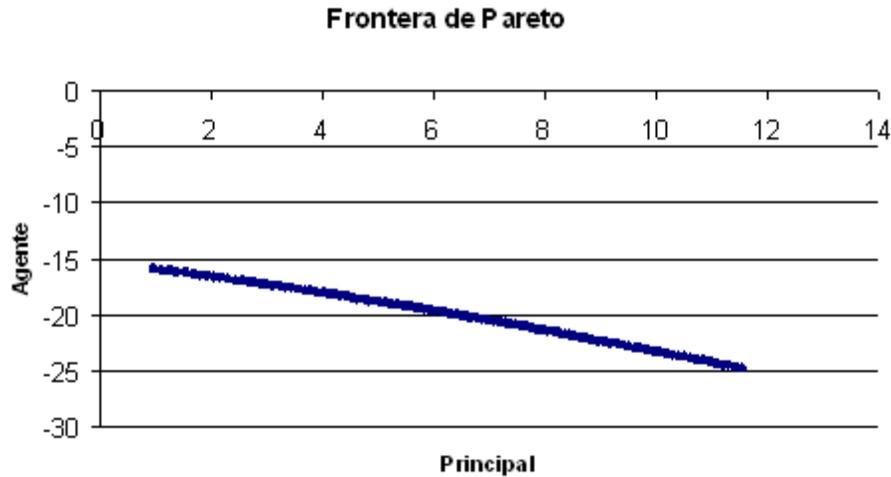


Figura 1. Frontera de Pareto del algoritmo genético multiobjetivo de un individuo que tiene una vida de 70 periodos, con un máximo de 30 000 generaciones.

La Figura 2 describe la utilidad esperada descontada alta y baja, con los cuales el Principal diseña un contrato óptimo para que él alcance la mayor utilidad esperada descontada. Dicho contrato es el primer punto que se encuentra sobre la curva de la Figura 1 de derecha a izquierda.

³La utilidad esperada descontada del agente desde t en adelante, debe interpretarse como una compensación futura, pues el salario es la compensación en t para cada nivel de producto.

En el gráfico de la utilidad esperada descontada del Agente alta y baja, se puede distinguir cómo la utilidad esperada descontada alta siempre es mayor que la utilidad esperada descontada baja, obedeciendo la restricción implementada en el problema. Esta gráfica es similar a la encontrada por Wang (1997) en su artículo.

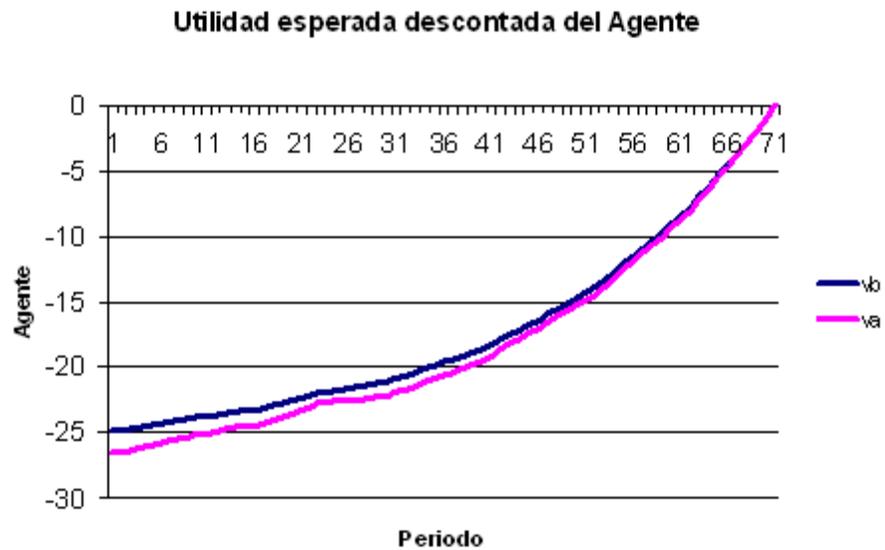


Figura 2. Gráfico de la utilidad esperada descontada alta y baja. Cuando el Principal alcanza su máxima utilidad.

Dado que este contrato es el mejor para el Principal, se distinguen muchos salarios bajos impuestos como cero, se piensa que es un Principal castigador de salario. Lo anterior se verifica en la gráfica de la Figura 3, así del comportamiento de imponer salarios no muy altos en los primeros periodos. Es importante notar que el Principal impone salarios bajos muy bajos en la mayoría de los periodos.

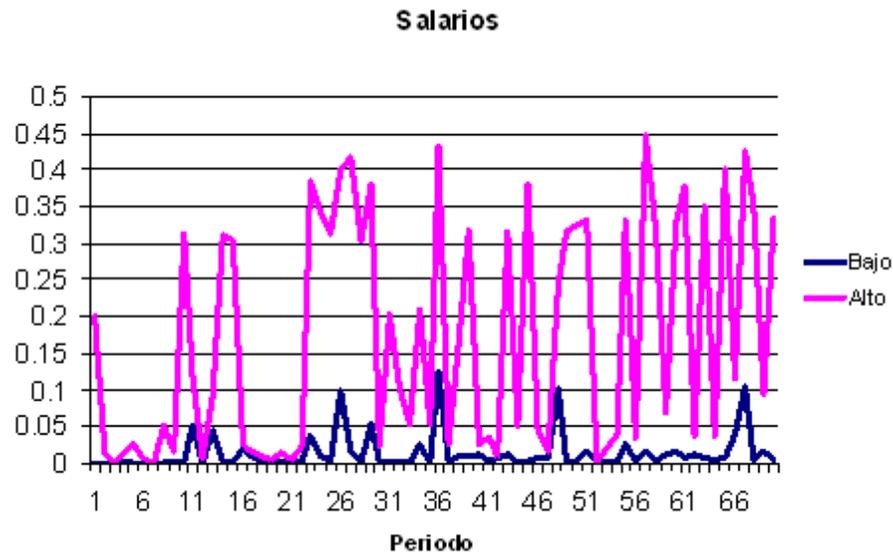


Figura 3. Gráfico de salarios altos y bajos. Cuando el Principal alcanza su máxima utilidad.

Con este par de gráficos se tiene un panorama completo del contrato óptimo con el cual el Principal puede alcanzar el nivel máximo de utilidad. Si él siguiera el historial de salarios altos y bajos, así como de niveles altos y bajos de la utilidad esperada descontada del Agente, asegura que el Agente realice un historial de esfuerzo que le producirá el mayor valor de la firma posible.

