Universitat Autònoma de Barcelona
Curs 2002-2003

Breviario de Economía de la Información[1]

Introducción

La economía de la información es la teoría de los contratos en información asimétrica. Su propósito es el diseño de contratos óptimos en función de la información de la que disponen las partes implicadas en la relación contractual.

Repasamos los dos conceptos centrales: contrato e información asimétrica.

- **Contrato**: compromiso credible que obliga a las dos partes que lo firman que son: el principal (el que propone el contrato) y el agente (el que acepta/rechaza la propuesta). La economía de la información también se denomina teoría principal-agente.
  - Naturaleza del compromiso: especifica las obligaciones del principal y del agente en todas las contingencias posibles.
  - Requisito de credibilidad: las dos partes firmantes necesitan garantías de cumplimiento de las cláusulas del contrato. Las contingencias a las que están supeditadas las obligaciones mutuas deben ser verificables y, por tanto, basadas en variables observables.
- **Información asimétrica**: la información es relativa a las variables verificables. La información es simétrica cuando el principal y el agente poseen el mismo grado de conocimiento de la situación antes y en todo momento de la relación contractual. La información es asimétrica cuando una parte posee más información relevante para los términos de la relación contractual que su contraparte. Dos grandes familias:
  - *riesgo moral*: el principal no observa las decisiones del agente una vez establecida la relación contractual
  - *selección adversa*: antes de iniciar la relación contractual, el agente posee información privada sobre algunas de las variables relevantes para esta relación. La señalización es una forma particular de selección adversa.

Un elemento clave del estudio de los contratos óptimos es la presencia de conflicto de intereses entre el principal y el agente, presentes, por ejemplo, en una relación contractual laboral donde principal$(\underset{-}{salario},\underset{+}{esfuerzo})$ pero agente$(\underset{+}{salario},\underset{-}{esfuerzo})$. La asimetría de información agudiza el conflicto de intereses. La información privada conlleva ventajas comparativas que se traducen en rentas de información.

Decisión con incertidumbre

Presentación

Elegir entre dos o varias alternativas de consecuencias ciertas, predecibles y conocidas de antemano es un acto trivial. Basta con comparar la consecuencia monetaria de cada alternativa y elegir la de

[1] Estos apuntes pueden contener errores tipográficos o incluso de cálculo y no cubren necesariamente toda la materia proporcionada en clase por el profesor. En caso de encontrar errores, podéis escribir a antoni.calvo@uab.es.

mayor pago. Elegir entre dos o varias alternativas de consecuencias inciertas se transforma en un problema complejo. Efectivamente, ¿cómo comparar sucesos aleatorios impredecibles entre sí?

En presencia de incertidumbre, las alternativas (de consecuencias impredecibles) son meras loterías con pagos inciertos. Tomar una decisión en un entorno incierto es, pues, sinónimo de apostar por una lotería. Tomar la decisión óptima consiste en realizar la mejor apuesta (desde el punto de vista del que toma la decisión).

Vemos primero como representar loterías de pagos inciertos. Luego, describimos un método para comparar loterías entre sí y poder llevar a cabo la decisión.

Modelizar la incertidumbre: las loterías

En presencia de incertidumbre, las consecuencias de cada alternativa son desconocidas. Para representar estas consecuencias inciertas introducimos tres elementos:

- – la lista de los estados posibles de la naturaleza o eventos impredecibles no controlables por parte del individuo que toma la decisión, que anotamos $\varepsilon_1, ..., \varepsilon_n$
  – las consecuencias de cada alternativa en cada uno de estos estados posibles de la naturaleza o pagos que se obtienen en cada estado de la naturaleza, que anotamos $x_1, ..., x_n$
  – la información del individuo que toma la decisión sobre la posibilidad de ocurrencia de los distintos estados de la naturaleza. Suponemos que el individuo asigna una probabilidad $0 \geq p_i \geq 1$ a la realización del estado ε_i, donde los $p_1, ..., p_n$ cumplen la condición de normalización $p_1 + ... + p_n = 1$.

Ejemplo Un individuo debe decidir si participa en el juego siguiente. Se tira una moneda al aire. Si acierta, gana 10\$; si no acierta, pierde 10\$. Los estados de la naturaleza son: ganar (ε_1) o perder (ε_2), de pagos respectivos $x_1 = 10$ y $x_2 = -10$, y de probabilidades respectivas (en este caso), $p_1 = 1/2$ y $p_2 = 1/2$ (se cumple $p_1 + p_2 = 1$).

