

La Simulación de una Calculadora Electrónica de un Modelo de Ecología Industrial que Permita dar Criterios para Optimizar la Planeación de su Desarrollo

LIAN KARP

1. *Motivación del modelo*

1-1 Al considerar el desarrollo de una región determinada, la asociación de dos o más empresas siempre tiene como resultado inmediato una serie de efectos de interacción, cuya naturaleza influye determinantemente en la planeación de tal desarrollo. Considerando poblaciones industriales discretas de uno o varios tipos, con características y respuestas suficientemente modulares, como para estudiarlas formalmente, afirmamos que basta describir la situación ecológica en que se desarrollan, para formular un modelo de optimización de su desarrollo.

El propósito de este estudio radica en establecer una técnica que asociada a una estructura computable permita efectuar operaciones, obtener criterios decisionales y que lógicamente presente un conjunto de implicaciones que permitan establecer observables y resultados metodológicos en la planificación industrial. En otras palabras, un modelo de investigación de operaciones (en su más amplio sentido) que provea de un mecanismo simbólico de manipulación de comunidades empresarias en un marco ecológico de relaciones interindustriales.

En principio, el crecimiento industrial puede considerarse como un fenómeno semiparalelo al de la expansión demográfica. No es necesariamente irrealista la consideración de que una vez establecidas las condiciones iniciales y el *momentum* inicial de la actividad económica, una determinada área inicie su industrialización en niveles medios. Si esta afirmación no es la más adecuada, por su carácter simplista, baste decir que sí se puede considerar como deseable el resultado de que la industria se desarrolle a tono con la población.

En el estado competitivo, de preservación, o de expansión

(referidos a la rentabilidad) de una comunidad industrial, se pueden observar varios tipos de tácticas y coacciones, en algunos casos benéficas, y en otros nocivos para el progreso industrial, a un nivel macroeconómico. Pero en general, las industrias se ven forzadas a desplegar actividades de competencia (materia prima, energía física o humana, etcétera) y en ocasiones, tienen que formular medios de protección o incluso, se establecen asociaciones cuya finalidad es la de un bienestar mutuo.

Las relaciones que se establezcan serán por lo tanto tricotómicas, asociadas con los distintos grados de poder, o influencia relacionados con el proceso fundamental de crecimiento y con el desarrollo referido tanto a su mantenimiento como a su razón incremental de beneficios.

Estas relaciones pueden plantearse en términos de aquel tipo de industria que es el más importante desde el punto de vista del planificador (*hipótesis básica, el compromiso de planificación*), y en este trabajo se identifica como el *organismo fuerte*. El segundo elemento del sistema se conocerá como *organismo débil*. Y en esta aclaración está contenido el carácter general de la estructura del modelo, puesto que se está planteando una naturaleza binaria en la interacción interindustrial, o sea dos industrias, una industria y una coalición industrial, dos coaliciones industriales.

El concepto primario de este modelo es por lo tanto el de *ecosistema*, que aporta un marco de referencia unificador para el conjunto de propiedades globales y resultados en dos niveles, el individual (la industria o la coalición industrial) y el de la comunidad (el complejo industrial). En otras palabras, un ecosistema es una "unidad ecológica" que comprende un conjunto de organismos interaccionando para producir un sistema dado en un medio ambiente particular.

Por lo tanto, de la definición anterior se obtiene que se plantearán una serie de tácticas y estrategias a fin de inducir un criterio para planificar el desarrollo o "evolución directa" de un complejo industrial. Esto involucra tres fenómenos a considerar:

- i) la circulación,
- ii) la transformación, y
- iii) la acumulación de energía y recursos en la interfase entre el medio y las actividades del sistema.

Aún más, existe una gran multiplicidad de procesos regulatorios que presentes en un número limitado de organismos también generan un factor de influencia en las políticas de comportamiento y desarrollo.

Una propiedad fundamental del ecosistema es que constituye un sistema abierto i.e. materia y energía, escapan continuamente, debido a la evolución, por lo que hay que tomar en consideración problemas de reemplazo a fin de mantener el funcionamiento del sistema.

1-2 Es importante hacer notar que a fin de obtener supuestos funcionales, se deben caracterizar las relaciones entre la *estructura* y la *función* del ecosistema.

Siguiendo las ideas de *AcKoff* sobre la metodología de la investigación de operaciones, la estructura debe proveer:

- i) de la composición de la comunidad;
- ii) de la cantidad de recursos distribuidos y
- iii) de las fronteras o condiciones de existencia.

Mientras que por función se entenderá:

- i) la cantidad de flujo de energía a través del sistema;
- ii) la cantidad de material circulante, y
- iii) las restricciones impuestas sobre el sistema.

Puede proponerse que los ecosistemas siguen un patrón estructural, en el sentido de que están compuestos al menos por dos organismos diferentes, y que una relación entre éstos, genera un patrón ecológico bien definido.

El ecosistema tiene varios aspectos complementarios, puesto que al considerar los estados (elemento-relación-elemento) se define la estructura, y el tipo de transformaciones que deben considerarse o "algoritmos de desarrollo planificado" como se especificará adelante, basadas en reglas de energía y materia su flujo y su concentración, propuestos en las siguientes dos afirmaciones:

- i) El monto relativo de energía necesaria para mantener un estado fijo del ecosistema, es una función del grado de organización de la interacción.

- ii) Si de un estado dado es necesario transitar a otro estado, debe producirse un intercambio de energía (producción) tendiente hacia el estado de mayor grado de organización.

1-3 Sea E^1 el organismo *fuerte*, y E^2 el organismo *débil* que se encuentran *siempre* configurando un ecoestado. Si R denota una relación binaria, la unidad de información estructural será $(E^1 R E^2)$ cualquiera que sea el significado de la relación.

Sea ϕ un símbolo que representa la variación de la actividad efectuada por una clase o por un elemento sin considerar los intereses de las otras clases o elementos. Tomando 1 como símbolo que represente la situación para la que la actividad se efectúa, por los dos o por cualquiera de los dos organismos, y finalmente el símbolo 0 que represente las situaciones que descuidan esta actividad. La tabulación cruzada de 0, 1 y ϕ generará los tipos de coacciones entre E^1 y E^2 o sea los ecoestados del sistema i.e.:

E^1	E^2	0	1	ϕ
0		A_1	A_2	A_3
1		A_4	S_1	S_2
ϕ		A_5	S_3	N

donde A_i ($1 \leq i \leq 5$) representa estados *antagónicos*, S_j ($1 \leq j \leq 3$) representa estados *simbióticos* y N estado *neutral*.

O sea, de acuerdo al tipo de relación, representada por un elemento del conjunto indicial ligado a cada organismo de la interacción, se tendrán nueve patrones básicos de interrelaciones o ecoestados.

En particular, el estado N (ϕ, ϕ) constituye un caso dispar de interacción, que debe entenderse como aquella situación en la que si bien se *da* una relación, ningún organismo altera su estado de actividad (energía-materia).

En ingeniería económica, probablemente los dos casos mejor estudiados son los de monopolio y competencia de entre las posibles interacciones, y generalmente éste es el caso en teorías microeconómicas así como también en teorías sobre la administración científica. Sin embargo, los ecologistas sugieren más de estos dos estados, aunque sin precisar su número. Desde el

punto de vista de investigación de operaciones, ni se puede dejar de considerar parcialmente el conjunto de definiciones fenomenológico del problema, ni puede formalizarse un sistema parcialmente definido. Por otra parte, en la realidad, en planeación existen muchos casos en los que la política gubernamental, empresarial o mercantil, etcétera, prohíbe un estado monopolítico de asociación industrial. O bien, sabemos que la condición de Pareto-optimalidad se da bajo competencia, pero cuál de los estados competitivos es el óptimo, bajo qué condiciones de energía-materia, o en qué tiempo durante el proceso de transiciones en la red de estados y transiciones del ecosistema.

Los modelos cualitativo y cuantitativo de esta situación son los que permitirán resolver los interrogantes anteriores, y permitirán elaborar otro modelo, el simulacional que permitirá una experimentación y estudio dinámicos de un complejo industrial en vías de desarrollo.

2. El modelo cualitativo

2-1 Las siguientes afirmaciones de tipo de definición serán útiles en la construcción de este modelo del ecosistema, en base a la estructura algebraica de tipo formal que sirve de imagen isomórfica al conjunto de estados y transiciones de las relaciones interindustriales.

Por un símbolo indiciado: E^1, E^2, \dots , se entenderá una variable o un organismo industrial identificado únicamente por su característica indicial, donde $I = \{i | i = 1, 2, \dots\}$ con $I (< \infty)$ y E^i de naturaleza booleana.

- Por un *factor* E^1, E^2, \dots se entenderá una secuencia multiplicativa de por lo menos dos variables booleanas o símbolos.
- Por un *término* $E^1 + E^2 + \dots$ se entenderá una secuencia aditiva de por lo menos dos símbolos booleanos.