Un punto importante en la teoría de contratos es el tema de la compensación. En este contrato, donde el Principal obtiene el mayor beneficio, en los primeros periodos el Principal utiliza como compensación dominante a la utilidad esperada descontada, por el hecho de mantener salarios bajos en los primeros periodos. Mientras que en los últimos periodos utiliza como compensación dominante los salarios, pues le resulta menos costoso para el Principal en términos de su utilidad. La Figura 4 muestra un gráfico del historial de acciones que toma el Agente cuando el Principal toma el contrato que lo beneficia.

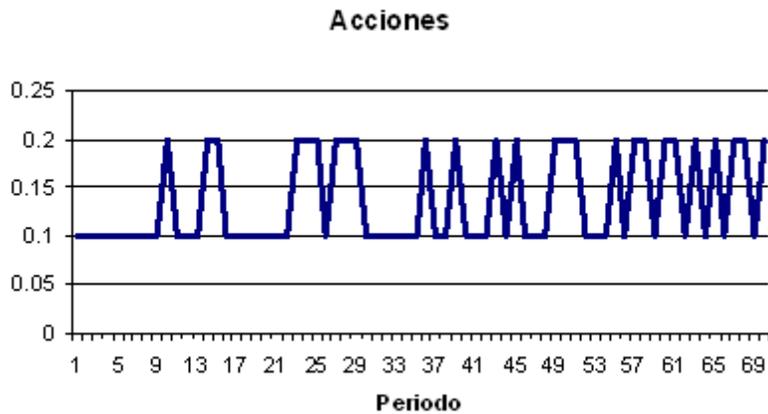


Figura 4. Gráfico de acciones que toma el Agente cuando el Principal alcanza su máxima utilidad.

Es importante notar que tanto el gráfico de la Figura 4 así como el gráfico de salario alto de la Figura 3 tienen un comportamiento topológico similar. Esto hace pensar que realmente el Principal es un castigador a partir de salarios. El Principal incentiva al Agente a realizar esfuerzos altos a partir de fijar un salario alto mayor.

La Figura 5 muestra un gráfico de la utilidad esperada descontada que alcanza el Principal cuando ofrece un contrato en el cual consigue la mayor utilidad posible. Esta función es decreciente pues es la utilidad esperada descontada del principal siguiendo el historial de salarios y utilidad esperada descontada del Agente que define a este contrato. En el periodo 71 el Principal logra una utilidad nula, pues en este modelo, la empresa sólo es activa en 70 periodos.

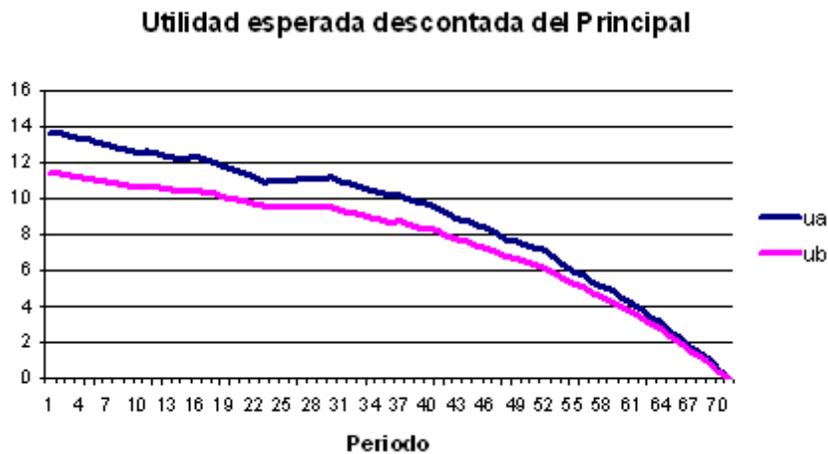


Figura 5. Gráfico de la utilidad esperada descontada del principal cuando el Principal alcanza su máxima utilidad.

En el gráfico de la Figura 5 se representa el sendero del mejor escenario que se enfrenta el Principal siguiendo el contrato que maximiza su utilidad esperada descontada; así como el sendero del peor escenario. Si el Agente y el Principal llevaran a cabo este contrato, descrito por los salarios e incentivos descritos anteriormente, la utilidad esperada descontada que alcanzará el principal se encontrará entre estos dos senderos.



Figura 6. Gráfico de diferencia de salarios para el contrato en el cual el Principal tiene el mayor beneficio.

En la Figura 6 se puede ver la diferencia, periodo a periodo, entre los salarios altos y bajos. El comportamiento del gráfico sugiere que del periodo 30 al

70, existen salarios con una diferencia mayor que en los primeros periodos, lo cual sustenta la idea de un Principal castigador. En los primeros periodos, la diferencia de salario es menor, esto nos hace pensar que el Principal fija salarios no tan dispersos pues usa predominantemente a la utilidad esperada descontada del Agente como instrumento de incentivos.

4.2 Análisis Comparativo del Modelo Estándar

Hasta ahora, sólo se ha analizado el contrato que beneficia al Principal. En las siguientes figuras se muestra un análisis entre tres contratos diferentes. El primero de ellos es el contrato que beneficia al Principal (CP); el segundo de ellos es el que beneficia al Agente (CA), con este contrato el Agente asegura la máxima utilidad esperada descontada que puede alcanzar; y finalmente, el contrato que se encuentra a la mitad del frente de Pareto, al cual se denota como el Contrato Social (CS).

Ahora se analiza CA, este contrato se ubica sobre el primer punto sobre la curva de la Figura 1 de izquierda a derecha. En este punto se encuentra el contrato donde el Agente obtiene la mayor utilidad posible, dado un contrato factible, mientras que el Principal obtiene la menor utilidad que pueda alcanzar. En CS, ni el Principal ni el Agente alcanzan obtienen ventaja en término de utilidad esperada descontada, es el contrato que se encuentra justo a la mitad de la frontera de Pareto.

La Figura 7a muestra los gráficos de la utilidad esperada descontada del Agente del CS y CP. Se etiqueta cada utilidad esperada descontada alta y baja con el nombre Principal y Social para distinguir la procedencia de la utilidad esperada descontada del Agente. Por otro lado, la Figura 7b muestra los gráficos de la utilidad esperada descontada del Agente del CS y CP. De manera similar, se etiqueta cada utilidad esperada descontada alta y baja con el nombre Agente y Social para distinguir la procedencia de la utilidad esperada descontada del Agente.

Con este gráfico se deduce que el Principal es quien toma todo el riesgo cuando se lleva a cabo CA. Esto se sustenta al comparar la diferencia de la brecha que se forma gracias al contrato que beneficia al Principal y la diferencia de la brecha que se forma en el contrato que beneficia al Agente; la diferencia de brecha del Agente es muy pequeña, él prácticamente no quiere confrontar la incertidumbre que presenta el modelo.