Cada evento incierto o lotería ℓ está completamente caracterizada por los elementos descritos más arriba. Utilizamos la notación siguiente:

$$\ell = (x_1, \ldots, x_n; p_1, \ldots, p_n) .$$

En el ejemplo anterior, $\ell = \left(10, -10; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$. Representación gráfica.

Elegir entre loterías: la ganancia esperada $E(\ell)$

A cada lotería $\ell = (x_1, \ldots, x_n; p_1, \ldots, p_n)$ asociamos un valor numérico $E(\ell) = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i$. Comparar loterías consiste entonces simplemente en comparar ganancias esperadas. El ejemplo anterior.

Loterías y riesgo: la utilidad esperada $Eu(\ell)$

El concepto de ganancia esperada no siempre prescribe decisiones de acuerdo con la intuición. Con $\ell = \left(99, -1; \frac{1}{100}, \frac{99}{100}\right)$ y $\ell' = \left(99.000, -1.000; \frac{1}{100}, \frac{99}{100}\right)$, tenemos, $E(\ell) = E(\ell')$, que indica indiferencia entre ambas alternativas, en contradicción con el comportamiento real.

En realidad, incertidumbre es sinónimo de riesgo. Las decisiones en contexto de incertidumbre son siempre elecciones arriesgadas y cabe ponderar el riesgo inherente a cada alternativa antes de decidirse. El concepto de utilidad esperada permite tener en cuenta estas consideraciones de riesgo.

Cada individuo posee su propia relación de preferencia o criterio de clasificación con el que ordena las loterías. Como las loterías son pagos aleatorios, este criterio individual de clasificación depende en particular de la percepción particular de la incertidumbre o percepción del riesgo.

Cuando las relaciones de preferencias sobre loterías cumplen ciertos requisitos (completud, transitividad, continuidad, independencia), cada individuo se caracteriza por una función de los pagos $u(x_i)$ que asocia a cada pago monetario una medida de la satisfacción que el individuo deriva del mismo. Esta función u se llama función de utilidad de *Von Neumann-Morgenstern* (VNM). La valoración que un individuo de función de utilidad VNM u asigna a una lotería $\ell = (x_1, \ldots, x_n; p_1, \ldots, p_n)$ es

$$Eu(\ell) = \sum_{i=1}^{n} p_i u(x_i)$$

que denominamos *utilidad esperada* de ℓ. Para comparar loterías, comparamos utilidades esperadas. El criterio de comparación varía con la forma de u, es decir, con la característica idiosincrática de percepción del riesgo.

Ejemplo Considérense las dos loterías siguientes:

$$\begin{cases} \ell_1 = \left(4, 2; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) \\ \ell_2 = \left(1, 5; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) \end{cases}$$

Tenemos

$$\begin{cases} E(\ell_1) = \frac{1}{2} \times 4 + \frac{1}{2} \times 2 = 3 \\ E(\ell_2) = \frac{1}{2} \times 1 + \frac{1}{2} \times 5 = 3 \end{cases}$$

es decir, indiferencia entre ambas loterías de acuerdo con el criterio de la ganancia esperada.

Sea $u(x) = x^2$, denominadas preferencias cuadráticas. Tenemos

$$\begin{cases} Eu(\ell_1) = \sum_i p_i u(x_i) = \sum_i p_i x_i^2 = \frac{1}{2} \times 4^2 + \frac{1}{2} \times 2^2 = 10 \\ Eu(\ell_2) = \sum_i p_i u(x_i) = \sum_i p_i x_i^2 = \frac{1}{2} \times 1^2 + \frac{1}{2} \times 5^2 = 13 \end{cases}$$

mientras que si $u(x) = \sqrt{x}$.

$$\begin{cases} Eu(\ell_1) = \sum_i p_i u(x_i) = \sum_i p_i \sqrt{x_i} = \frac{1}{2} \times \sqrt{4} + \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \simeq 1,71 \\ Eu(\ell_2) = \sum_i p_i u(x_i) = \sum_i p_i \sqrt{x_i} = \frac{1}{2} \times \sqrt{1} + \frac{1}{2} \times \sqrt{5} \simeq 1,62 \end{cases}$$

Por tanto, cuando u es cuadrática, ℓ_2 es la lotería preferida, mientras que con u raíz cuadrada, la preferida es ℓ_1.