En la estructura matemática que se presentará a continuación se considerarán como reglas aceptadas los siguientes tipos de producción:

- i) *Regla de sustitución*: Si dos variables son equivalentes, o isomórficamente correspondientes, cualquiera de éstas

puede substituirse en toda ocurrencia de la otra en una expresión dada.

- ii) *Regla de inferencia:* Si la *valuación* de x se da como un axioma o como un postulado cuya validez se deriva de otros axiomas, y si x implica una proposición sobre y , entonces y puede tomarse como un teorema verdadero.

2-2 Los primitivos de la estructura matemática que sirve de modelo cualitativo para el ecosistema, serán referidos a objetos matemáticos ya conocidos, puesto que se desea un resultado sintáctico y pragmático más que uno conceptual (lo cual será un problema del modelo cuantitativo).

Por lo tanto, en vez de recurrir a términos y relaciones no definidas y a axiomas entre estos últimos, se preferirá tomar directamente un criterio formal experimental o "aplicado". Considérese por tanto:

- iii) Un conjunto de símbolos $\mathcal{L} \neq \Delta$ (Δ el conjunto vacío) al que se le asocia por medio de una aplicación un conjunto de "valores" que constituyen el rango de valuación $V \dagger \{0, 1, \phi\}$ o "conjunto valuación".
- iv) Los símbolos que corresponden a los elementos de \mathcal{L} siempre se valúan en V i.e. a cada $\sigma \in \mathcal{L}$ se le asocia $v \in V$.
- v) Considérese un conjunto de operaciones definidas en \mathcal{L} , una binaria aditiva representada por $+$, una binaria multiplicativa denotada por \cdot , y una unaria negativa denotada por $-$.
- vi) Supóngase que en \mathcal{L} existe definida, al menos una relación de equivalencia.

Sea E^i un conjunto no vacío ($i \in I < \infty$) tal que se caracteriza como sigue:

$$E^i = \{e_j^i \mid i = 1, 2, \dots, < \infty \text{ y } j \in V\}$$

tomando $\mathcal{L} = \{E^i\}$ o sea, la clase de los conjuntos E^i , y debido a (v), se puede construir la estructura de tipo de anillo

$$\{\mathcal{L}, +, \cdot, -\}$$

en forma tal que las operaciones satisfagan las siguientes propiedades:

$$a, b, \in \mathcal{L}$$

I: Cerradura $a + b \in \mathcal{L}$
 $a \cdot b \in \mathcal{L}$

II: Asociatividad $a + (b + c) = (a + b) + c$
 $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$

III: Conmutatividad $a + b = b + a$
 $a \cdot b = b \cdot a$

IV: Distributividad $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
 $a \cdot (b + c) = ab + ac$

V: $\exists e, e' \in \mathcal{L}$ tales que:

$$a + e = e$$

$$a \cdot e' = e'$$

VI: $a \in \mathcal{L}, \exists \bar{a} \in \mathcal{L}$ tal que:

$$a + \bar{a} = e$$

$$a \cdot \bar{a} = e'$$

De lo cual pueden obtenerse otras propiedades derivadas como:

VII: Involución $(\bar{\bar{a}}) = a$

VIII: Idempotencia $a + a = a$
 $a \cdot a = a$

IX: Leyes de De Morgan $(\overline{a + b}) = \bar{a} \cdot \bar{b}$
 $(\overline{ab}) = \bar{a} + \bar{b}$

etcétera

Los resultados de la estructura booleana y la técnica de números de designación de Ledley pueden sintetizarse para expresiones construidas en $\{\mathcal{L}, +, \cdot, -\}$, pues nótese que si E' es el completo de \bar{E}' , sus valuaciones deberán corresponderse con 1 y 0.

Volviendo al análisis de las posibles situaciones ecológicas del sistema.

Sea $\mathcal{L}^* = \{E^1, E^2, V, +, \cdot, -\}$ una estructura particular sólo contiene dos elementos, un conjunto valuación y tres operaciones ya definidas, por lo tanto es posible proponer el siguiente sistema formal:

- 1) Fórmulas booleanas generadas por E^1, E^2 deberán satisfacer las siguientes afirmaciones para su existencia y validez:
 - i) $0, 1, \phi$ son fórmulas booleanas.
 - ii) Si E^i es una variable, entonces para $i = 1, 2$, E^i será una fórmula booleana.
 - iii) Si E^i es una fórmula booleana \bar{E}^i es una fórmula booleana.
 - iv) Si E^s, E^r son fórmulas booleanas $E^s + E^r$ es una fórmula booleana.
 - v) Si E^s, E^r son fórmulas booleanas $E^s \cdot E^r$ es una fórmula booleana.
 - vi) Las únicas fórmulas booleanas de este sistema están dadas por (i) a (v).
- 2) La aplicación de valuación α es una función definida de los elementos de \mathcal{L}^* en los elementos de V .
- 3) Relativa a la aplicación α , se define la valuación de una fórmula booleana E^s como $|E^s|_\alpha$ dada por la siguiente definición recursiva.
 - i) $|0|_\alpha = 0$; $|1|_\alpha = 1$; $|\phi|_\alpha = \phi$
 - ii) Si E^i es una variable, $|E^i|_\alpha = \alpha(E^i)$ para $i = 1, 2$.
 - iii) Si A es una fórmula $|\bar{A}|_\alpha = 1 \leftrightarrow |A|_\alpha = 0$.
 - iv) Si A es una fórmula $|\bar{A}|_\alpha = \phi \leftrightarrow |A|_\alpha = \phi$
 - v) Si A, B son fórmulas $|A + B|_\alpha = 1 \leftrightarrow |A|_\alpha = 1$ ó $|B|_\alpha = 1$.
 - vi) Si A, B son fórmula $|A \cdot B|_\alpha = 1 \leftrightarrow |A|_\alpha$ y $|B|_\alpha = 1$.
- 4) Dos fórmulas A, B son *equivalentes* ($A \equiv B$) si, y sólo si, para toda valuación $|A|_\alpha = |B|_\alpha$.

A fin de considerar el universo de interacciones interindustriales o ecosistema es necesario caracterizar al menos una in-

terrelación entre dos organismos o compañías debido a lo cual, las fórmulas booleanas de \mathcal{L} no necesariamente pueden adecuarse a las situaciones del mundo real. En el contexto del ecosistema, una forma de superar esta condición es por medio de una coordinación entre una estructura sintáctica que contenga todas las propiedades de la estructura formal y que a su vez, pueda investirse con las propiedades del sistema real.

Con lo anterior se quiere decir que se propondrán morfismos tales que una vez probada su efectividad y confiabilidad, conducirán a una metodología analítica para el estudio de ecosistemas del tipo propuesto.

Considérese:

- 1) Si en presencia de E^i , la valuación de E^j ($i \neq j$) es 1, entonces E^j experimentará una situación de bienestar positivo o, una interacción de ganancia.
- 2) Si en presencia de E^i , la valuación de E^j ($i \neq j$) resulta ser 0, entonces E^j experimenta una situación negativa de bienestar o, una interacción de pérdida.
- 3) Si en presencia de E^i , la valuación de E^j ($i \neq j$) es ϕ , E^j experimentará una situación mental de bienestar o una interacción de indiferencia.

donde $i, j = 1, 2$, y E^1 representa el organismo fuerte y E^2 al organismo débil.

Por lo tanto, para los propósitos de planificación, el modelo se enfocará siguiendo los resultados que se reflejen en E^1 principalmente. En otras palabras, a fin de definir un propósito, se debe establecer un *compromiso de planeación* el cual se propone como: "las condiciones de bienestar de E^1 representan el interés primordial del proceso de planeación".

2-3 La aritmética lógica que se encuentra más conveniente sobre el subconjunto de valuaciones $V = \{0, 1, \phi\}$ puede formularse mediante las siguientes tablas:

0	0	1	ϕ	+	0	1	ϕ	-	0	1	ϕ
0	0	0	0	0	0	1	ϕ	1	1	0	ϕ
1	0	1	ϕ	1	1	1	1	ϕ	ϕ	1	ϕ
ϕ	0	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	1	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ

Denotando por X_a ($a \in V$) una variable valuada, X_ϕ , Y_ϕ pueden definir a las expresiones $X + Y$, XY , X por medio de las tablas anteriores. Aún más, si X_0 es una expresión booleana obtenida de X_ϕ al reemplazar ϕ por 0, y similarmente X_1 se obtiene al reemplazar ϕ por 1. El intervalo definido por X_0 y X_1 podrá darse como:

$$[X_0, X_1] = \{Y \mid X_0 \leq Y \leq X_1\}$$

donde " \leq " representa el orden parcial que se da en un álgebra de expresiones booleanas.