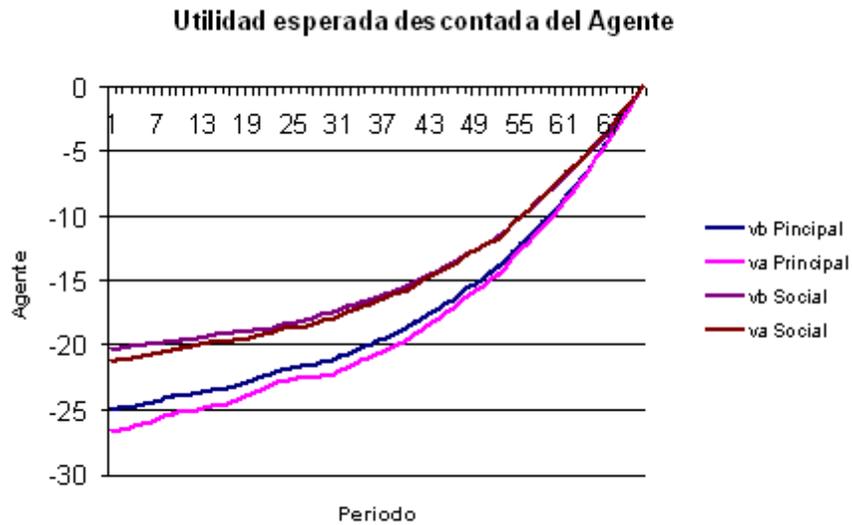


Figura 7a. Gráfico de la utilidad esperada descontada del Agente alta y baja.

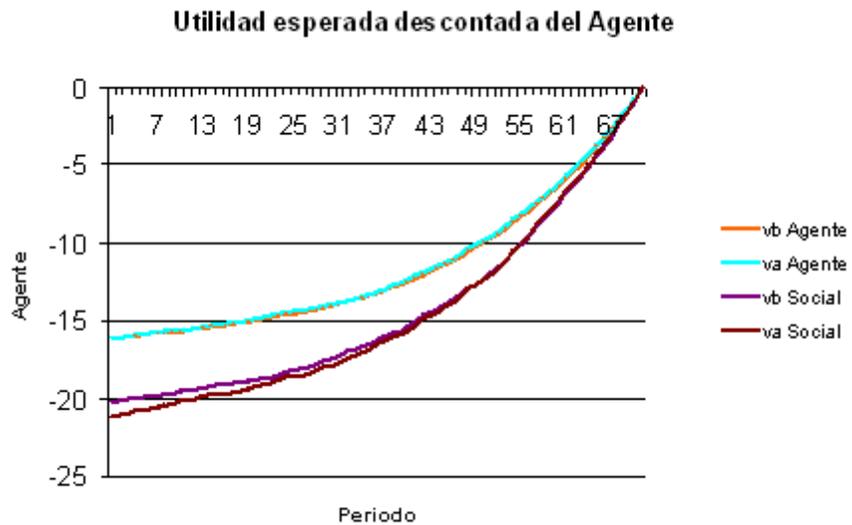


Figura 7b. Gráfico de la utilidad esperada descontada del Agente alta y baja.

Los salarios de estos tres contratos se pueden analizar de la Figura 8. En este gráfico se hace una comparación del CP y el CA. Los salarios que impone CA en ambos casos, salario bajo y salario alto, es mayor que los salarios que impone

CP. Note que los salarios bajos de estos dos contratos no varían; es decir, el contrato estimula los salarios a partir de imponer un salario alto variable en ambos. Para CS, tanto el salario bajo como el salario alto son variantes a lo largo de los periodos, esto indica que ambos son instrumentos que el Principal usa para proporcionar incentivos al Agente.

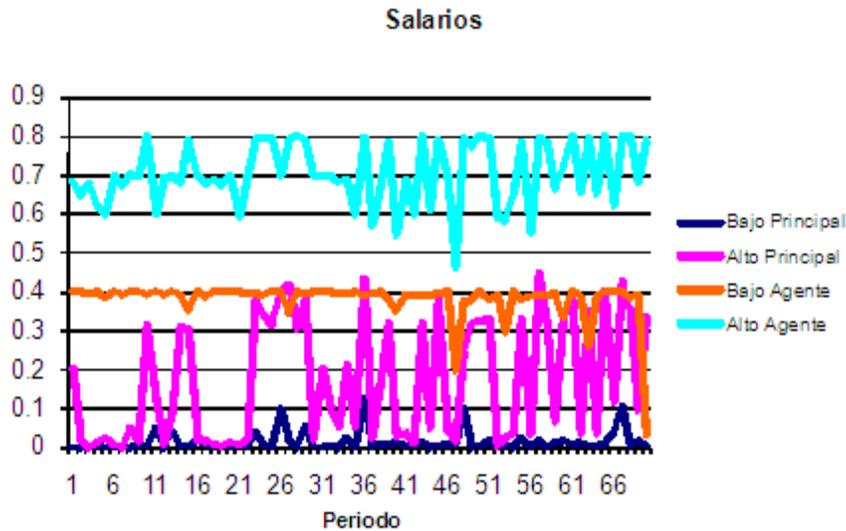


Figura 8. Gráfico de salarios que ofrece el Principal con CP y con CS.

Es interesante analizar el comportamiento de las acciones que realizará el Agente dado que se sigue un plan de estímulos de salarios, en la Figura 4 se analizó que la topología de las acciones era similar al comportamiento de los salarios alto. En la Figura 9 se constata que ese comportamiento es similar tanto en CP como en CA; no se puede decir lo mismo de CS. Note que las acciones son prácticamente iguales en los tres contratos. Esto implica que la diferencia entre CP como en CA se expresa en una diferencia de escala de salarios, mientras que CS no es comparable entre alguno de estos contratos. Para llegar a una conclusión es preciso ver la Figura 11, la diferencia de salarios para los tres contratos.

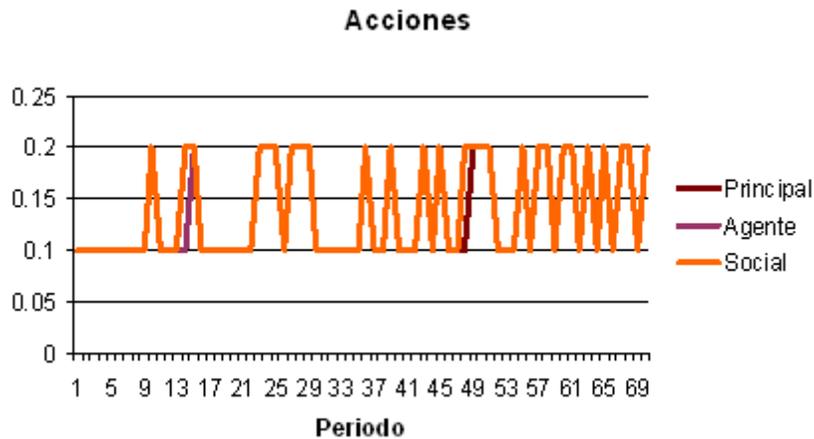


Figura 9. Gráfico de acciones que realiza el Agente cuando el Principal alcanza su máxima utilidad, cuando el Agente alcanza su máxima utilidad y del contrato Social.

