

Automata facing constraints of time and energy in extreme zones: a simulation from Evolutionary Economics.

Andrés Soto Pereira

Departamento de Electricidad, Universidad Tecnológica Metropolitana,
andres.soto@utem.cl

Abstract. This paper proposes a model to explain the behavior of an automaton when it replaces humans facing shortage scenarios. Particularly it studies the behavior of the robot when is targeted on missions in extreme zones, the latter being understood as those parts of a territory whose natural conditions hamper the human physiology and so the performance at work. Accepting the recommendations from Evolutionary Economics as heterodox branch of Economics, it emulates the behavior of vertebrates in classical automata with the restriction of both time and energy when the device is entrusted the survey data in naturally hostile environments. The simulations show that performance of an automaton increases by 20% compared to a traditional one. Whereas the third of the planet's surface is essentially an extreme place, comprising of the polar caps, hyper-arid deserts, volcanoes and other inhospitable areas of reduced contribution to GDP; is expected that this proposal can be an attractive technology for the complete integration of those extreme zones.

Keywords: emulation, productivity, automaton, extreme zone, evolution, scarcity.

1.- Problema

Extensos lugares del territorio chileno han sido desaprovechados por las condiciones naturales de tipo hostil que ellos presentan para las actividades productivas humanas. La Antártica, los Campos de Hielo, la fosa de Atacama, las altas cumbres de los Andes y la parte hiper-árida del desierto de Atacama entre otras; son consideradas como Zonas Extremas debido a las limitantes meteorológicas y/o geomorfológicas para los Homo sapiens [1].

Para lograr la conquista de tales Zonas Extremas, la ciencia y la tecnología han realizado importantes aportes, particularmente desde la Geografía a través de la doctrina del Posibilismo [2] y la Cibernética a través del diseño de dispositivos homeostáticos que permiten a individuos de nuestra especie desenvolverse en escenarios adversos [3]. Es más, en algunos casos se han destinado tanto en forma experimental como de manera productiva, autómatas para desempeñarse en regiones hostiles, donde estos artefactos que operan por sí

mismos, presentan un mejor rendimiento que los seres humanos [4]. Sin embargo, la mayoría de los citados autómatas no han sido dotados de ciertas cualidades que les permiten a los animales ensamblarse exitosamente en escenarios adversos [5]. En tal contexto, el presente artículo propone la incorporación de una cualidad biológica observada en vertebrados que se relaciona con la toma de decisiones ante restricciones de Tiempo y/o Energía.

2.- Objetivos

Puesto que la clasificación de Zona Extremas se hace sólo en función de las variables naturales de éstas, el presente artículo propone un modelo explicativo de una automática emulando la condición de un vertebrado en estado natural prescindiendo de toda conducta cultural. Sin embargo, aun cuando las condiciones culturales se hayan postergado para ser incorporadas en futuros modelos, se espera que la presente abstracción constituya una base donde soportar variables de creciente complejidad.

3.- Método

Para lograr tal modelo básico, se comienza con una caracterización de las Zonas Extremas chilenas para luego describir el comportamiento ante las restricciones de Tiempo y Energía que se observan en el Reino Animal. Esta descripción se realiza incorporando conceptos de la Economía Evolutiva, entendida ésta como la doctrina económica que enriquece sus teorías respecto al comportamiento ante la escasez con aportes provenientes desde la Biología, particularmente desde el fenómeno de la Evolución.

Enseguida se discute el manejo de estos dos insumos para finalmente simular la conducta de un autómata en diversas actividades productivas en diferentes escenarios hostiles del territorio chileno.

4.- Resultados

4.1.- Planeta Extremo

Generalmente se percibe al planeta Tierra como un cuerpo celeste mayoritariamente benevolente para las actividades humanas. Sin embargo tal apreciación es errónea pues casi la tercera de la superficie del globo expone condiciones naturales bastantes adversas para individuos de nuestra especie. Los desiertos hiper-áridos y la Criósfera (parte helada del planeta) son escenarios de gran cobertura territorial que entorpecen las actividades productivas de varios países que ocupan estos territorios.