Entonces, la biyección dada por

$$\varphi: X \rightarrow [X_0, X_1]$$

representa el mapeo de las valuaciones ϕ para intervalos de X -álgebras booleanas que satisface las propiedades siguientes:

$$\begin{aligned} \varphi(X) + \varphi(Y) &= \varphi(X + Y) \\ \varphi(X) \cdot \varphi(Y) &= \varphi(XY) \\ \varphi(X) &= \varphi(X) \end{aligned}$$

A fin de tomar una estructura final, la notación que se empleará estará regida por las siguientes convenciones:

1) Notación. Sea $i = 1, 2$, entonces

- E_0^i : el organismo E^i bajo una situación de pérdida.
- E_1^i : la compañía E^i bajo una situación de ganancia.
- E_ϕ^i : la empresa E^i bajo una situación de indiferencia.

2) Respecto a las expresiones (conjuntivas) con $i \neq j$ y $i, j = 1, 2$

- $E_0^i E_0^j$: representa una interacción de pérdida mutua.
- $E_0^i E_1^j$: representa un ecoestado de pérdida para el organismo E^i y de ganancia para la industria E^j .
- $E_1^i E_0^j$: denota el ecoestado en el que E^i experimenta ganancias mientras que E^j sufre pérdidas, etcétera.

En otras palabras, dadas dos compañías que interaccionan

formando ecoestados en los que pueden tener distintas valuaciones, y considerando sus expresiones isomórficas a una lógica bivalente, se encuentra un patrón estructural de 17 expresiones o fórmulas del sistema \mathcal{L}^* , a saber:

$$E_1^1 E_\phi^2$$

$$E_0^1 E_\phi^2$$

$$E_\phi^1 E_1^2$$

$$E_\phi^1 E_0^2$$

$$E_1^1 E_\phi^2 \vdash E_\phi^1 E_1^2$$

$$E_1^1 E_\phi^2 \vdash E_\phi^1 E_0^2$$

$$E_0^1 E_\phi^2 \vdash E_\phi^1 E_1^2$$

$$E_0^1 E_\phi^2 \vdash E_\phi^1 E_0^2$$

$$E_1^1 E_1^2$$

$$E_1^1 E_0^2$$

$$E_0^1 E_1^2$$

$$E_0^1 E_0^2$$

$$E_1^1 E_1^2 \vdash E_0^1 E_\phi^2$$

$$E_1^1 E_0^2 \vdash E_0^1 E_1^2$$

$$E_1^1 E_\phi^2 \vdash E_0^1 E_\phi^2 = E_\phi^2$$

$$E_\phi^1 E_1^2 \quad E_\phi^1 E_0^2 = 0$$

$$E_\phi^1 E_\phi^2$$

Esta última interrelación representa el caso cuando el resultado de la interacción es un estado de equilibrio particular en el que ninguna de las dos empresas pierde o gana, en presencia de la relación.

De acuerdo con la tabla anterior, una coordinación estructu-

ral entre los estados ecológicos y las fórmulas booleanas puede darse como sigue:

ECOLOGÍA	FÓRMULAS
A_1	$E_0^1 E_0^2$
A_2	$E_0^1 E_1^2$
A_3	$E_0^1 E_\phi^2$
A_4	$E_1^1 E_0^2$
A_5	$E_\phi^1 E_0^2$
S_1	$E_1^1 E_1^2$
S_2	$E_1^1 E_\phi^2$
S_3	$E_\phi^1 E_1^2$
N	$E_\phi^1 E_\phi^2$

Donde los estados A_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) representan situaciones *antagónicas* (estados en los que al menos un organismo sufre pérdidas), los estados S_j ($j = 1, 2, 3$) o sea estados *simbióticos* (en los que ningún organismo pierde, o bien en los que al menos un organismo gana sin que se den pérdidas), y finalmente el estado de *neutralismo* (en el que ni se pierde ni se gana, o sea de tolerancia absoluta).

Si bien estos nueve estados constituyen el núcleo del ecosistema no debe creerse que son los únicos estados posibles que pueden detectarse; puesto que aplicando el teorema de selección, pueden generarse otros estados a los que llamamos "no básicos", tales como:

$$A_2 + A_4 = E_0^1 E_1^2 + E_1^1 E_0^2 \quad \text{Explotación}$$

$$A_3 + A_5 = E_0^1 E_\phi^2 + E_\phi^1 E_0^2 \quad \text{Antibiosis pura}$$

Resumiendo:

Si se adopta la siguiente convención notacional:

E^1 : organismo fuerte.

E^2 : organismo débil.

$|E^i|_a = 0$ representado por E_0^i donde 0 corresponde a pérdida.

- $|E^i|_\alpha = 1$ representado por E_0^i donde 1 corresponde a ganancia.
- $|E^i|_\alpha = \phi$ representado por E_ϕ^i donde ϕ corresponde a indiferencia

El ecosistema puede describirse mediante la siguiente tabla:

SISTEMA	FAMILIA	ESTADO	ESTADO MIXTO	FÓRMULA	VALUACIÓN	
Ecosistema	Simbiosis	S_1 Mutualismo		$E_1^1 E_1^2$	11	
		S_2 Alotrofia	Probiosis	$E_1^1 E_\phi^2$	1ϕ	
		S_3 Comensalismo		$E_\phi^1 E_1^2$	$\phi 1$	
	Antagonismo	A_1 Sinecrosis			$E_0^1 E_0^2$	00
		A_2 Parasitismo	Explotación		$E_0^1 E_1^2$	01
		A_4 Predación			$E_1^1 E_0^2$	10
		A_3 Alolimia	Antibiosis		$E_0^1 E_\phi^2$	0ϕ
		A_5 Amensalismo			$E_\phi^1 E_0^2$	$\phi 0$
	Neutralismo	N_1 Tolerancia			$E_\phi^1 E_\phi^2$	$\phi\phi$

2-5 A fin de obtener "información" de esta estructura, basta con analizar las propiedades del sistema, las cuales proveen cierta especie de patrones de comportamiento de naturaleza operacional dentro del ecosistema.

Las expresiones puramente booleanas, o fórmulas asociadas a cada ecoestado y que forman un conjunto relacional, pueden manifestarse en forma disyuntiva. Esto se debe al hecho de que los ecoestados han sido caracterizados conjuntivamente. Por tanto, una técnica de minimización booleana, al ser aplicada al ecosistema, producirá las características "invariantes" de tal sistema, en otras palabras:

$$i) \text{ Simbiosis} = \{S_1, S_2, S_3\}$$

La forma disyuntiva será:

$$S_1 + S_2 + S_3 = E_1^1 E_1^2 + E_\phi^1 E_1^2 + E_1^1 E_0^2 \text{ lo cual implica que:}$$

$$\phi^{-1}(E_1^1 E_1^2 + E_\phi^1 E_1^2 + E_1^1 E_0^2) = E_1^1 + E_1^2$$

o sea

$$\varphi(E_1^1 + E_1^2) = E_1^1 E_\phi^2 + E_\phi^1 E_1^2 : \text{Probiosis}$$

lo cual conduce a la definición siguiente:

Dos compañías E^1 , E^2 , al interaccionar mantienen una relación simbiótica si por lo menos una de ellas se encuentra bajo condiciones de ganancia pero nunca de pérdida.

$$\text{ii) Antagonismo} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = E_0^1 E_0^2 + E_1^1 E_1^2 + E_\phi^1 E_0^2 + E_0^1 E_\phi^2$$

lo cual implica que

$$\varphi^{-1} \begin{pmatrix} E^1 & E^2 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ \phi & 0 \\ 0 & \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E^1 & E^2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

o sea

$$\varphi(E_0^1 + E_0^2) = E_0^1 E_0^2 + E_\phi^1 E_0^2 : \text{Antibiosis}$$

Por lo que:

Dos compañías E^1 , E^2 , mantienen una relación antagónica al interaccionar si por lo menos una de ellas se encuentra en situación de pérdidas.

$$\text{iii) Neutralismo} = \{N = E_\phi^1 E_\phi^2\}$$

Dos compañías mantienen una relación neutral entre sí, cuando ambos organismos permanecen indiferentes en la interacción.

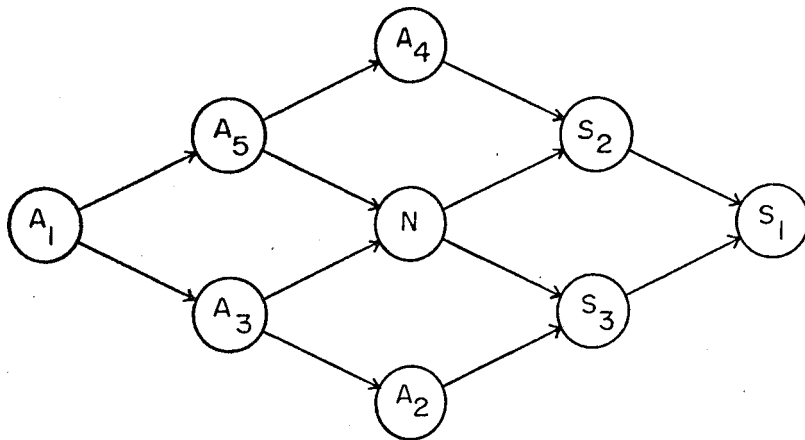
En un estudio anterior del autor, se discuten con detalle las condiciones bajo las cuales se obtienen ecoestados (interacciones interindustriales) y se define por tanto lo que se entiende por *estructura interna del ecoestado*, en donde se justifica que todo proceso evolutivo dentro del *ecosistema* sigue el patrón $0 \rightarrow \phi \rightarrow 1$ para cada compañía.