Después de analizar la condición que alcanza el agente; es momento de analizar la condición de bienestar que alcanza el Principal. La Figura 10a y la Figura 10b indican cuál es el mejor y peor escenario que puede llegar a tener el Principal dado los tres contratos que se han estado analizando; de forma similar, se hace la comparación del CP y del CA tomando como base el CS. El gráfico de los senderos del peor y mejor escenario de CP está por encima del resto de los senderos; mientras que los senderos del peor y mejor escenario de CA sólo es superado por el peor escenario que impone CS. Esto analiza la brecha entre ambos senderos, la mayor brecha la impone CS, mientras que la menor brecha la dicta CA. Es decir, el Agente sigue teniendo un comportamiento donde expresa no desear tener aleatoriedad en su contrato; al imponer una brecha menor en la utilidad alcanzada tanto para él como para el Principal.

Utilidad esperada descontada del Principal

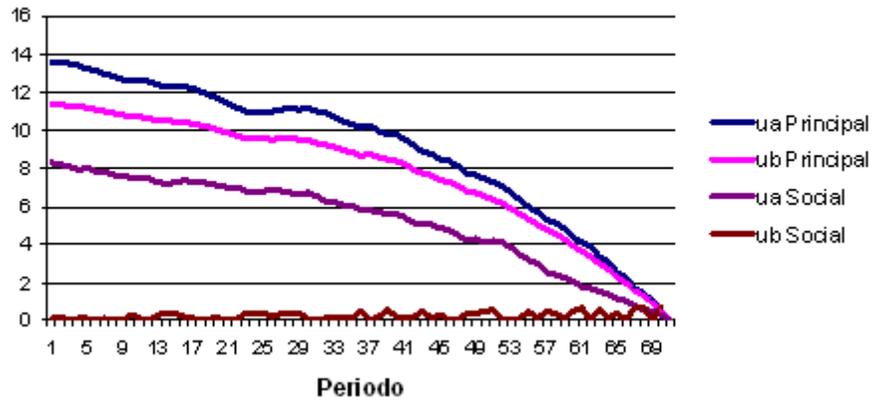


Figura 10a. Gráfico de la utilidad esperada descontada del principal con CS y CP.

Utilidad esperada descontada del Principal

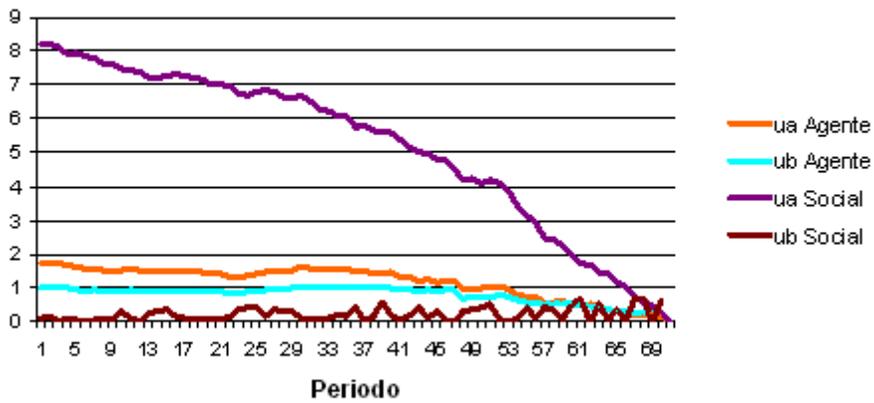


Figura 10b. Gráfico de la utilidad esperada descontada del principal con CS y CA.

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, la Figura 11 nos muestra como es el comportamiento de la diferencia de salarios periodo a periodo de los tres contratos. Como es de esperarse, la diferencia de salarios entre CP y CA son similares.

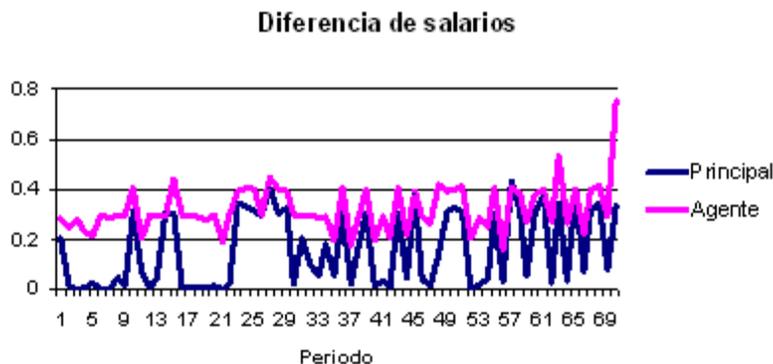


Figura 11. Gráfico de diferencia de salarios para el contrato en el cual el Principal tiene el mayor beneficio, cuando el Agente tiene el mayor beneficio y con el contrato Social.

4.3 Cambios en el factor de descuento

Un parámetro importante en el modelo es el factor de descuento, el cual indica cuán pacientes son el Agente y el Principal. En los ejemplos numéricos analizados anteriormente se consideró un $\beta = 0.96$. El valor de β puede afectar la utilidad descontada esperada de los individuos, esto puede usarse como mecanismo para incentivar un contrato óptimo.

Específicamente, un valor alto de β significa que el Agente y el Principal valoran más el mañana, esto puede proporcionar un uso más eficaz de la utilidad esperada descontada, ya sea como una recompensa o como un castigo cuando haya buenos o malos resultados, respectivamente. Por el contrario, un factor de descuento bajo es más probable que origine una sensibilidad negativa en el esquema de compensación.

Estas conjeturas ya han sido planteadas en la literatura relacionada. Para confirmar dichas afirmaciones, se debe realizar el algoritmo con varios valores de β . Se repitió el AG con tres valores de β , para elaborar un análisis en paralelo del problema ante cambios en el factor de descuento. La Figura 12 muestra la frontera de Pareto obtenida de considerar un valor de $\beta = 0.96$ como se ha estado manejando, un valor de $\beta = 0.90$ y un valor de $\beta = 0.98$.