Por ejemplo, pese a que más del 85% de la población chilena habita un territorio cuyas condiciones naturales son benevolentes, en este país quedan lugares que escapan al sometimiento de los intereses tanto públicos como privados. Al respecto, a modo ilustrativo he aquí algunos datos cuantitativos de porciones de Chile Tricontinental que poseen variables que dificultan las actividades humanas.

- Territorio Antártico Chileno: 1250000 Km²

- Superficie de hiperaridez: 4 500 Km²
- Superficie sobre los 4000 m de altitud: 8 % continental.
- Cantidad de volcanes geológicamente activos: 500
- Campos de Hielo Norte y Sur: 4200 Km² y 13000 Km²
- Fondo mar profundidad mayor a 6000 m: 2000 Km²

Para propósitos de productividad, ningún ser humano desprovisto de algún dispositivo homeostático artificial podría resistir una jornada laboral en cualquiera de los escenarios anteriormente listados. Bloqueador solar para el desierto de altura y ropa térmica en Campos de Hielo son algunos dispositivos típicos para enfrentarse a ciertas condiciones hostiles naturales.

Ante la necesidad de disponer de un indicador cuantitativo que mida el grado de hostilidad de las zonas en cuestión, se ha concebido un Índice de Extremadura que mide la fracción de una jornada laboral que una persona adulta de contextura mediana desprovista de cualquier dispositivo artificial resiste sin superar una alteración en su entorno equivalente a 100 Kcal/hora. Es decir, el Índice de Extremadura mide el porcentaje de la jornada en el cual la persona está bajo este umbral, el cual en condiciones normales coincide con el trabajo realizado en una oficina.

Así por ejemplo en la fosa de Atacama el Índice de Extremadura será 1,0 por cuanto ningún ser humano será capaz de soportar la presión ejercida por una columna de agua de más de la altura de una montaña. Por el contrario, en el desierto de Atacama alcanzará un valor cercano a 0,2 pues la radiación solar incidente de 3 W/m²/min comenzará a dañar la visión y la piel y al cabo de una hora el trabajo de cualquier persona se entorpecerá.

4.2. La Economía Evolutiva

Pese a la diversidad que presentan las Zonas Extremas en cuanto a temperatura, suelo, radiación solar y humedad, todas ellas presentan una condición común: escasez. En efecto, todas ellas se

caracterizan por una muy poco densa de red de transporte y comunicaciones que dificulta el flujo de insumos y productos hacia y desde cualquier proceso. Ante esta omnipresencia de escasez, la Economía como ciencia especializada en dicho fenómeno [6], no ha realizado una propuesta explícita para el aprovechamiento de la gran cantidad y diversidad de Zonas Extremas. Aunque ninguna vertiente o doctrina clásica de la Economía como ciencia de la escasez haya realizado un aporte sustancial al respecto, una rama heterodoxa de ella autodenominada Economía Evolutiva, está realizando diversas contribuciones culturales a las sociedades contemporáneas [7].

En lo que respecto al problema expuesto en el presente artículo, el cual se relaciona con la subexplotación de Zonas Extremas debido a la carencia de ciertas cualidades en los entes autónomos destinados a reemplazar a los seres humanos, la Economía Evolutiva recomienda examinar el comportamiento de otros seres diferentes a los humanos [8]. En efecto, puesto que la escasez no es un problema exclusivo humano; sino de todo el Reino Animal e incluso el Vegetal, el presente artículo examina el comportamiento de otros seres vivos frente a restricciones naturales para recrearlas artificialmente en autómatas.

4.3.- La Observación al Reino Animal

Según algunos ecólogos, la restricción fundamental en cualquier actividad de alimentación se relaciona con el Tiempo y Energía disponible [9]. En efecto, a pesar de que las actividades de supervivencia incluyen el cortejo, apareo y crianza entre otras, la mayoría de los Economistas Evolutivos coincide en que la principal por cuestiones coyunturales es la de alimentación.

Al respecto una situación práctica observó Dukas en un gorrión cuando esta ave desmenbraba un saltamontes para ingerirlo con un orden dado por la razón entre la energía aportada y el tiempo de

preparación. Es decir, el gorrión comenzaba por los miembros que le aportaban mayor energía y que a la vez le quitaban menos tiempo en la preparación.