De lo cual se obtienen ciertas recetas de planificación del desarrollo, y algunas leyes de la dinámica evolutiva, por ejemplo:

- 1) En un proceso de planeación de desarrollo, E^1 no podrá revertir el orden estructural de crecimiento ($0 \rightarrow \phi \rightarrow 1$)

- 2) En una planificación óptima (criterios competitivos) el patrón ganancia- indiferencia-ganancia puede considerarse como factible aunque crítico.

Puesto que para estados generales, las valuaciones directas correspondientes implican el concepto de vecindad topológica *i.e.* Dos estados son vecinos (en sentido topológico) si, y sólo si, difieren tan sólo en una variable valuada, la gráfica general del ecosistema se propone como sigue:



3 Tácticas de planeación para el desarrollo de ecoestados

3-1 Teniendo la gráfica global completa de estados y transiciones el propósito de planeación radica en lograr un estado de mutualismo (o duopolio) como el estado al cual toda evolución debe converger.

Esta afirmación anterior, en el sentido de Pareto se justifica en el modelo cuantitativo, sin embargo, en este punto, conviene resumir el proceso de planificación mediante las siguientes propiedades.

- i) Si E^1 se encuentra en un estado en el que su situación es de pérdida, la transición subsecuente será permisible sólo si E^1 permanece en su misma condición (valuación) pero E^2 cambia a un estado de menor indiferencia. O bien,

- si E^1 progresa a una situación de indiferencia sin considerar la valuación de E^2 .
- ii) Si E^1 se encuentra en un estado tal que su valuación es de indiferencia, entonces toda transición que revalúe a E^1 con pérdidas estará prohibida.
 - iii) Si E^1 tiene valuación de ganancia, los estados de valuación, indiferencia o pérdida representan transiciones prohibidas.
 - iv) Para propósitos cuantitativos, no se permiten transiciones no evolutivas (ciclos en la red).

3-2 Adoptando una notación convencional de los procesos algorítmicos, se prueba que existen seis algoritmos básicos de desarrollo en la gráfica del ecosistema. De éstos, pueden derivarse otros más en los que E^1 es el organismo mejor beneficiado (a costa de E^2). Estos algoritmos tienen un carácter behaviorístico debido a la estructura lógica del modelo aunque si bien, pueden asociárseles criterios económicos de sentido operacional, por ejemplo:

Algoritmo 1

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_5 \\ A_5 &\rightarrow A_4 \\ A_4 &\rightarrow S_2 \\ S_2 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

o sea:

sinecrosis \rightarrow amensalismo \rightarrow predación \rightarrow alotrofia \rightarrow mutualismo

Algoritmo 2

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_5 \\ A_5 &\rightarrow N \\ N &\rightarrow S_2 \\ S_2 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

o sea:

sinecrosis \rightarrow amensalismo \rightarrow tolerancia \rightarrow alotrofia \rightarrow mutualismo

Algoritmo 3

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_5 \\ A_5 &\rightarrow N \\ N &\rightarrow S_3 \\ S_3 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

o sea:

sinecrosis → amensalismo → tolerancia → comensalismo →
→ mutualismo

Algoritmo 4

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_3 \\ A_3 &\rightarrow A_2 \\ A_2 &\rightarrow S_3 \\ S_3 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

Sinecrosis → alolimia → parasitismo → comensalismo
→ mutualismo

Algoritmo 5

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_3 \\ A_3 &\rightarrow N \\ N &\rightarrow S_3 \\ S_3 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

o sea:

sinecrosis → alolismo → tolerancia → comensalismo → mutualismo

Algoritmo 6

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow A_3 \\ A_3 &\rightarrow N \\ N &\rightarrow S_2 \\ S_2 &\rightarrow S_1^* \end{aligned}$$

o sea:

sinecrosis → alolimia → tolerancia → alotrofia → mutualismo

4 *El modelo cuantitativo*

4-1 En general, planificar el desarrollo de un ecosistema industrial puede considerarse como un juego contra la naturaleza (modelo de Edgenworth). Bajo estas circunstancias, el juego y, por lo tanto, el programa lineal con el que se coordina debe tener propiedades especiales ya que la naturaleza no es una "parte interesada". O sea, que imponiendo restricciones sobre el curso de acción de la naturaleza, basadas en experiencias previas, puede lograrse una solución, sino, al menos el conjunto de restricciones del ecosistema podrá caracterizarse.

Cuando estas restricciones conducen a "puntos silla", deben ignorarse, o sea, un entendimiento de la evidencia experimental es más necesario en este caso, a fin de obtener la inferencia correcta (soluciones básicas factibles) de los datos.

Si por actividades se entienden aquellas acciones sobre las cuales el planificador ejerce cierto grado de control. Y eventos aquellas sobre las que no se tiene control, o sea el curso de la naturaleza. El problema de la planeación integral o *PPI* puede formularse como sigue:

§ Debe hacerse una elección de entre el conjunto de eventos (o ecoestados) P_1, P_2, \dots, P_n , teniendo en cuenta que la relativa deseabilidad de cada actividad $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{nm}$ depende del estado de la naturaleza, o evento que prevalece. §

Usualmente se espera del planificador que se conozca cuál es la elección más relevante para tomársele, o al menos, que se pueda evaluar el costo de la acción operacional (o figura de mérito) relativa a esta elección, de acuerdo con el evento que se considerará.

En consecuencia, *PPI* implica que para cada pareja (P_i, X_j) debe existir una consecuencia o resultado que puede sumarse en términos de una función de utilidad.

Es un hecho que en un ecosistema la utilidad se da en términos de flujo de energía, producción, movimientos administrativos, tiempos, costos, etcétera. Por lo que el problema de planear bajo incertidumbre debe plantearse en términos de una matriz cuyas entradas son funciones indicadoras de la "utilidad", por ejemplo, una matriz de transferencias.

Si tales utilidades se denotan por u_{ij} , el arreglo matricial quedará como sigue:

P_1	P_2	...	P_9		
	P_1	u_{11}	u_{12}	...	u_{19}
	P_2	u_{21}	u_{22}	...	u_{29}
	⋮
	⋮				
	⋮				
	⋮				
	P_9	u_{91}	u_{92}	...	u_{99}

Donde $u_{ij} \neq 0 \Leftrightarrow \exists X_{ij} \neq 0$, o sea, que la matriz de incidencias está dada como

	P_1	P_2	...	P_9
P_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{19}
P_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{29}
⋮
P_9	X_{91}	X_{92}	...	X_{99}

con $X_{ij} = 1$ si existe la actividad de transición entre P_i y P_j y $X_{ij} = 0$ si no existe.

Obsérvese que de acuerdo con las leyes de planeación del desarrollo, impuesta en el modelo cualitativo esta matriz de incidencias será sobre-triangular.

Por lo tanto, el problema ahora se reduce a que dado un arreglo de un por n valores u_{ij} en los que la elección de un valor, o la jerarquización de los renglones (o columnas) debe hacerse de acuerdo con cierto criterio de optimización.

Respecto a los estados de la naturaleza, será conveniente que éstos constituyan un conjunto de eventos mutuamente exclusivos, y que se den exhaustivamente, respecto a aquellos aspectos relevantes a las condiciones de planificación, y sobre los que el planificador tiene incertidumbre.

Generalmente esta información corresponde a la enumeración natural de eventos pertinentes en la región de interés particular, por lo que sin graves consecuencias el modelo cualitativo puede considerarse completo, y el modelo cuantitativo que se construya será confiable.

Puesto que ahora el *PPI* se reduce a encontrar un método

adecuado para amalgamar o cambiar industrias individuales a fin de obtener una elección que produzca una decisión operacional, lo cual es equivalente a combinar distintos patrones de desarrollo. O bien, a generar reglas por medio de las cuales el planificador logre la mejor política de fijación de ecoestados de entre los dados en el ecosistema. Esta tarea deberá radicar en generar un procedimiento que adecúe el ambiente exterior (de la región) con el complejo industrial (ecosistema).

Otra tarea por considerar, es una meta secundaria que permita un procedimiento que tomando en cuenta el bienestar de las industrias que interaccionan permita una evolución menos antagonica.