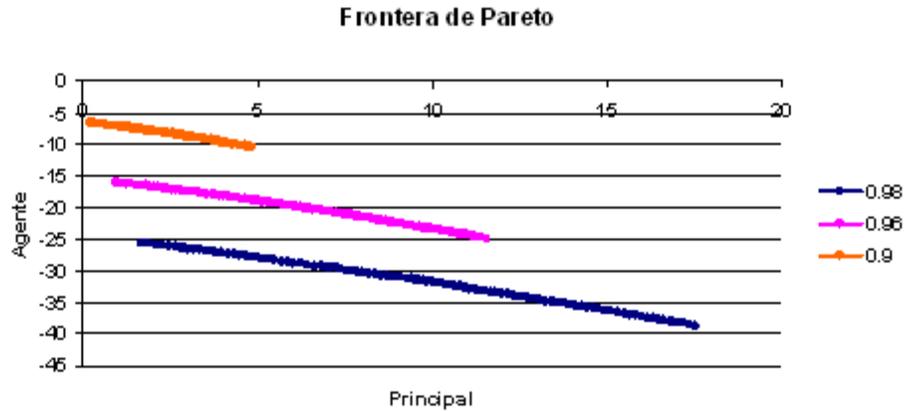


Figura 12. Frontera de Pareto ante cambios en el factor de descuento.

El gráfico de la Figura 12 indica que ante diferentes valores de factor de descuento se tiene la misma topología en las curvas de la frontera de Pareto. Sin embargo, con un valor de descuento bajo, se obtiene valores bajos de utilidad esperada descontada tanto para el Principal como para el Agente.



Figura 13. Diferencia de la utilidad esperada descontada del Agente ante cambios en el factor de descuento.

Ante cambios en el factor de descuento, el Principal a partir del periodo 12 ante un factor de descuento mayor asume un mayor riesgo que con un factor de

descuento menor. En el caso del Agente ante cualquier cambio que se realice en el factor de descuento, éste asumirá el menor riesgo posible. Lo anterior se verifica por la Figura 13, dónde se muestran las diferencias entre la utilidad esperada descontada alta y baja tanto para el Principal como para el Agente con diferentes valores del factor de descuento.

4.4 Cambios en el costo relativo de ejercer una unidad más de esfuerzo

Un parámetro importante en el modelo es el costo relativo de ejercer una unidad más de esfuerzo. En los ejemplos numéricos analizados anteriormente se consideró un $\alpha = 1$. Este valor de α implica para el Agente que una unidad de esfuerzo es equivalente a una unidad del bien de consumo.

Un valor de α mayor significa un esfuerzo del bien menos costoso. Por lo tanto, este nuevo valor realizará el modelo tan bien como lo hace el valor de 1. Lo que se puede esperar es que por un mismo nivel de esfuerzo aumente el nivel de consumo conforme aumente el costo relativo de esfuerzo y consumo.

Para ratificar esta conjetura, se debe realizar el algoritmo con varios valores de α . Se repitió el AG con tres costos diferentes para elaborar un análisis en paralelo del problema ante cambios en el costo relativo de ejercer una unidad más de esfuerzo. La Figura 15 muestra el frente de Pareto obtenido de considerar un valor de $\alpha = 1$ como se ha estado manejando, un valor de $\alpha = 0.5$ y un valor de $\alpha = 1.5$. Note que en los tres contratos la frontera de Pareto es similar en topología. El Principal alcanza con su contrato preferido el mismo valor de utilidad esperada descontada, mientras que el Agente a partir de un costo mayor obtiene un nivel de utilidad esperada descontada menor.

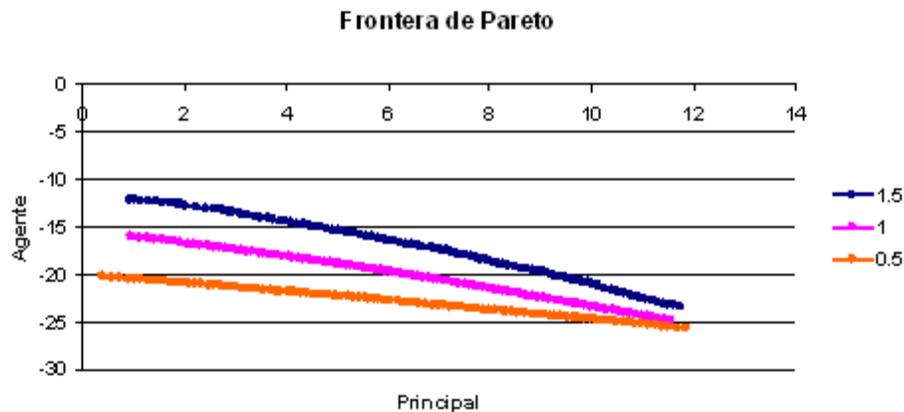


Figura 14. Frontera de Pareto ante cambios en el costo relativo.

En este ejercicio se obtiene un análisis detallado de salarios, utilidades esperadas descontadas de ambos agentes, acciones y, diferencia de salarios y utilidades esperadas descontadas de ambos agentes, en cada uno de los valores del costo relativo de ejercer una unidad más de esfuerzo. Con la Figura 15 se muestra un par de anotaciones del comportamiento del Principal y el Agente ante cambios en el costo relativo de ejercer una unidad de esfuerzo. La Figura 15 muestra la diferencia de la utilidad esperada descontada del Agente, tanto con un enfoque de CP como de CA, con los tres costos relativos antes mencionados.



Figura 15. Diferencia de la utilidad esperada decontada del agente ante cambios en el costo relativo.

Ante cualquier costo que enfrenta el Agente, este siempre deseará minimizar el riesgo. Esta afirmación es sustentada por el comportamiento que presenta la diferencia de la utilidad esperada descontada de la Figura 15, el contrato CA siempre es mejor a CP, ante cualquier costo. Note que ante un costo relativo menor el Agente diferencia más su utilidad esperada, mientras que ante un costo mayor es más adverso y preferirá minimizar riesgo. Por otro lado, el Principal a diferencia del Agente asume un mayor riesgo al enfrentarse a un contrato con un costo relativo de ejercer una unidad más de esfuerzo menor.

5 Conclusiones

El frente de Pareto que obtenemos a partir de un modelo dinámico de Agente-Principal, donde el Agente tiene aversión al riesgo y el Principal es neutral al

riesgo, es un frente de Pareto cóncavo con lo que se encuentra un resultado en línea con la literatura relacionada con este tipo de modelos, como por ejemplo el artículo de Spear y Srivastava (1987). Esta concavidad es producto de la asimetría de información entre el Principal y el Agente, la cual produce pérdidas de bienestar.