Esta toma de decisiones que puede catalogarse como óptima en el gorrión, también puede notarse en seres humanos, constatando que el comportamiento de individuos de esta especie de primates es diferente según se trate de restricción de Tiempo o Energía. A modo de ejemplo supóngase que una persona tiene una cita en la periferia de la capital a las 12:00 horas de un día cualquiera y que viaja hacia tal encuentro conduciendo su automóvil. Supóngase además que se presentan dos situaciones mutuamente excluyentes. La primera es cuando la persona del ejemplo mira el indicador del estanque de bencina y se percató que el estanque de combustible está casi vacío. También mira su reloj y se da cuenta que resta media hora para el inicio de la cita y que según la señalización de calles, variedad que la persona también absorbe, le queda por recorrer una veintena de cuadras. Ante este escenario es probable que la persona conduzca su vehículo a una marcha ligera, evitando aceleraciones y frenadas que tan sólo consumirán más del poco combustible que le queda. Ciertamente está bajo una restricción de Energía.

La otra situación ocurre cuando su reloj le indica por ejemplo las 11:55 y el indicador del estanque le muestra que está lleno. En tal escenario es probable que pise el acelerador para recorrer lo más pronto posible la veintena de cuadras restantes. Ciertamente está bajo una restricción de Tiempo.

Tanto la Economía Neoclásica como la Evolutiva coinciden en el protagonismo de las restricciones de Tiempo y Energía. La primera suele llamar a la restricción de Energía en forma más restrictiva como "spending power", presupuesto u otros sinónimos [10]. Sin embargo, desde la Economía Evolutiva se identifica una denominación más universal, etiquetando a esta restricción como Energía, la cual es la "moneda" de cambio en el Reino Animal.

4.4.- La Simulación y el Algoritmo

Se supone un autómata que dispone de un máximo de energía E y de un plazo T para realizar sus tareas. A medida que opera consume diversas formas de energía y se le acaba tiempo, quedando cada vez menos de tales recursos para realizar sus funciones. Frente a tal agotamiento de insumos, él debe ordenar preferencialmente las acciones a realizar según uno de los siguientes criterios

- Margen, entendida como la diferencia entre los ingresos y los egresos que implica para él cierta alternativa.
- Eficiencia, entendida como el cociente entre los ingresos y los egresos que implica para él cierta alternativa.

Al igual que los animales forrajeros, cuando las restricciones son sólo de Tiempo, el autómata ordenará las acciones según Margen; mientras que cuando son de Energía las ordenará según Eficiencia. Notable es la similitud entre estos dos criterios observados en el Reino Animal con respectivamente dos Indicadores de Rentabilidad ocupados en la Evaluación de Proyectos. En efecto, el Margen recuerda al Valor Actualizado Neto, mientras que la Eficiencia recuerda a la Relación Beneficio/Costo

Cualquiera que sea la situación y por ende el criterio a emplear para identificar a la mejor alternativa, el autómata según el Principio de Variedad debe disponer de las estructuras para absorber las variables pertinentes [11], siendo en este caso los siguientes dispositivos:

- Un propioceptor de Tiempo a modo de reloj y de un propioceptor de Energía a modo de limnómetro de combustible que permitan cuantificar los remanentes de ambos insumos.
- Tasa de consumo de Tiempo y Energía para la tarea encomendada.
- Magnitud de la tarea encomendada.

Matemáticamente tal información se resume en el siguiente conjunto de variables:

X6 = Hora Inicial [hr]
X7 = Hora Corriente [hr]
X8 = Plazo de Tarea [hr]
X9 = Volumen Corriente de Combustible [lt]
X10 = Volumen Inicial de Combustible [lt]
X11 = Velocidad de Desplazamiento [Km/hr]
X12 = Consumo de Combustible [lt/km]
X13 = Distancia a Recorrer [Km]
X14 = Kilometraje Inicial [Km]
X15 = Kilometraje Corriente [Km]

La diferencia entre X6, X7 y X8 determinan la disponibilidad de Tiempo, mientras que la diferencia entre X10 y X9 determina la disponibilidad de Energía. Las Variables X11 y X12 son las tasas de decaimiento de los recursos en cuestión y X13 es la magnitud de la tarea expresada en la longitud de la ruta a recorrer. La diferencia entre X15 y X14 indica la tarea remanente.