Puesto que el ecosistema se construye a partir de dos organismos E^1 y E^2 cada uno de los cuales experimenta una de tres posibles condiciones por cada estado, considérense ahora dos parámetros α , β , tales que:

CASOS	SITUACIONES
C^I	Se prefiere α a β
C^{II}	Se prefiere β a α
C^{III}	Se es indiferente entre α y β

sea $\zeta = \{C^I, C^{II}, C^{III}\}$ la clase de posibles relaciones preferenciales sobre las alternativas α , β .

Debido a la hipótesis sobre la unidad ecológica formulada en 1, la clase ζ contiene los elementos suficientes y necesarios para formular un ecosistema, y además amplifica la información mediante el siguiente esquema:

C^I	C^{II}	C^{III}
α	β	$\alpha \beta$
β	α	—
$\alpha \beta$	$\alpha \beta$	—

donde la alternativa más preferida se encuentra sobre la menos preferida (vectores columna de preferencia).

Sea ρ una relación de preferencia definida en ζ , y ϱ la relación complementaria, con ϕ la relación conversa. Así, establece

una tricotomía en ζ , o sea, para cada alternativa δ (α o β) y cualquier caso D (C^I o C^{II} o C^{III}) se tiene que:

$$\begin{aligned} D \rho \delta &\Rightarrow D \rho \delta' \\ D \rho \delta &\Rightarrow D \rho \delta' \\ D \rho \delta &\Rightarrow D \rho \delta' \end{aligned}$$

donde δ' indica el complemento de δ con respecto al conjunto $\{\alpha, \beta\}$. Considérese ahora el producto cartesiano $\zeta \times \zeta = \{C^i, C^j\}$ con $i, j = I, II, III$, o sea la clase de parejas ordenadas de patrones preferenciales entre industrias que concurren en cada interacción o ecoestado. Estos elementos pueden listarse como sigue:

$\zeta \times \zeta$	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
(C^I, C^I)	C^I	C^I	C^I	C^I	C^I	C^I
(C^I, C^{II})	C^I	C^I	C^I	C^I	C^I	C^{II}
(C^I, C^{III})	C^I	C^I	C^I	C^I	C^I	C^{III}
(C^{II}, C^I)	C^{III}	C^{II}	C^{II}	C^I	C^{II}	C^I
(C^{II}, C^{II})	C^{II}	C^{II}	C^{II}	C^I	C^{II}	C^{II}
(C^{II}, C^{III})	C^{II}	C^{II}	C^{III}	C^I	C^{II}	C^{III}
(C^{III}, C^I)	C^I	C^I	C^{III}	C^I	C^{III}	C^I
(C^{III}, C^{II})	C^{II}	C^{II}	C^{III}	C^I	C^{III}	C^{II}
(C^{III}, C^{III})	C^{III}	C^{II}	C^{III}	C^I	C^{III}	C^{III}

Cada columna B_k asocia con cada elemento de $\zeta \times \zeta$ un elemento de ζ , o sea éste es un método para conjugar las elecciones individuales en una política general de preferencia en la planeación. Por ejemplo en el procedimiento B_1 , la condición (C^{II}, C^I) va en C^{III} o sea "si E^1 prefiere β a α , y E^2 prefiere α a β la regla B_1 combina estas elecciones en una política de preferencias que radica en la indiferencia entre α y β ".

O sea, que las reglas decisionales B_k pueden verse como el compromiso operacional objetivo entre el patrón de mérito de la planeación y los recursos industriales regionales.

Por lo que B_k representa los procedimientos posibles para planear el desarrollo. En cada caso:

$$K : \zeta \times \zeta \rightarrow \zeta$$

o sea B_k es una función cuyo dominio de definición es $\zeta \times \zeta$ y cuyo rango es ζ . Nótese que como operación B_k es estable y cerrada. Por otra parte, existen 19,683 operaciones de este tipo,

las cuales pueden llamarse *operaciones de bienestar* sin que por ello existan algunas de éstas que más justamente pueden verse como operaciones detrimentales, basta con que beneficien al organismo débil y no al fuerte.

Antes de establecer un criterio específico, considérese el universo decisional sobre el que se construirá una función de planificación. Como B_i está definida para todo "perfil de estados ecológicos" (renglones de $\zeta \times \zeta$), las restricciones a las que se debe apegar tal universo pueden plantearse como sigue:

R_1 (*Condiciones de planificación*)

- i) Sea $\vartheta = \{\alpha, \beta\}$ el conjunto de alternativas.
- ii) El mapeo, de planificación benéfica B se define para todos los posibles perfiles de los ecoestados.
- iii) Cualquier ecoestado representa la interacción de dos industrias.

R_2 (*Planificación consistente*)

Si la función de beneficio B , conduce a que α se prefiere ante β en un determinado perfil de los ecoestados. Entonces no alterará su imagen cuando el perfil se modifique bajo las siguientes condiciones:

- i) Las comparaciones individuales (como parejas) entre α y otra, o bien no se alteran, o se modifican favorablemente sobre α .
- ii) Las comparaciones individuales (de pares) entre alternativas distintas de α no se alteran.

R_3 (*Planificación congruente*)

Si dos perfiles son tales que cada comparación individual entre α y β son coincidentes en ambos perfiles, la planificación de α contra β debe ser igual en ambos perfiles.

Por ejemplo:

Alotrofia

Predación

Tolerancia

Amensalismo

Predación

Tolerancia

R_4 (*Principio de la buena planificación*)

Para cada pareja de alternativas α , β , existe un perfil en los ecoestados tal que el planificador puede elegir la transición preferente gobernada por α más que por β .

R_5 (*Planificación no comprometida/Arrow*)

No se da una industria tal que cuando prefiriendo α a β el planificador también coincida en esta preferencia sin tomar en cuenta la preferencia de la segunda industria.

$R_5(*)$ (*Condición de Pareto optimalidad*)

El conjunto de alternativas son *decisivas* para cada pareja ordenada (α, β) . O, si cada industria en un ecoestado dado prefiere α a β , también el planificador lo prefiere así.

En el caso general, debe aplicarse R_5 , sin embargo nótese que si las condiciones de planificación están dadas (planificación comprometida) como en este caso (se prefiere el bienestar de E^1 . Entonces R_5 no puede mantenerse y tiene que elaborarse una propuesta "directorial" que niegue a R_5 . En otras palabras, cuando E^1 se toma como elemento fuerte en la interacción, si se tiene una situación conflictiva, el planificador está obligado a dar preferencia a las elecciones de E^1 más que a las de E^2 .

Se reconoce que estados competitivos, en general caracterizados por mecanismos de precios, configuran un mecanismo regulatorio de aplicación limitada.

Para juzgar este principio, considérese que una condición competitiva pura en equilibrio a largo plazo deberá ser estable, en el sentido de que se puede adoptar como un estado casi permanente, y además "Pareto óptimo". Aparte de que la condición competitiva no garantiza la unicidad en el caso de explotación (predación, o parasitismo) o como contra ejemplo, en el caso de Probiosis.

Un resultado que ha sido posible probar es que la condición de Pareto optimalidad, tal como se da en ($R_5(*)$) es una condición necesaria para planificar en el "mundo real". Esto sugiere que el desarrollo es un proceso que no se estructura en algún aspecto específico de la administración o de la economía.

Sin embargo, a la luz de la investigación de operaciones (es-

estructuras matemáticas utilitarias) debe obtenerse una solución. Debido a que las variables decisionales que intervienen son de naturaleza exógena, como razones de cambio tecnológico (reemplazo, confiabilidad, etcétera) o relativas a recursos (programaciones matemáticas, inventarios, etcétera) o aun en ciertos casos, gustos o número de consumidores (mercadotecnia), y desde el punto de vista de localización industrial, variables tales como políticas gubernamentales o financieras. Estas variables, son de tipo mudo, o sea el modelo debe concentrarse tan sólo sobre las coordinaciones que se establezcan a corto tiempo, entre variables mudas y variables que determinen el mantenimiento y logro del estado Pareto óptimo que caracteriza un ecoestado competitivo por excelencia y de situación benéfica al menos para el organismo fuerte.

4-2 El esquema de arbitración.

A medida que se incrementa el número de industrias y de alternativas es más compleja la presentación del modelo que exhiba explícitamente los ordenamientos preferenciales. Por tanto, considérese la siguiente formulación en forma compacta, con una nomenclatura más adecuada:

- i): *Alternativas*: Sea $\sigma = \{\alpha, \beta, \dots, \omega\}$ el conjunto de alternativas.
- ii): *Organismos*: O sea, los miembros de una interacción en el ecosistema.
- iii): *Preferencias*: Para cada organismo i , y alternativas ξ, τ uno y sólo uno, de los siguientes casos es aplicable:
 - iii/1): E^i prefiere ξ a τ , o sea $\xi P_i \tau$
 - iii/2): E^i prefiere τ a ξ , o sea $\tau P_i \xi$
 - iii/3): E^i es indiferente entre ξ y τ , o sea $\xi I_i \tau$
 - iii/4): E^i no prefiere ξ ni τ , o sea $\xi P_i \tau$

A fin de validar este criterio, cada organismo debe plantearse con una evolución consistente (el compromiso de la planificación) con sus preferencias, o sea, P_i, I_i y P_i serán relaciones transitivas.