El esquema de incentivos que obtenemos cuando se resuelve el problema en función de la maximización de la utilidad esperada descontada del Principal, es similar a lo que normalmente se obtiene en la literatura relacionada donde ambos esquemas de compensación, presente y futura, se utilizan para la provisión de incentivos al Agente; pero que conforme aumenta el valor de reserva del Agente, predomina la compensación presente pues la compensación futura se hace cada vez más costosa para el Principal. Conforme nos movemos en la frontera de Pareto hacia los contratos donde se privilegia la utilidad esperada descontada del Agente, obtenemos esquemas de compensación donde el Principal es quien asume mayormente el riesgo inherente a la actividad productiva pues la compensación futura registra menores diferencias internas ante distintos resultados de productividad del Agente. Mientras que la compensación presente podría considerarse como el instrumento dominante de provisión de incentivos en estos casos pues los niveles de salarios cuando el Agente obtiene un resultado de alta productividad, son comparativamente mayores a aquéllos salarios respectivos cuando se privilegia la utilidad esperada descontada del Principal.

Por otra parte, ante variaciones en el factor de descuento del Agente y el Principal obtenemos que la frontera de Pareto preserva sus características topológicas. Sin embargo, cuanto más pacientes sean el Agente y el Principal ambos obtienen mayores valores de utilidad esperada descontada; es decir, la relación genera excedentes mayores.

Ante cambios en el costo relativo de ejercer una unidad adicional de esfuerzo, la frontera de Pareto sigue preservando sus características topológicas. Sin embargo, cuanto más costoso sea ejercer una unidad adicional de esfuerzo, más se acentúa la tendencia del Agente de preferir las situaciones donde la compensación futura sea igual ante distintos niveles de resultados de productividad y donde la compensación presente sea el instrumento de provisión de incentivos que premie resultados de mayor productividad.

Finalmente, como agenda de investigación futura se plantea la posibilidad de caracterizar analíticamente, en la mayor medida posible, los contratos óptimos ante distintos niveles de poder de negociación del Principal y del Agente.

6 Apéndice. Algoritmos Evolutivos.

Innumerables situaciones en el mundo real involucran de manera habitual problemas con múltiples criterios u objetivos a ser optimizados, como es el caso del

modelo que se presenta en este trabajo. Dichos escenarios aparecen desde áreas científicas tales como la medicina, geografía, química, física, economía, finanzas y ecología. A la par, han ido extendiéndose hasta aplicaciones de la ingeniería, eléctrica, electrónica, hidráulica, robótica, control, mecánica, aeronáutica, redes, telecomunicaciones, diseño industrial, transporte, construcción, logística, entre otras.

Las técnicas de optimización convencionales, tales como el método del gradiente, procedimientos basados en el Simplex o ciertas herramientas heurísticas rudimentarias son difíciles de adaptar a situaciones multi-criterio, pues no fueron diseñadas bajo este esquema. Es por ello que en la práctica los problemas multi-criterio son replanteados como problemas unicriterio conduciendo a la producción de una única solución por medio de la ejecución de un algoritmo optimizador.

Sin embargo, es a partir de que Rosenberg (1967) sugiere la posibilidad del uso de los Algoritmos Evolutivos, EAs por sus siglas en inglés, en la resolución de problemas de optimización multi-criterio. Así, nace una nueva área conocida como optimización evolutiva multi-criterio; EMO de sus siglas del inglés, véase Coello (1999). El interés en este campo ha ido en incremento a través de los años, aumento propiciado esencialmente por las características de los EAs que los hacen eficientes ante problemáticas multi-criterio.

El campo de los EAs, constituido básicamente por la Programación Evolutiva, EP de sus siglas en inglés, de Fogel *et al.* (1966), los Algoritmos Genéticos, GAs por sus siglas en inglés, propuestos por Holland (1975) y las Estrategias Evolutivas, ES por sus siglas en inglés, de Rechenberg (1973), se inspira en los mecanismos de evolución de los sistemas biológicos naturales a diferentes niveles de abstracción.

La idea se basa en la existencia de un conjunto de individuos en un entorno biológico, los cuales evolucionan de generación en generación con la finalidad de adaptarse a las dificultades que su medio ambiente les impone. El proceso de evolución se lleva a cabo mediante la reproducción, variación aleatoria, competencia y selección del material genético de cada individuo; es decir, sus cromosomas. Este proceso de selección natural es un mecanismo de aprendizaje que a lo largo del tiempo, genera individuos aptos para sobrevivir en un ambiente definido.

En un contexto heurístico, el entorno biológico es un problema de optimización. Cada individuo o cadena cromosómica o cromosoma equivale a una solución alterna al problema en cuestión. El conjunto de individuos en una generación se denomina población; cada cromosoma se conforma por un conjunto de genes, equiparables al vector de variables del problema, que toman ciertos valores, alelos, de un alfabeto genético. La información contenida en dichas variables en su representación original es denominada genotipo y su traducción

a rasgos visibles, fenotipo. A cada individuo se le asocia un valor de aptitud que define que tan bien adaptado está al entorno. En nuestro modelo Agente-Principal, el valor de aptitud corresponde a la utilidad esperada descontada de cualquiera de los actores del modelo en el periodo previo a la contratación, $t = 0$.

Los GAs son el enfoque más conocido dentro de los EAs, éstos involucran procesos de apareamiento, mutación y selección que guían al perfeccionamiento de los individuos a lo largo del tiempo, su abstracción de la teoría evolutiva es a nivel de individuo. Por otra parte, las ES son una abstracción de la teoría evolutiva a nivel de individuo, por lo que implican de manera natural los procesos de apareamiento y mutación. En cuanto a la EP, ésta visualiza la inteligencia como un comportamiento adaptativo, por lo que representa una abstracción de la teoría evolutiva a nivel de especies, individuos de distintas especies no pueden cruzarse entre sí. Debido a esto, la EP no requiere un proceso de apareamiento, ya que enfatiza los lazos de comportamiento entre padres e hijos, en vez de emular operadores genéticos específicos.

Un EA diseñado con la finalidad de tratar de resolver un MOP es conocido como Algoritmo Evolutivo Multi-Criterio, MOEA por sus siglas en inglés. Un MOEA se caracteriza por combinar el proceso de optimización, en el que se busca encontrar el óptimo de Pareto, con uno de toma de decisiones multi-criterio, en el que se busca un acuerdo satisfactorio entre los criterios contrapuestos. Esta contraposición de criterios es una de las características principales que pueden determinar el uso de un MOEA ante otro tipo de métodos evolutivos. Así, el modelo Agente-Principal es ideal para aplicar un MOEA, por la lucha de intereses contrapuesta de los actores del modelo.