Actitudes frente al riesgo

Sea una función de utilidad VNM u. Decimos que un individuo es:

- – averso al riesgo cuando $u(E(\ell)) \geq Eu(\ell)$
  – amante del riesgo cuando $u(E(\ell)) \square Eu(\ell)$
  – neutro ante el riesgo cuando $u(E(\ell)) = Eu(\ell)$

Los individuos aversos al riesgo prefieren un pago seguro igual a la ganancia esperada de la lotería por encima de la incertidumbre inherente a esta misma lotería. Valoran más la seguridad que la incertidumbre. Los individuos amantes del riesgo muestran un perfil opuesto.

Gráficamente es fácil ver que las funciones de utilidad cóncavas representan aversión al riesgo mientras que las funciones de utilidad convexas son propias de individuos amantes del riesgo. Los individuos neutros ante el riesgo tienen funciones de utilidad lineales, que son a la vez cóncavas (aversión) y convexas (propensión).

El modelo canónico

Relación bilateral y excedente

Relación bilateral entre el principal y el agente. El principal diseña y propone un contrato que el agente acepta o rechaza. La relación genera un excedente o resultado x, que depende en parte del esfuerzo e que desempeña el agente y de elementos aleatorios que no controlan ni el principal ni el agente. El excedente x se reparte entre el principal y el agente de acuerdo co los términos del contrato: el agente recibe un pago monetario w por su participación en la relación, y el resultado neto del principal es el remanente, $x - w$.

Más concretamente, suponemos que el excedente de la relación puede tomar uno de los n valores siguientes $x_1, \ldots, x_n$. En ausencia de factores aleatorios, a cada nivel de esfuerzo realizado por el agente correspondería un valor del excedente de la relación de esta lista. Debido a la variabilidad que introducen los elementos aleatorios externos, cada nivel de esfuerzo e genera una distribución de probabilidad $p_i(e)$ sobre los valores posibles del excedente de la relación:

$$p_i(e) = \Pr\{x = x_i \mid e\}$$

es la probabilidad que el excedente sea x_i cuando el nivel de esfuerzo es igual a e. Cada nivel de esfuerzo genera una distribución particular de probabilidad $p_1(e), ..., p_n(e)$ sobre los excedentes $x_1, ..., x_n$. Obviamente, debe cumplirse $p_1(e) + ... + p_n(e) = \sum_{i=1}^{n} p_i(e) = 1$. Con nuestras notaciones, cada nivel de esfuerzo e genera un excedente incierto o lotería:

$$\ell(e) = (x_1, \ldots, x_n; p_1(e), \ldots, p_n(e))$$

Preferencias del principal y del agente

Cuando la relación bilateral contractual produce un excedente x, hemos visto que esta cantidad se reparte entre el principal y el agente de la forma siguiente: $x - w$ para el principal, y w para el agente.

Suponemos que el principal tiene una función de utilidad VNM sobre sus ingresos $x - w$ igual a $B(x - w)$. La utilidad del principal no depende directamente del esfuerzo, únicamente del excedente x y del pago w. En todo lo que sigue, B será creciente y (debilmente) cóncava, es decir, $B' \geq 0$ y $B'' \leq 0$. Si $B'' < 0$, la función es estrictamente cóncava y el principal es (estrictamente) averso al riesgo; si $B'' = 0$, la función es una recta y el principal es neutro ante el riesgo. Excluimos el caso de un principal amante del riesgo por carecer de interés.

El agente tiene una función de utilidad VNM sobre sus ingresos w igual a $u(w)$. Además, el agente sufre una desutilidad (o coste) $-v(e)$ por proveer el nivel de esfuerzo e. Por tanto, la utilidad de una agente que recibe w y se esfuerza e es igual a $u(w) - v(e)$. La utilidad del agente no depende directamente del excedente, únicamente de la parte w del excedente x con la que el principal retribuye al agente. También suponemos que, u es creciente y (debilmente) cóncava, es decir, $u' \geq 0$ y $u'' \leq 0$, supuesto que refleja aversión (débil) al riesgo, como en el caso del principal. Suponemos además que v es decreciente y convexa, es decir, $v' \geq 0$ y $v'' \geq 0$, que refleja costes y costes marginales crecientes en el nivel de esfuerzo. El agente se caracteriza además por una utilidad de reserva $\underline{U}$ que representa el nivel mínimo de utilida esperada que el agente puede obtener fuera de esta relación contractual bilateral.