Por lo tanto, para dos alternativas, existen por lo menos tres posibles ordenamientos preferenciales y para tres alternativas

existen al menos trece órdenes de preferencia. En general, esto puede presentarse permitiendo que $\zeta = \{C^I, C^{II}, \dots, C^{(N)}\}$ sea la clase de ordenamientos preferenciales de alternativas, donde N depende del número total de alternativas con respecto al cual crece muy rápidamente.

- iv) *Perfil de ordenamientos preferenciales*: consiste en un n -tuplo de ordenamientos tales como $(C^I, C^{II}, \dots, C^{(N)})$ donde C^i es el orden preferencial para el i -ésimo estado y C_j el j -ésimo caso de $P_j, I_j, \text{ ó } P_j$.

En consecuencia, la clase de todos los posibles perfiles preferenciales es el conjunto producto

$$\zeta^{(N)} = \{\zeta_x \zeta_x \dots x\zeta\}$$

- v) *Función de bienestar ecológico*: o sea, el esquema de arbitración, es una regla que asocia a cada perfil de ordenamiento preferencial (un elemento de $\zeta^{(N)}$) un orden de preferencia para el propio ecosistema. Si B denota tal regla, el mapeo puede representarse como sigue:

$$B: (C_I, C_{II}, \dots, C_N) \rightarrow \zeta$$

Fácilmente puede observarse que existen muchas y variadas reglas de $\zeta^{(N)}$ a ζ . Sin embargo si se interpretan los resultados matemáticos como elegibles criterios de planificación, existirán ciertos requisitos que debe cumplir una función a fin de ser considerada como una "función adecuada de planificación".

Pueden proponerse tres tipos de requisitos o condiciones, unos un tanto subjetivos como las políticas gubernamentales, que no están sujetas, generalmente, a un proceso matemático, otras, como los principios de R_1 a R_5 (*) incluyendo el teorema de imposibilidad de Arrow. Finalmente, puesto que *tiempos y costos* son siempre variables sujetos a mediciones, que constituyen básicamente los elementos sobre los que actúan criterios de optimización, se hace hincapié en dos requisitos que estas variables deben satisfacer a fin de elaborar el siguiente modelo cuantitativo.

4-3 El modelo cuantitativo.

El concepto de optimización se involucra en este modelo, al considerar métodos de programación matemática aplicados al estudio de interacciones interindustriales. La función por optimizar debe estar en concordancia con la naturaleza del ecosistema y describir sus propiedades, en otras palabras, será un "patrón de mérito" para el que se encuentre el valor óptimo. Este patrón de mérito está sujeto a restricciones que reflejen las políticas de planeación así como también las leyes de beneficio, condiciones tecnológicas, ambientales socio-económicas, o acotamientos desprendidos de la dinámica gubernamental.

Estas restricciones incluyen en forma implícita las condiciones de equilibrio, y dan origen a un "programa" y su correspondiente "solución" de acuerdo con las estrategias impuestas por el programador en concordancia con los patrones de mérito que desean generarse. Por ejemplo "seleccionar el programa que minimice el uso de recursos en el desarrollo" por un problema primal de optimización o por el dual de maximizar el mencionado patrón de mérito.

Supóngase que las figuras de mérito pueden proponerse como series de funciones específicamente formuladas:

$$\begin{array}{c} f_1(x_1, x_2, \dots, x_m) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_m) \\ \hline \hline f_n(x_1, x_2, \dots, x_m) \end{array}$$

con f_1 representando inversiones, f_2 mercado de trabajo, etcétera.

Entonces, estas funciones, transforman cualquier elección de valores de x_1, x_2, \dots, x_m en su correspondiente valor de inversión, de trabajo, etcétera. Lo cual puede tomarse como razones de productividad bajo cierto patrón de desarrollo, o sea, siguiendo uno de los seis algoritmos básicos de desarrollo.

Las elecciones x_1, x_2, \dots, x_m deben conformar cada una de las restricciones, las cuales quedan formuladas como sigue:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq b_i \quad , \quad (1 \leq i \leq n)$$

con lo cual se despliegan los compromisos b_i en forma explícita para cada una de las n restricciones.

Más formalmente, se puede proponer el siguiente problema: optimizar el conjunto

$$\{f_1(x_1, \dots, x_m), f_2(x_1, \dots, x_m), \dots, f_n(x_1, \dots, x_m)\} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$$

sujeto al siguiente conjunto de restricciones:

$$\{g_i(x_1, \dots, x_m) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n\}$$

el cual representa estructural y cuantitativamente al problema de planeación del desarrollo en un ecosistema de estados de interrelación interindustrial.

Resumiendo, el *PPI* se ha reducido a un problema matemático de optimización de un vector, cuyas componentes son las funciones f_i . Sin embargo, orientado con respecto a un objetivo escalar, o unitario, relativo a una sola regla $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Se tienen más restricciones en el caso lineal, y son:

optimizar

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m C_j X_j$$

sujeto a

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

además

$$x_j \geq 0, A_j$$

Bajo dualización, como se menciona anteriormente, el problema asociado de planificación se formula como:

optimizar

$$\sum_{i=1}^n w_i b_i$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^n w_i a_{ij} = C_j$$

con

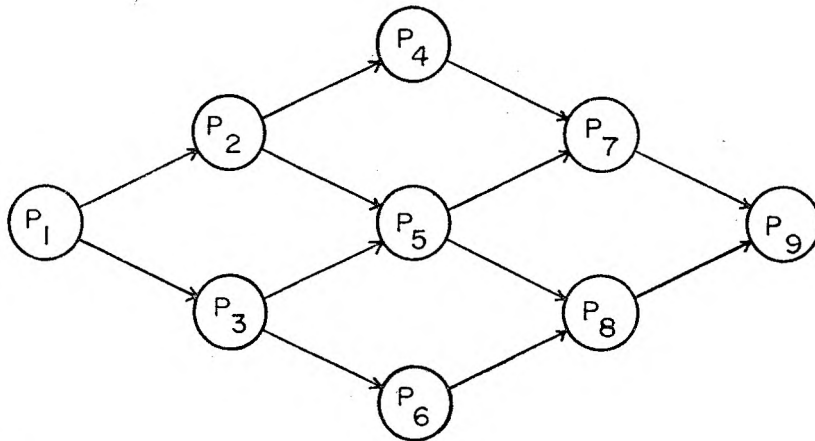
w_i irrestricto en signo.

Por tanto, un nuevo patrón de mérito aparece, y está relacionado a las variables w_i referidas a su vez, al compromiso de planificación como evaluadores de los costos de oportunidad.

Tomando los criterios de Charnes, "... el criterio para seleccionar y evaluar alternativas a fin de controlar un problema orientado a gráficas, puede resumirse como sigue... observar que las actividades se engendran subsecuentemente vía un plan... que puede iniciarse a partir de cualquier programa (ecoestado)... los problemas para asegurar un buen término entre planes y operaciones, constituyen el núcleo del problema de control..."

Por tanto, un plan para elegir la estrategia más adecuada de planificación de desarrollo, una vez adoptado, constituye un aspecto fundamental del control del proceso.

Puesto que se tiene un modelo behaviorístico, gráfico, de estados y transiciones, sea esta gráfica el proyecto de planificación general:



con

$$\begin{array}{lll}
 P_1 - A_1 & P_4 - A_4 & P_7 - S_2 \\
 P_2 - A_5 & P_5 - N & P_8 - S_3 \\
 P_3 - A_3 & P_6 - A_2 & P_9 - S_1
 \end{array}$$

O sea los nodos P_k representan a los ecoestados, y las transiciones (lados) representan las tareas que deben efectuarse a partir de cierto algoritmo.

Asociadas a estas tareas, deben considerarse ciertos esfuerzos recursos, tiempo, producción, etcétera.

Las características del modelo son:

- 1) Una tarea emanada de un nodo dado no puede considerarse como una transición actual, sino hasta que una transición previa que incida en el nodo en cuestión se haya efectuado.
- 2) A partir de cualquier estado, el estado de planificación consumada (P_0) puede ser alcanzado.
- 3) La cadena de desarrollo que alcanza al estado de planificación consumada con el mínimo empleo de recursos al evolver recibe el nombre de política óptima de desarrollo, o camino crítico de la planificación.
- 4) Cualquier alteración del costo de transición en una política de desarrollo afectará el valor total de transiciones en que el desarrollo pueda completarse.

Nótese que el control de la política de desarrollo, se provee por medio del enfoque que se dé a las tareas que se presentan como críticas, a fin de asegurar una adecuación con los esfuerzos óptimos.