El proceso de optimización de un MOEA está dado por un proceso de búsqueda de soluciones no dominadas; un EA adapta individuos, conjunto de soluciones, por lo que es posible extrapolar el concepto de Pareto a nivel generación. Así, se caracteriza como una generación a un conjunto de soluciones factibles de un problema multiobjetivo. En el modelo Agente-Principal, una generación es un arreglo de enteros de una matriz bidimensional de acciones, salarios altos y bajos, Dicha matriz se caracteriza por tener una profundidad igual a cantidad de individuos que caracterizan una población; y una longitud tres veces al número de contratos que el Principal diseña que el Agente participará en la empresa.

Los MOEAs son un enfoque efectivo dentro de la MO al sustentar las siguientes ventajas:

En Coello (1999) se determina que el paralelismo implícito permite obtener varias soluciones no dominadas en una sola ejecución del algoritmo.

Tanto Fonseca (1995) así como Coello *et al.* (2002) estudian la independencia de la forma o continuidad de la región factible de las variables de decisión. Concluyen que dichas regiones factibles son capaces de tratar espacios de búsqueda discontinuos, multimodales o disjuntos.

Fonseca *et al.* (1995) estudian la independencia de la función de evaluación, las cueles destacan no son susceptibles a funciones de evaluación con ruido.

Capacidad de manipular búsqueda y decisión multi-criterio en forma simultánea, debido a su habilidad para escudriñar en espacios parcialmente ordenados por múltiples intercambios alternativos. Según Horn (1997) son los únicos algoritmos capaces de ocuparse de los dos problemas inmersos en los MOPs de manera natural: búsqueda y decisión multi-criterio.

Referencias

- Bäck, T. 1996. Evolutionary algorithms in theory and practice. Oxford University Press, New York.
- Coello, C. 1999. A Comprehensive Survey of Evolutionary-Based Multi-objective Optimization Techniques, Knowledge and Information Systems. An International Journal. 1. 269-308.
- Coello, C. A., D. A. Van Veldhuizen y G. B. Lamont. 2002 Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems, Kluwer Academic Publishers.
- Demougin, D. y C. Helm. 2010. Moral Hazard and Bargaining Power. Por publicarse en German Economic Review.
- Fernandes, A. y C. Phelan. 2000. A recursive formulation for repeated agency with history dependence. Journal of Economic Theory. 91. 223-247.
- Fleming, P. y R. C. Purshouse. 2002. Evolutionary algorithms in control systems engineering: a survey. Control Engineering Practice.10. 223-241.
- Fonseca, C. y P. Fleming.1995. An Overview of Evolutionary Algorithms in Multiobjective Optimization, Evolutionary Computation. 3.1-16.
- Fogel, L. J., A. J. Owens y M. J. Walsh. 1966. Artificial intelligence through simulated evolution. New York: Wiley.
- Holland, H. J. 1973. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press.
- Holmstrom, B. 1979. Moral hazard and observability. Bell Journal of Economics. 10. 74-91.
- Horn, J. 1997. Multicriterion Decision Making, in Thomas Bäck, David Fogel and Zbigniew Michalewicz (editors). Handbook of Evolutionary Computation. Publishing Ltd. and Oxford University Press.
- Judd, K. L. 1998. Numerical methods in economics. The MIT Press.
- Osyczka, A. 1985. Multicriteria optimization for engineering design. In Gero, J. S. (editor). Design Optimization. Academic Press.
- Rechenberg, I.1973. Evolution strategies, Friedrich Frommann Verlag.
- Rosenberg, R. S. 1967. Simulation of genetic populations with biochemical properties, PhD thesis, University of Michigan, Ann Harbor, Michigan.
- Rubinstein, A. 1982. Perfect Equilibrium in a Bargaining Model. Econometrica. 50. 97-109.
- Spear S. and S. Srivastava. 1987. On repeated moral hazard with discounting. Review of Economic Studies. 54. 599-617.

Wang, C. 1997. Incentives, CEO Compensation, and Shareholder Wealth in a Dynamic Agency Model. *Journal of Economic Theory*. 76. 72-105.

Novedades

DIVISIÓN DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

- Regina de Angoitia y Fernando Ramírez, *Strategic Use of Mobiles in Latin America and the Caribbean*, DTAP-231
- Guillermo M. Cejudo y Dionisio Zabaleta, *La calidad del gobierno: una definición basada en atributos del ejercicio del poder*, DTAP-232
- Laura Sour y Eunises Rosillo, *Evaluación de la estructura de la contabilidad gubernamental en los tres niveles de gobierno en México*, DTAP-233
- Judith Mariscal y Regina de Angoitia, *Inclusión de jóvenes al mundo laboral vía capacitación en TIC*, DTAP-234
- Fernando González y José Ramón Gil García, *E-democracia y oportunidades de participación ciudadana en los portales web estatales*, DTAP-235
- Judith Mariscal y Federico Kuhlmann, *Effective Regulation in Latin American Countries. The cases of Chile, Mexico and Peru*, DTAP-236
- Ma. Amparo Casar, *La otra reforma*, DTAP-237
- Laura Sour y Fredy Girón, *Electoral Competition and the Flypaper Effect in Mexican Local Governments*, DTAP-238
- Laura Sour, *Gender Equity, Enforcement Spending and Tax Compliance in Mexico*, DTAP-239
- Lizbeth Herrera y José Ramón Gil García, *Implementación del e-gobierno en México*, DTAP-240

DIVISIÓN DE ECONOMÍA

- Juan Rosellón, Ingo Vogelsang y Hannes Weigt, *Long-run Cost Functions for Electricity Transmission*, DTE-465
- Antonio Jiménez, *Notes on the Constrained Suboptimality Result by J. D. Geanakoplos and H. M. Polemarchakis (1986)*, DTE-466
- David Mayer, *Long-Term Fundamentals of the 2008 Economic Crisis*, DTE-467
- Luciana Moscoso, *Labels for Misbehavior in a Population With Short-Run Players*, DTE-468
- Daniel Ángeles y Rodolfo Cermeño, *Desempeño de estimadores alternativos en modelos GARCH bivariados con muestras finitas*, DTE-469
- Antonio Jiménez, *Strategic Information Acquisition in Networked Groups with "Informational Spillovers"*, DTE-470
- Rodolfo Cermeño y Mahetabel Solís, *Impacto de noticias macroeconómicas en el mercado accionario mexicano*, DTE-471
- Víctor Carreón, Juan Rosellón y Eric Zenón, *The Hydrocarbon Sector in Mexico: From the Abundance to the Uncertain Future*, DTE-472
- John Scott, *The Incidence of Agricultural Subsidies in Mexico*, DTE-473
- Alfredo Cuecuecha y John Scott, *The Effect of Agricultural Subsidies on Migration and Agricultural Employment*, DTE-474