Estas dos funciones objetivo revelan conflicto de intereses entre el principal y el agente: el bienestar del agente aumenta con la parte w del excedente x que se queda, mientras que el bienestar del principal $x - w$ disminuye con la parte w del excedente x que cede al agente.

¿En qué consiste un contrato?

El desarrollo temporal de la relación contractual bilateral es el siguiente: (1) el principal y el agente firman un contrato, (2) la relación se lleva a cabo y produce un excedente x, (3) el excedente x se reparte de acuerdo con los términos del contrato: $x - w$ para el principal, y w para el agente.

El contrato entre el principal y el agente se firma antes de llevar a cabo la relación bilateral, por consiguiente, *antes de conocer el valor exacto del excedente producido por esta relación*. El contrato debe, pues, especificar las modalidades previstas de reparto entre el principal y el agente del excedente x de la relación bilateral *para cada valor posible de este excedente*. Si el excedente toma n valores posibles $x_1, ..., x_n$, el contrato especifica cómo se prevé repartir el excedente en cada caso especificando el pago $w(x_1), ..., w(x_n)$ que el principal se compromete a efectuar al agente por cada valor posible. Supongamos que el principal y el agente se ponen de acuerdo sobre una lista de pagos $w(x_1), ..., w(x_n)$. La relación se lleva a cabo. Si el excedente finalmente producido es w_{17}, entonces el principal paga w_{17} al agente (el pago previsto en esta circunstancia) y se queda con $x_{17} - w_{17}$.

En lo que sigue, utilizamos la notación $w_1, ..., w_n$ en lugar de $w(x_1), ..., w(x_n)$.

Un contrato, además, puede incluir otras cláusulas que comprometen a alguna de las partes. Distinguimos dos casos: información simétrica e información asimétrica.

- **información simétrica**: cuando el principal observa todas las variables, puede obligar al agente a desempeñar el nivel de esfuerzo e de su elección. El contrato, que anotamos $\mathbf{c}$, consiste en este caso en $\mathbf{c} = (e, w_1, \ldots, w_n)$. Contiene cláusulas que obligan a ambas partes: un esquema de pagos $w_1, ..., w_n$ que obliga al principal, y un esfuerzo e que obliga al agente.

- **información asimétrica:** cuando el esfuerzo que desempeña el agente durante la relación contractual no es perfectamente observable, el principal no puede obligarle a desempeñar el nivel de esfuerzo de su elección. El contrato, $\mathbf{c}$, consiste simplemente en los pagos $w_1, \ldots, w_n$ que el principal ofrece al agente, es decir, $\mathbf{c} = (w_1, ..., w_n)$. Sólo contiene cláusulas que obligan al principal (el esquema de pagos $w_1, ..., w_n$).

Uitilidad esperada del principal y del agente

Consideremos un contrato $\mathbf{c}$, con o sin nivel de esfuerzo (es decir, con información simétrica o asimétrica). Sabemos que cada cada nivel de esfuerzo e genera una lotería

$$\ell(e) = (x_1, \ldots, x_n; p_1(e), \ldots, p_n(e))$$

sobre los excedentes donde el excedente x_i se obtiene con probabilidad $p_i(e)$. Sabemos además que el contrato especifica un reparto de cada valor posible del excedente x_i entre el principal, que se queda con $x_i - w_i$, y el agente, que obtiene w_i:

$$\underbrace{x_i}_{\text{excedente total}} = \underbrace{x_i - w_i}_{\text{ingreso neto principal}} + \underbrace{w_i}_{\text{pago al agente}}$$

El reparto anterior se lleva a cabo con probabilidad $p_i(e)$, es decir, siempre que se obtiene un excedente igual a x_i. Los ingresos del principal y del agente dependen pues del excedente obtenido.

probabilidad	excedente	ingreso principal	pago agente
$p_1(e)$	x_1	$x_1 - w_1$	w_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$p_i(e)$	x_i	$x_i - w_i$	w_i
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$p_n(e)$	x_n	$x_n - w_n$	w_n

Por consiguiente, la lotería sobre excedentes y el contrato **c** generan una lotería sobre los ingresos del principal y del agente. Estas loterías indican que el principal recibe $x_i - w_i$ con probabilidad $p_i(e)$ (es decir, cuando la relación bilateral produce exactamente x_i), y el agente recibe w_i con probabilidad $p_i(e)$ (es decir, cuando la relación bilateral produce exactamente x_i).