Con ésta información el autómata puede determinar si la restricción es de Tiempo o de Energía y con ello ordenar las acciones a seguir según el criterio de Margen o de Eficiencia. Por ejemplo: si la Hora Inicial es 6 hr. y la Hora Corriente es 10 hr. mientras que el Plazo de Tarea es 5 hr, se tendrá una disponibilidad de Tiempo de 1 hr; insuficiente si se tiene que recorrer 40 Km de distancia a una Velocidad de Desplazamiento de 20 Km/hr.

Dadas las particularidades del robot terreno que recogería principalmente información para obras de infraestructuras; por el Principio de Austeridad [11], se asumirá que las acciones alternativas frente a restricciones de los insumos de Tiempo y Energía son:

- A0: Recorrer la ruta recogiendo información según la precisión y exactitud inicial.
- A1: Recorrer la ruta recogiendo información con precisión y exactitud inferior a la inicial.
- A2: Abandonar la ruta y desplazarse lo más cercano a un sitio accesible.
- A3: Apagarse previa señal de auxilio.

La alternativa “cero” denominada como A0 implica que pese a notar algún déficit de insumos, tal ausencia no obliga a una modificación de la programación de levantamiento. La segunda alternativa obliga a relajar las exigencias del levantamiento a través de algún sacrificio en la densidad de muestreo o en la cobertura de cierta variable, que en términos vulgares puede graficarse como “trabajar a medias”. La tercera alternativa obliga a abandonar completamente el levantamiento y desplazarse al sitio de apoyo humano más cercano. La cuarta alternativa solo permite ponerse en Off.

Para poder ordenar tales alternativas, ya sea por Margen o por Eficiencia; el autómata debe poder comparar la energía consumida y la ingresada en cada una de ellas. Considerando que el autómata pertenece a un sistema productivo mayor, la expresión más recomendable de la energía en términos sistémicos es a través de unidades monetarias. Así como el gorrión del episodio anteriormente descrito conocía los ingresos y egresos energéticos para ordenar la ingesta de los diferentes miembros de un saltamontes; el autómata debe conocer los ingresos y egresos (expresados en términos monetarios) para ordenar las diferentes acciones según el criterio ya elegido. Por ello, el autómata debe conocer las siguientes variables:

X16= Ingreso por kilómetro a levantar según programa inicial
X17= Egreso por kilómetro a levantar según programa inicial
X18= Ingreso por kilómetro a levantar con relajamiento de precisión y exactitud
X19= Egreso por kilómetro a levantar con relajamiento de precisión y exactitud
X20= Ingreso por kilómetro a avanzar hacia el sitio accesible en busca de ayuda
X21= Egreso por kilómetro a avanzar hacia el sitio accesible en busca de ayuda
X22= Ingreso por kilómetro a avanzar por el equipo de ayuda
X23= Egreso por kilómetro a avanzar por el equipo de ayuda
X24= Distancia al sitio accesible

El primer cuestionamiento que debe hacerse el autómata es si se enfrenta a

alguna restricción de insumos: Tiempo y Energía.

Para el Tiempo, él lee su reloj y se informa de la Hora Corriente (X7) y recoge de la Memoria la Hora Inicial (X6), el Plazo de Tarea (X8) con su Velocidad de Desplazamiento (X11). Además computa la distancia que le falta por recorrer leyendo la Odometría actual y la ruta a seguir. En caso de tener limitaciones temporales, calcula el Margen para cada una de las cuatro alternativas de restricción (A0, A1, A2 y A3).

Si no tiene restricciones de Tiempo, realiza un cuestionamiento respecto a la Energía. Para ello registra el contenido de su estanque para determinar el Volumen Corriente de Combustible (X9) y de su Memoria obtiene el Volumen Inicial de Combustible (X10) y el Consumo de Combustible (X12). Además computa la distancia que le falta por recorrer leyendo la Odometría actual y la ruta a seguir. Si existe restricción energética, calcula la Eficiencia para cada una de las cuatro alternativas de restricción (A0, A1, A2 y A3). Si no tiene restricción, continua su avance preguntándose respecto al recorrido completo.

Con todo lo anterior, según el criterio seleccionado se puede calcular el Margen o la Eficiencia que entrega cada alternativa tal como se muestra en la Tabla 1.