DIVISIÓN DE ESTUDIOS INTERNACIONALES

- Guadalupe González, Ferrán Martínez y Jorge Schiavon, *Free Trade, Las Américas y el Mundo 2008*, DTEI-185
- Rafael Velázquez y Jorge Schiavon, *La Iniciativa Mérida en el marco de la relación México-Estados Unidos*, DTEI-186
- Rafael Velázquez y Jorge Schiavon, *Marco normativo e institucional de la cooperación internacional descentralizada...*, DTEI-187
- Guadalupe González, Ferrán Martínez y Jorge Schiavon, *The Américas and the World: Foreign policy and public opinion...*, DTEI-188
- Jorge Chabat, *La política exterior mexicana durante el gobierno de Fox: una transición en espera*, DTEI-189
- Alejandro Anaya, *Altos niveles de presión transnacional sobre México por violaciones de derechos humanos*, DTEI-190
- Andrea Barrios, *Food Security and WTO Obligations in the Light of the Present Food Crisis*, DTEI-191
- Covadonga Meseguer y Abel Escribà Folch, *Learning, Political Regimes and the Liberalization of Trade*, DTEI-192
- Jorge Chabat, *El narcotráfico en las relaciones México-Estados Unidos: Las fuentes del conflicto*, DTEI-193
- Farid Kahhat y Carlos E. Pérez, *El Perú, Las Américas y el Mundo. Política exterior y opinión pública en el Perú 2008*, DTEI-194

DIVISIÓN DE ESTUDIOS JURÍDICOS

- Gustavo Fondevila, *"Madrinas": Informantes y parapolicías. La colaboración ilegal con el trabajo policial en México*, DTEJ-34
- Gustavo Fondevila, *Costumbres sociales y moral judicial*, DTEJ-35
- María Mercedes Albornoz, *Choice of Law in International Contracts in Latin American Legal Systems*, DTEJ-36
- Gustavo Fondevila, *Contacto y control del sistema de informantes policiales en México*, DTEJ-37
- Ana Elena Fierro y Adriana García, *¿Cómo sancionar a un servidor público del Distrito Federal y no morir en el intento?*, DTEJ-38
- Ana Elena Fierro, *Transparencia: Herramienta de la justicia*, DTEJ-39
- Marcelo Bergman, *Procuración de justicia en las entidades federativas. La eficacia del gasto fiscal de las Procuradurías Estatales*, DTEJ-40
- José Antonio Caballero, *La estructura de la rendición de cuentas en México: Los poderes judiciales*, DTEJ-41
- Ana Laura Magaloni, *El ministerio público desde adentro: Rutinas y métodos de trabajo en las agencias del MP*, DTEJ-42
- Carlos Elizondo y Ana Laura Magaloni, *La forma es fondo. Cómo se nombran y cómo deciden los ministros de la Suprema Corte de Justicia de la Nación*, DTEJ-43

DIVISIÓN DE ESTUDIOS POLÍTICOS

- Francisco Javier Aparicio y Sandra Jessica Ley, *Electoral Institutions and Democratic Consolidation in the Mexican States, 1990-2004*, DTEP-208
- Joy Langston, *Las reformas electorales de 2007*, DTEP-209
- Carlos Elizondo, *La industria del amparo fiscal*, DTEP-210
- María de la Luz Inclán, *Threats and Partial Concessions in the Exhaustion of the Zapatista Wave of Protest, 1994-2003*, DTEP-211
- Andreas Schedler, *Inconsistencias contaminantes. Gobernación electoral y conflicto postelectoral en las elecciones presidenciales de 2006*, DTEP-212
- Andreas Schedler, *Academic Market Failure. Data Availability and Quality in Comparative Politics*, DTEP-213
- Allyson Benton, *Politics and Sector-Specific Stock Market Performance*, DTEP-214
- Andreas Schedler, *The New Institutionalism in the Study of Authoritarian Regimes*, DTEP-215
- Julio Ríos Figueroa, *Institutions for Constitutional Justice in Latin America*, DTEP-216
- Francisco Javier Aparicio y Joy Langston, *Committee Leadership Selection without Seniority: The Mexican Case*, DTEP-217

DIVISIÓN DE HISTORIA

- Michael Sauter, *Conscience and the Rhetoric of Freedom: Fichte's Reaction to the Edict on Religion*, DTH-53
- Jean Meyer, *El celibato sacerdotal en la Iglesia Católica*, DTH-54
- Jean Meyer, *El celibato sacerdotal católico en los siglos XIX y XX*, DTH-55
- Mauricio Tenorio, *Around 1919 and in Mexico City*, DTH-56
- Michael Sauter, *Between Outer Space and Human Space: Knowing Space as the Origin of Anthropology*, DTH-57
- Luis Medina, *Federalismo mexicano para principiantes*, DTH-58
- Mónica Judith Sánchez, *Liberal Multiculturalism and the Problems of Difference in the Canadian Experience*, DTH-59
- Luis Medina, *El Plan de Monterrey de 1855: un pronunciamiento regionalista en México*, DTH-60
- Luis Medina, *La organización de la Guardia Nacional en Nuevo León*, DTH-61
- Luis Medina, *La Comanchería*, DTH-62

Ventas

El CIDE es una institución de educación superior especializada particularmente en las disciplinas de Economía, Administración Pública, Estudios Internacionales, Estudios Políticos, Historia y Estudios Jurídicos. El Centro publica, como producto del ejercicio intelectual de sus investigadores, libros, documentos de trabajo, y cuatro revistas especializadas: *Gestión y Política Pública*, *Política y Gobierno*, *Economía Mexicana Nueva Época* e *Istor*.

Para adquirir cualquiera de estas publicaciones, le ofrecemos las siguientes opciones:

VENTAS DIRECTAS:	VENTAS EN LÍNEA:
Tel. Directo: 5081-4003 Tel: 5727-9800 Ext. 6094 y 6091 Fax: 5727 9800 Ext. 6314 Av. Constituyentes 1046, 1er piso, Col. Lomas Altas, Del. Álvaro Obregón, 11950, México, D.F.	Librería virtual: www.e-cide.com Dudas y comentarios: publicaciones@cide.edu

¡¡Colecciones completas!!

Adquiere los CDs de las colecciones completas de los documentos de trabajo de todas las divisiones académicas del CIDE: Economía, Administración Pública, Estudios Internacionales, Estudios Políticos, Historia y Estudios Jurídicos.



¡Nuevo! ¡¡Arma tu CD!!



Visita nuestra Librería Virtual www.e-cide.com y selecciona entre 10 y 20 documentos de trabajo. A partir de tu lista te enviaremos un CD con los documentos que elegiste.