La estructura del modelo se elabora a partir de la concretización de la matriz de incidencias de la red del ecosistema, siguiendo los criterios que se dan a continuación:

- 5) Las designaciones de nodo y arco se transfieren de la gráfica a la matriz como lo muestra la siguiente matriz:

t_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	b_i
arcos nodos	X_{12}	X_{13}	X_{24}	X_{25}	X_{35}	X_{36}	X_{47}	X_{57}	X_{58}	X_{68}	X_{79}	X_{89}	
w_1	1	1											-1
w_2	2	-1		1	1								-0
w_3	3		-1			1	1						0
w_4	4			-1				1					0
w_5	5				-1	-1			1	1			0
w_6	6						-1				1		0
w_7	7							-1	-1			1	0
w_8	8									-1	-1		1
w_9												-1	-1
													+1

t_{ij} = (C_1, C_2, \dots, C_{12})
: tiempo, costos, disponibilidad, etcétera.

X_{ij} : transiciones.
 w_{ij} : variables duales.
 b_i : requisitos.

6) Cada arco debe incidir en dos nodos, lo cual se refleja en la matriz anterior como sigue:

- i) Considérese cualquier columna.
- ii) En el renglón asociado con el nodo sobre el cual incide el pie del arco, el valor es -1 .
- iii) En el renglón asociado con el nodo sobre el que incide la cabeza de la flecha el valor es $+1$.
- iv) En las entradas de la matriz que no tienen valor de incidencia se considera 0.

Los valores b_i que se muestran reflejan el tipo de flujo de energía de interacción que se imponen sobre la red. $b_1 = -1$ implica el hecho de que el flujo entra, $b_2 = b_3 = \dots = b_8 = 0$ representa flujo en transición, y $b_9 = 1$ implica que el flujo sale. En otras palabras, se acepta el principio de la conservación de flujos.

Por lo cual el modelo se formula como sigue:

optimizar:

$$Z = C_1X_{11} + C_2X_{12} + C_3X_{24} + C_4X_{25} + C_5X_{35} + C_6X_{36} + C_7X_{47} + \\ + C_8X_{57} + C_9X_{58} + C_{10}X_{68} + C_{11}X_{70} + C_{12}X_{89}$$

sujeto a:

$$\begin{array}{rcccccccc} X_{11} + X_{12} & & & & & & & & = -1 \\ & & & & & & & & = 0 \\ -X_{12} + X_{24} + X_{35} & & & & & & & & = 0 \\ & -X_{24} & & + X_{47} & & & & & = 0 \\ & & -X_{25} - X_{35} & & + X_{57} + X_{58} & & & & = 0 \\ & & & -X_{36} & & + X_{68} & & & = 0 \\ & & & & -X_{47} - X_{57} & & + X_{70} & & = 0 \\ & & & & & -X_{58} - X_{68} & & + X_{89} & = 0 \\ & & & & & & -X_{70} - X_{89} & & = 1 \end{array}$$

además:

$$X_{ij} \geq 0$$

El cual además asegura que las direcciones del flujo en la red se respetan en el modelo.

Los valores de transición se registran en las C_j para cada cerco, y Z constituye el patrón de mérito asociado a la solución. Nótese que bien puede tomarse a las C_j como probabilidades de disponibilidad de recursos, en cuyo caso, a fin de relacionar al patrón de mérito con las políticas de confiabilidad de recursos óptimas.

En consecuencia, el objetivo de planificación se ha modelado, y el problema dual, implícitamente queda formulado, para las variables w_i para obtener finalmente el conjunto de tácticas-estrategias que decidirán la planificación, como se expone en un trabajo anterior del autor.

Una solución típica (sin hacer hincapié en costos específicos) bien puede resultar $X_{13} = X_{35} = X_{57} = X_{78} = 1$ digamos, o sea que el camino crítico de planificación y su continuidad están dados por la condición

$$i(t) = j(t) + 1$$

con i el primer índice de arco, y j el segundo dependiendo del tiempo t en que se considera la interacción. Las variables cuyo valor es 0 toman este valor que representa su no relevancia en el desarrollo bajo consideraciones de evolución temporal, o condiciones de inversión dadas en la computación específica del modelo.

5. El modelo de simulación

5.1 Puesto que en la primera parte términos como precios, beneficios, producción, pérdidas, etcétera, se mencionan, por medio de los modelos cualitativo y cuantitativo (partes 2, 3, 4), las interacciones interindustriales pueden planearse en forma tal que la figura de mérito se refiera a los conceptos de que se habla en (1). Esta afirmación condujo a formular un modelo de simulación mediante el cual, la naturaleza de los constantes que se dan en el modelo cuantitativo pueda variarse de acuerdo con el marco de referencia de la planificación.

En este caso, la simulación por computadora constituye una metodología que requiere técnicas matemáticas una vez más, diferentes a las ya empleadas en los modelos precedentes. Sin embargo el análisis del ecosistema se lleva a refinamientos si bien más pragmáticos, también más acertados, versátiles y detalla-

dos. Teniéndose *de facto* libertad para imponer restricciones sólo mencionadas en los otros modelos.

Para establecer este modelo es necesario tener en cuenta que el ecosistema puede describirse por un conjunto de ecuaciones que expresen las posibles interrelaciones de los ecoestados, por medio de variables mesurables que determinen el comportamiento cuantitativo del sistema.

Se emplean dos tipos de estas variables, exógenas y endógenas que obedeciendo las leyes del modelo y de la evolución de los estados operan en forma cíclica, o sea, por periodos de tiempo completos. El ecosistema se comporta como un sistema dinámico cerrado, y las variables se sujetan a los principios R_1 a R_5 . Al configurarse una situación Pareto-óptima, el tipo de interacción entre industrias toma formas competitivas de interrelación, hasta consolidarse en un nodo de planificación consumada o mutualismo (algunas veces llamado duopolismo) o estado de equilibrio del ecosistema.

5-2 Características del modelo

Supóngase que en cada estado, excepto en el de mutualismo, cada industria establece qué tantos recursos requiere para su bienestar (producción, mercado, etcétera) a fin de lograr determinadas ganancias. Esto se obtiene por modelos ya conocidos de investigación de operaciones o sea qué producción, para ser específicos, es una variable exógena que debe determinarse por un modelo externo al ecosistema.

Convéngase en que cada ciclo de interacciones, o sea, las respuestas de las compañías debidas a las acciones de otras compañías y viceversa, se toman como periodos de tiempo. Entonces, la simulación debe construirse bajo las siguientes relaciones y variables:

- 1) *Variables instrumentales.* $X_1(T)$. $X_2(T)$: número de unidades producidas que se venden tanto por E^1 como por E^2 respectivamente durante el periodo T .
- 2) *Variables endógenas* $S(T)$ cantidad total de producción de E^1 y de E^2 que pasa al mercado en el periodo T .
 $D(T)$ demanda total del mercado durante el periodo T .
 $C_1(T)$, $C_2(T)$ los correspondientes costos de producción que se requieren por cada compañía durante el periodo T .

$P(T)$ precio de mercado por artículo producido por ambas industrias.

- 3) *Variables exógenas* $A(T)$ variable estocástica que sirve para simular el precio de liquidación del mercado al periodo T .

$A'(T)$ variable estocástica para simular las producciones correspondientes de ambas compañías durante el periodo T , donde

$$A'(T) = \alpha A(T)$$

$B_1(T), B_2(T)$ variables estocásticas que se emplean para simular costos de producción para las industrias E^1 y E^2 , respectivamente, durante el periodo T .

- 4) *Constantes y parámetros.* Para facilitar la manipulación de datos, se requieren ciertos parámetros, y para analizar las fluctuaciones se requiere un conjunto de coeficientes constantes. Puesto que el sistema no es independiente de cambios tecnológicos, políticos, socioeconómicos, etcétera, también se consideran variables mudas, todo esto representado con literales griegas.

5) *Relaciones operacionales*

$$D_1(T) = (\beta - \gamma X_2(T-1) + A'(T) - \delta) / 2 \gamma$$

$$D_2(T) = (\beta - \gamma X_1(T-1) + A'(T) - \delta) / \gamma 2$$

$$D_3(T) = D_1(T) + D_2(T)$$

O sea que se requiere que la oferta y demanda de la producción tengan un estado de equilibrio.

$$C_1(T) = (D_1(T) - \eta_1)^2 + \tau \eta_1^2 + \mu + B_1(T)$$

$$C_2(T) = (D_2(T) - \eta_2)^2 + \tau \eta_2^2 + \mu + B_2(T)$$

Donde $\eta_1, 2$ representan parámetros de escala, τ y μ son constantes exógenas relativas a cambios industriales debidos al ambiente.

$$P(T) = \xi - \lambda_1 S(T) - \lambda_2 S(T-1) - \lambda_3 S(T-2) + A(T)$$

6) *Identidades*

$$G_1(T) = P(T)D_1(T) - \delta D_1(T)$$

$$G_2(T) = P(T)D_2(T) - \delta D_2(T)$$

$$\begin{aligned} G_3(T) &= P(T)D_1(T) - 1C_1(T) \\ G_4(T) &= P(T)D_2(T) - C_2(T) \end{aligned}$$

$G_k(T)$ ($k = 1, 3$) representa el beneficio total de la industria E^1 , y con $k = 2, 4$ el de E^2 . δ es una constante de costo unitario de los artículos que se producen. Si $G_3(T)$ y $G_4(T)$ sobrepasan ciertos límites, por ejemplo un intervalo de confiabilidad con centro en el punto de equilibrio, entonces la situación se derivará de un patrón de planeación diferente. Las cuotas superiores del mencionado intervalo, se dan por k_1 y k_2 respectivamente (véase el diagrama de flujo del modelo).