Para leer dicha tabla primero se debe identificar si la restricción es de Tiempo o de Energía y así ingresar por la columna de Margen o por la de Eficiencia. Luego se debe calcular el valor de todas las celdas de la columna en cuestión y seleccionar aquella cuantía que sea mayor, escogiendo la Alternativa de la fila a la cual esta pertenece.

Tabla 1: Cálculo del Margen y de la Eficiencia para cada Alternativa.

Alternativa	Restricción de Tiempo: Margen (Ingresos – Costos)	Restricción de Energía: Eficiencia (Ingresos/ Egresos)
A0: Recorrer la ruta recogiendo información según la precisión y exactitud inicial.	$(X13-X15-X14) * (X16-X17)$	$(X16 / X17)$
A1: Recorrer la ruta recogiendo información con precisión y exactitud inferior a la inicial (50%)	$(X13-X15-X14) * ((X16/2)-X17)$	$((X16/2)-X17)$
A2: Abandonar la ruta y desplazarse lo más cercano a un sitio accesible.	$X24* (X20 - X21)$	$X20/X21$
A3: Apagarse.	$X24* (X23-X22)$	$X23/X22$

Para desierto interior y Campos de Hielo Sur, el desafío fue recorrer 35 rutas. En ambos casos venció el autómata biónico, pero los dos artefactos quedaron bastante alejados del óptimo debido a la rigurosidad de ésta segunda Zona Extrema. Para las cumbres andinas atacameñas caracterizadas por su gran altitud y pendiente, el desafío fue recorrer 50 rutas, venciendo nuevamente el autómata concebido evolutivamente. Finalmente, en estepa patagónica donde la rigurosidad es relativamente leve, el biónico logró la totalidad de rutas que fueron 10, mientras que su contendor sólo fracasó en 2 de ellas.

Estos resultados se resumen gráficamente en la Figura 1 de donde se desprende que el autómata tradicional rinde un 20% menos que el biónico. Es decir, aquel concebido evolutivamente completó 108 rutas mientras que el mecatrónico clásico hizo lo propio en 89 rutas.

4.5.- La Performance

Puesto que el presente trabajo constituye una propuesta teórica para dotar a autómatas de cualidades animales que mejoren su rendimiento (generalmente apelados con los adjetivos bio-inspirados o biónicos) destinados a operar en ambientes hostiles; interesa determinar la performance de éstos respecto a los autómatas tradicionales. Es decir, resulta imprescindible una competencia entre estos dos tipos de artefactos.

Sin embargo, debido a que no existe disponibilidad de autómatas en diferentes escenarios para comparar los rendimientos alcanzados con los conceptos económico-evolutivos versus los rendimientos logrados por autómatas tradicionales, la comparación se simuló computacionalmente en cuatro Zonas Extremas chilenas cuyo Índice de Extremadura fuese mayor que 0,6. Por simplicidad dicha competencia consistió en recorrer ciertas rutas realizando las tareas primarias en cualquier Zona Extrema que se pretende conquistar: recoger información de terreno.

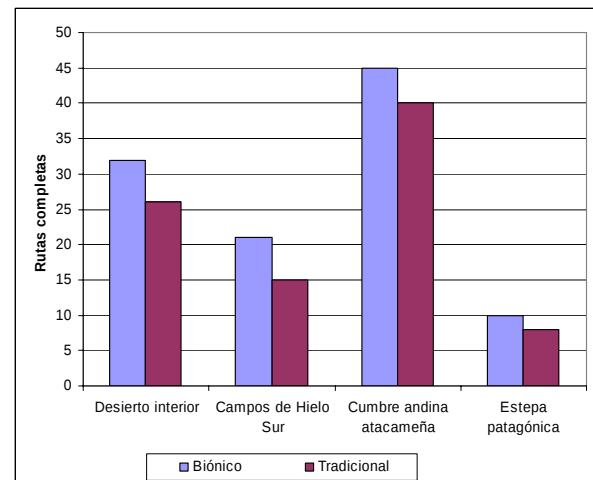


Figura 1: Resultados de la competencia entre el autómata biónico concebido evolutivamente versus uno tradicional

5.- Conclusiones

Las Zonas Extremas pueden catalogarse bajo una óptica cibernética como espacios a la deriva, de débil control tanto por los organismos estatales como por privados. En efecto, un aumento del control sobre ellas permitiría conducir la trayectoria de dichas partes del territorio a estados más

deseados, tales como una mayor participación al PIB por ejemplo.