Por consiguiente, la utilidad esperada del principal correspondiente a una lotería sobre excedentes es $\ell(e)$ y a un contrato **c** es igual a:

$$EB(\ell(e), \mathbf{c}) = \sum_{i=1}^{n} p_i(e) B(x_i - w_i)$$

mientras que la del agente es:

$$Eu(\ell(e), \mathbf{c}) - v(e) = \sum_{i=1}^{n} p_i(e) u(w_i) - v(e).$$

donde $u(w_i)$ es la utilidad derivada del salario w_i que el agente recibe cuando el resultado observado es x_i, y $v(e)$ es la desutilidad derivada de proveer el esfuerzo e.

Información simétrica

Análisis del modelo

El programa es:

$$\max_{e, w_1, \ldots, w_n} EB(\ell(e), \mathbf{c}) \text{ sujeto a } \underbrace{Eu(\ell(e), \mathbf{c}) - v(e) \geq \underline{U}}_{\text{restricción de participación}}$$

El principal elige los pagos y el nivel de esfuerzo que reparten óptimamente el riesgo entre las dos partes. Corresponde a un equilibrio perfecto en subjuegos del juego secuencial en el que el principal propone el contrato al agente que decide si lo acepta o lo rechaza. La restricción garantiza aceptación del equilibrio. Este programa de maximización también se escribe:

$$\max_{e, w_1, \ldots, w_n} \sum_{i=1}^{n} p_i(e) B(x_i - w_i) \text{ sujeto a } \sum_{i=1}^{n} p_i(e) u(w_i) - v(e) \geq \underline{U}$$

El lagrangiano es:

$$\mathcal{L}(e, w_1, \ldots, w_n, \lambda) = \sum_{i=1}^{n} p_i(e) B(x_i - w_i) + \lambda \left[\sum_{i=1}^{n} p_i(e) u(w_i) - v(e) - \underline{U} \right]$$

Las condiciones de primer orden son:

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial w_i} = -p_i(e) B'(x_i - w_i) + \lambda p_i(e) u'(w_i) = 0, \; i = 1, ..., n \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial e} = \sum_{i=1}^{n} p_i'(e) B(x_i - w_i) + \lambda \left[\sum_{i=1}^{n} p_i'(e) u(w_i) - v'(e) \right] = 0 \end{cases}$$

De donde:

$$\lambda = \frac{B'(x_i - w_i)}{u'(w_i)} > 0,\ i = 1, ..., n$$

Primero determinanos los pagos óptimos, luego el nivel de esfuerzo óptimo. Las condiciones de primer orden son necesarias pero no suficientes, pues no tenemos garantías de cumplimiento de las condiciones de segundo orden.

Pagos $w_1, ..., w_n$ óptimos

De las condiciones de primer orden sacamos las siguientes conclusiones:

- - $\lambda > 0$ implica que la restricción está saturada: el agente recibe su utilidad de reserva $\underline{U}$.
  - el cociente de las utilidades marginales es independiente del resultado final: situación eficiente en el sentido de Pareto.

Distinguimos tres situaciones que analizamos por separado.

Principal neutro y agente averso

Si el principal es neutro, $B(x - w)$ es lineal en los ingresos $x - w$ del principal. Por consiguiente, $B'(x - w)$ es una constante. Las condiciones de primer orden implican que $u'(w)$ tambien es constante, es decir, $u'(w_1) = ... = u'(w_n)$. Por consiguiente, $w_1 = ... = w_n = w$. El principal carga con todo el riesgo y paga al agente un sueldo fijo w, independiente del resultado, es decir, $dw_i/dx_i = 0$. El valor del pago w se deriva de la restricción de participación: $u(w) - v(e) = \underline{U}$. El principal asegura al agente, que es la modalidad de reparto óptima del riesgo dadas las preferencias del principal y del agente.