Observaciones

Hasta el momento, cada compañía ha sido tomada con una contabilidad diferente, con políticas administrativas, potencial tecnológico, etcétera, individuales, en pocas palabras, como un organismo independiente en determinada región. Sin embargo, tan pronto se inicie su producción, la interacción tendrá lugar, y al menos un tipo fundamental de ecoestados se va a configurar. Se tienen ocho interrelaciones de planificación no consumada, pero en todos ellos se da una interacción de tipo competitivo, por lo cual, para los fines de este modelo, el estado de tolerancia se considerará como una situación degenerada de duopolio.

Este modelo, aparentemente simplista debido al gran número de restricciones impuestas sobre el sistema, tiende a permanecer en un nivel lineal (lo cual no es válido por ejemplo en costos de producción).

Sin embargo, las decisiones que del modelo se obtienen, constituyen un conjunto de resultados satisfactorios en el terreno experimental, y consistentes en el terreno formal.

El conjunto de restricciones más importantes a que conducen los tres modelos (cualitativo, cuantitativo y simulacional) es el siguiente:

- i) Cada organismo es capaz de valorar sus coeficientes de utilidad (dados en la función objetivo del aspecto que va a planificarse).
- ii) Por medio de un análisis histórico de las interacciones de mercado, las estrategias de producción de la empresa oponente, permiten valorar el mercado de capital referente a costos.

- iii) Usando modelos lineales o a lo más, bilineales (oferta, demanda) puede conocerse el mercado.
- iv) La industria E^1 supone que la industria E^2 produce, en el período T , al menos el mismo monto que en $(T-1)$ (ídem para E^2).
- v) No se tienen limitaciones de la capacidad de producción de alguna de las compañías.

Por lo tanto, pueden justificarse las siguientes formulaciones que trabaja el modelo de simulación.

Los beneficios esperados, para E^1 pueden formularse como sigue:

$$G_1(T) = P(T) D_1(T) - \delta D_1(T)$$

pero el precio de producción es

$$P(T) = \beta - \gamma D_3(T) + A(T)$$

entonces

$$G_1(T) = D_1(T) - \gamma D_3(T) D_1(T) + A(T) D_1(T) - \delta D_1(T)$$

supóngase que E^1 espera que los réditos de E^2 en el periodo T sean los mismos que en $(T-1)$, entonces

$$D_3(T) = D_1(T) + D_2(T-1)$$

así

$$G_1(T) = \rho D_1(T) - D_1(T) \gamma D_1(T) - D_1(T) \gamma D_2(T-1) + A(T) D_1(T) - \delta D_1(T)$$

Por lo que diferenciando parcialmente con respecto a $D_1(T)$ e igualando a cero:

$$\frac{\partial G_1(T)}{\partial D_1(T)} = \rho - 2\gamma D_1(T) - \gamma D_2(T-1) + A(T) - \delta = 0$$

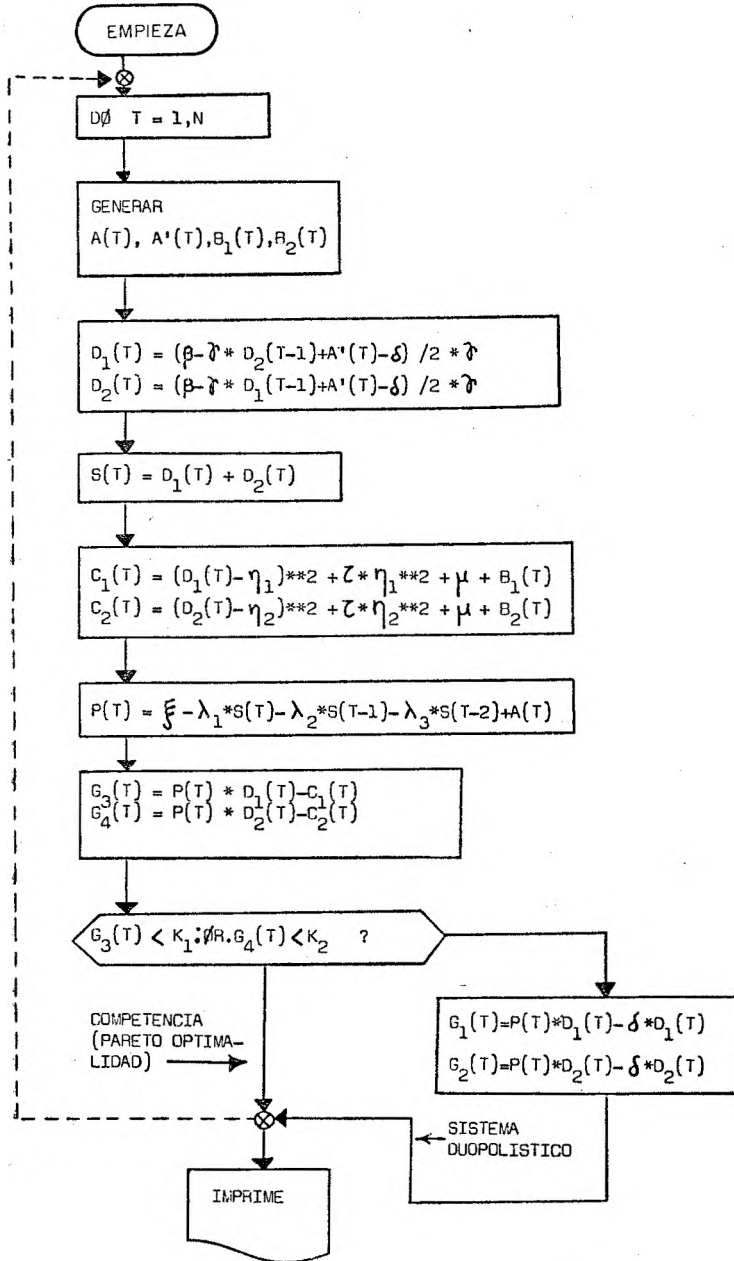
entonces el beneficio marginal óptimo será:

$$D_1(T) = (\rho - \gamma D_2(T-1) + A'(T) - \delta) / 2\gamma$$

similarmente

$$D_2(T) = (\beta - \gamma D_1(T-1) + A'(T) - \delta) / 2\gamma$$

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL ECOSISTEMA



Algunas consecuencias de este programa son:

- i) El modelo facilita las predicciones correspondientes para elaborar el espacio táctico de cada empresa.
- ii) Permite evaluar las demandas del medio ambiente.
- iii) Facilita la predicción de estados de pérdidas, ganancias e indiferencias debidas a la evolución futura, o sea el espacio decisional se caracteriza dentro del ecosistema.
- iv) Permite fijar el espacio estratégico de transiciones.
- v) Caracteriza el producto del próximo estado.

El diagrama de flujo correspondiente puede verse a continuación. Nótese que mientras que en una situación conflictiva, se imprimen los resultados Pareto óptimos cuando los aspectos de interacción son benéficos para ambas empresas, la impresión corresponde a duopolio.

Referencias

- Arrow J. et al. *Social Choice and Individual Values*. Monografía Núm. 12 Cowles Commission.
- Buttrick, J. *Towards a Theory of Economic Growth*. (Theories of Economic Growth ed. B. Hoselite/McMillan).
- Charnes, A., Cooper, W. *A Network Interpretation and a Directed Subdual Algorithm for Analytical Path Scheduling*. Jour. Eng. (Jul-Aug) 1962.
- Chorafas, D. *Systems and Simulation*. Academic Press.
- Duncan, R., Raiffa, H., Wiley, J. *Games and Decisions*.
- Karp, Lian. *Optimum Criteria for Development planning*. I. C. S. (London)/CCE (UNAM).
- Readings in Ecology*. Ed. R. Kormondy/Prentice Hall.
- Naylor, T. et al, Wiley, J. *Computer Simulation Techniques*.
- Introduction to Mathematical Logic* (Vol. 1). Princeton Univ. Press.
- Samuelson, P., Solow, R. *Balanced Growth Under Constant Returns to Scale*. *Econometrica* xxi, 412-24.
- Sengupta, S., Wiley, J. *Operations Research in Seller's Competition*.