La causa de esa deriva geográfica está en la ausencia de apropiados sistemas de control. Puesto que un apropiado sistema de control para espacios desconocidos demanda en primera instancia del conocimiento de la parte del territorio que se quiere controlar, la génesis del problema es la poca destinación de agentes que recojan información del terreno. De hecho a modo de ejemplo, nadie en Chile conoce con aceptable precisión el espesor de Campos de Hielo Sur.

En este contexto y considerando la rigurosidad ambiental de las Zonas Extremas, la alternativa de destinar en ellas a autómatas para misiones de levantamiento de información en reemplazo de seres humanos, es una elección interesante. Sin embargo, los autómatas actualmente concebidos carecen de un sistema de toma de decisiones ante restricciones de Tiempo y Energía tal como las toman los animales vertebrados.

En tal sentido, el presente trabajo ha propuesto un sistema conductual que emulado computacionalmente, muestra un rendimiento superior respecto de aquel que no considera decisiones ante apremios de Tiempo y Energía tal como lo hacen los animales. Puesto que las pruebas se realizaron para cuatro escenarios diferentes que en conjunto cubren más del 10% de Chile Continental Sudamericano y cualitativamente comprenden la casi totalidad tipológica de Zonas Extremas del país, estos ensayos pueden considerarse para corroborar la hipótesis de que un autómata con manejo de restricciones de Tiempo y Energía es más productivo.

En síntesis, el presente trabajo ha explotado el mercado de las ideas enriqueciendo el quehacer de la Automática a través de la Economía Evolutiva, la cual a su vez enriquece la Economía con conceptos provenientes

desde la Evolución como fenómeno biológico.

Referencias

- [1] Aldunate, Hidalgo, Schiappacasse, Niemeyer, Aldunate, Solimano y otros. "Culturas de Chile. Prehistoria, desde sus orígenes hasta los albores de la conquista". Editorial Andrés Bello, 1987.
- [2] L. Febvre. "Civilisation. Évolution d'un mot et d'un groupe d'idées". Renaissance du livre, 1930.
- [3] B. Günter y G. Díaz. "Mecanismos de Regulación". Universidad de Chile, 1980.
- [4] L. Cañete y F. Córdova. "Ecología cognitiva en robots terrenos". Revista Facultad de Ingeniería – Universidad de Tarapacá, vol.11, No.2, p.03-09, 2003.
- [5] F. Córdova y L. Cañete "The challenge of designing nervous and endocrine systems in robots". IJCCC, vol. 1, No. 2, p.33-40, 2006.
- [6] G. Massé y E. Thibaut. "Intelligence economique". De Boeck, 2002.
- [7] J. Laurent. "Evolutionary economics and human nature". Edward Elgar Publishing Ltd. (2003).
- [8] J. Cartwright. "Evolutionary explanations of human behaviour". Routledge Series, 2002.
- [9] R. Dukas. "Cognitive ecology". The University of Chicago Press, 1998.
- [10] R. Hall y M. Lieberman. "Economics: principles and applications". Thomson, 2007.
- [11] F. Heyleghe. "Principles of system and cybernetics: an evolutionary perspective". World Science, 1992.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos al Grupo de Posibilismo de la USACH por la inspiración y por facilitar los datos primarios para la presente investigación.

Autor principal



Andrés F. Soto Pereira

recibió el título de Ingeniero en Electrónica (2004) en la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile y su Postítulo en Telecomunicaciones y Redes (2006) en la Universidad de Santiago de Chile. Actualmente cursa el programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Automática en la misma universidad. Sus líneas de investigación incluyen: Comunicaciones Industriales, Control de Procesos Industriales & Instrumentación, Transporte Ferroviario, Minería y Aplicaciones.

Paper Info

Fecha de recepción: abril 2012.

Fecha de aceptación: mayo 2012.

Revisores: 3.

Cantidad de revisiones consolidadas: 2.

Total de observaciones: 27.

Índice de Novedad: 0,75.

Índice de Utilidad: 0,86.