Principal averso y agente neutro

Si el agent es neutro, $u(w)$ es lineal en los ingresos w del agente. Por consiguiente, $u'(w)$ es una constante. Las condiciones de primer orden implican que $B'(x - w)$ tambien es constante, es decir, $B'(x_1 - w_1) = ... = B'(x_n - w_n)$. Por consiguiente, $x_1 - w_1 = ... = x_n - w_n = k$. El principal recibe un ingreso fijo k independiente del resultado. Se trata de un contrato de franquicia. El agente recibe una salario $w_i = x_i - k$ directamente indexado sobre el resultado, es decir, $dw_i/dx_i = 1$. El agente asegura al principal, que es la modalidad de reparto óptima del riesgo dadas las preferencias del principal y del agente.

El valor de la franquicia k se deriva de la restricción de participación donde $u(w_i) = w_i = x_i - k$. Si anotamos $\overline{x} = \sum_{i=1}^{n} p_i(e)\, x_i$ el valor promedio del excedente, tenemos:

$$k = \overline{x} - v(e) - \underline{U}$$

Por tanto, el valor de la franquicia es igual al excedente esperado $\overline{x}$ menos las compensaciones que el principal debe necesariamente revertir al agente, que son: el coste (desutilidad) $v(e)$ del nivel de esfuerzo e inscrito en el contrato, y la utilidad de reserva $\underline{U}$. Los ingresos del principal son fijos. Los ingresos del agente, variables, son:

$$w_i = x_i - k = \underbrace{x_i - \overline{x}}_{\text{oscilaciones entorno promedio}} + v(e) + \underline{U}$$

Principal y agente aversos al riesgo

Determinamos la sensibilidad del ingreso w_i del agente ante el valor del excedente x_i producido. Cuando el principal es neutro, $dw_i/dx_i = 0$ (el pago es fijo), mientras que cuando el agente es neutro, $dw_i/dx_i = 1$ (las variaciones del ingreso son del mismo orden que las del excedente). Diferenciando la condición de primer orden respecto al resultado x_i, obtenemos:

$$\lambda u'' \frac{dw_i}{dx_i} - B'' \left(1 - \frac{dw_i}{dx_i}\right) = 0 \Rightarrow \frac{u''}{u'} \frac{dw_i}{dx_i} - \frac{B''}{B'} \left(1 - \frac{dw_i}{dx_i}\right) = 0$$

Sean $r_A(w) = -u''(w)/u'(w)$ y $r_B(x-w) = -B''(x-w)/B'(x-w)$ los grados absolutos de aversión absoluta al riesgo, respectivamente del agente y del principal. Los grados absolutos de aversión al riesgo o *índices de aversión al riesgo de Arrow-Pratt* aumentan con la aversión al riesgo, medida por la curvatura de la función de utilidad VNM u. En general, la curvatura de u varía a lo largo de la curva y, por consiguiente, $r_A(w)$ (resp. $r_P(x-w)$) depende del salario w del agente (resp. el beneficio neto $x-w$ del principal). Obtenemos:

$$\frac{dw_i}{dx_i} = \frac{r_P(x_i - w_i)}{r_P(x_i - w_i) + r_A(w_i)}$$

Por tanto, cuanto más averso al riesgo sea el agente (el principal), mayor será r_A (r_P) y menos (más) influirá el resultado en el pago. El reparto óptimo del riesgo conseguido con la indexación de los pagos sobre los resultados refleja los grados relativos de aversión absoluta al riesgo del principal y del agente.

Esfuerzo óptimo

Nos limitamos al caso de principal averso y agente neutral (contrato de franquicia). El principal encuentra e maximizando $k = \overline{x} - v(e) - \underline{U} = \sum_{i=1}^{n} p_i(e)\, x_i - v(e) - \underline{U}$. Por consiguiente, el programa del principal es:

$$\max_e \sum_{i=1}^{n} p_i(e)\, x_i - v(e)$$

cuyas condiciones de primero y segundo orden son:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} p_i'(e)\, x_i - v'(e) = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} p_i''(e)\, x_i - v''(e) \;\square\; 0 \end{cases}$$

de donde deducimos que una condición suficiente para que la condición de segundo orden se cumpla es $\sum_{i=1}^{n} p_i''(e)\, x_i \;\square\; 0$.