

ECOLOGÍA COGNITIVA EN ROBOTS TERRENOS

Lucio Cañete A.¹ Felisa Córdova G.²

Recibido el 11 de diciembre de 2003, aceptada el 30 de diciembre de 2003

RESUMEN

Con el propósito de incrementar la productividad de algunas actividades humanas en el desierto de Atacama, se plantea la participación de robots terrenos en dicho territorio. Sobre la hipótesis de que es factible concebir robots que manejen información del entorno tal como lo hacen los seres vivos y que tal manejo provoca un aumento del rendimiento del autómata; se establece como objetivo general la emulación a nivel conceptual fenómenos ecológicos cognitivos en un robot terreno. Luego de examinar varios fenómenos estudiados por la Biología, particularmente por su novel rama de la Ecología Cognitiva, se selecciona a) la cuantificación de la dificultad de tareas en función de las condiciones del entorno, reportando el decaimiento de su nivel de vigilancia tal como ocurre en animales localizados en cadenas tróficas intermedias y b) la identificación de zonas de peligro según el aprendizaje de animales solitarios. Puesto que la Biología y la Robótica tienen en común a entes que en todo o en parte funcionan por sí solos, es de esperar que esta última disciplina sea impactada favorablemente por la primera.

Palabras claves: Ecología cognitiva, desierto, robot.

ABSTRACT

With the aim to increase the productivity of some human activities in the Atacama desert, this paper proposes the participation of terrain robots in this territory. Over the hypothesis of the feasibility about conception of robots which manage information like live being and such management increases the performance of the automaton; the general objective is the emulation in a conceptual level of ecological phenomena in a cognitive system of a terrain robot. After analysing several phenomena studied by Biology and its new branch called Cognitive Ecology, two of them are selected: a) quantification of work difficulty in function of environmental conditions, reporting decreasing of its vigilance level, such as occurs in animals of intermediate tropical chains and, b) the identification of danger zones according to the learning of solitaire animals. Considering that Biology and Robotics have in common being function themselves in a total or partial aspects, the hope is that this discipline will be well impacted by the first one.

Keywords: Cognitive Ecology, desert, robots.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento y posterior dominio del territorio por parte del Hombre, se ha visto desde tiempos inmemoriales acotado por las restricciones que determinados espacios de dicho territorio imponen a las capacidades físicas humanas [2]. Geográficamente, dichos espacios de condiciones hostiles son conocidos bajo la denominación de "Zonas Extremas" y, tal como su nombre lo indica, en ellos ciertas variables naturales registran comportamientos extremos que entorpecen los procesos fisiológicos de los seres humanos.

De las Zonas Extremas, la más extensa de todas las del territorio chileno sudamericano es el desierto de Atacama con el 24% de su superficie continental, siendo apenas ocupada por el 5% de la población nacional. Pese a ello, la explotación de recursos minerales es su principal aporte al Producto Interno Bruto, existiendo antecedentes de importantes acervos metálicos y no metálicos no explorados. Debido a tales particularidades, resulta interesante reducir el carácter de Zona Extrema que el desierto de Atacama posee. En efecto, la ausencia de agua, la oscilación térmica y la intensa radiación solar son algunas de las condiciones

¹ Universidad de Santiago de Chile, Laboratorio de Concepción e Innovación de Productos LACIP. fcordova@lauca.usach.cl

² Universidad de Santiago de Chile, Laboratorio de Concepción e Innovación de Productos LACIP. fcordova@lauca.usach.cl

naturales presentes en desiertos que crean lugares hostiles para el Hombre.

Considerando las condiciones meteorológicas y tectónicas de los desiertos recién mencionadas, se plantea como alternativa de exploración y/o explotación de ellos en reemplazo de seres humanos, a robots acoplables estructural y funcionalmente a los citados escenarios adversos. Para alcanzar tal propósito, se podría concebir un diseño de robot con paradigmas clásicos que incorpore fundamentalmente conceptos de la Mecatrónica a través de la Mecánica y la Electrónica [4].

Ciertamente la Mecatrónica es la disciplina hegemónica en el diseño de robots, no existiendo mayores cuestionamientos en nuestro país respecto al aporte de ramas de otras ciencias como la Biología.

La Biología por su parte, durante las tres últimas décadas ha incrementado su desarrollo como ciencia, pronosticándose al Siglo XXI como “la Era de la Biología” [5]. Aunque tal afirmación puede ser debatible si se compara con los avances en la computación, electrónica y química; constituyen hechos notables de la biología sus avances en microbiología y genética.

Sin embargo, otra importante rama de la Biología ha acelerado su desarrollo reciente: la Ecología. Definida como la disciplina que se ocupa de estudiar la relación entre los seres vivos y su entorno, la Ecología ha especificado sus esfuerzos en el estudio de varios fenómenos que resultan interesantes para la Robótica. Uno de estos fenómenos es aquel que se refiere a cómo los seres vivos manejan información desde el entorno con el propósito de asegurar su viabilidad en su ambiente. Esta subdisciplina ha sido denominada como “Ecología Cognitiva” [3].

Atendiendo a tal definición y a los resultados de las investigaciones de la Ecología Cognitiva en temas de memoria espacial, navegación, depredación, apareo y escape; resulta provechoso determinar cuáles fenómenos observados en el reino animal pueden ser asimilados en robots terrenos; en particular aquellos vinculados a la toma de decisiones por parte de animales en ambientes hostiles [1]. En este contexto, como una de las primeras actividades, resulta imprescindible diseñar en el nivel conceptual, un sistema cognitivo emulando fenómenos ecológicos en robots terrenos.

MÉTODO

El objetivo general del presente trabajo es la identificación y emulación de fenómenos de la Ecología Cognitiva en el diseño conceptual de un robot terreno para el desierto de Atacama. Para ello se realizarán emulaciones, es decir, imitaciones de las mejores cualidades desde un escenario de origen a un escenario de destino.

El escenario de origen estará formado por animales y otros seres vivos que viablemente interactúan con sus ecosistemas. Tal interacción se manifiesta a través de flujos de masa, energía e información. De tales flujos, se examinarán particularmente aquellos referidos al manejo de información, los que son estudiados por la rama de la Ecología Cognitiva.

El escenario de destino corresponde a la Robótica, donde se observan a los robots interactuando con el desierto de Atacama con el propósito de alcanzar cierta viabilidad.

Para realizar las emulaciones, tal como se representa en la Fig. 1, se debe realizar una transformación T desde el escenario de origen al escenario de destino. Tal transformación se expresará como una analogía.

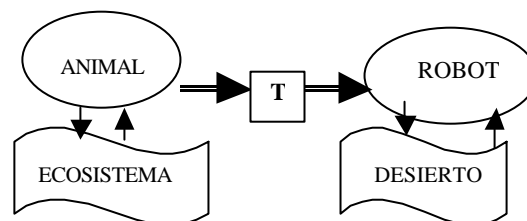


Fig. 1.- Escenarios análogos

El acoplamiento de la izquierda representa a un animal en su ecosistema adverso, el cual puede tener tal estado debido al comportamiento hostil de variables naturales tales como las meteorológicas (temperatura, radiación solar), tectónicas (suelo, pendiente) y bióticas (depredadores, epidemias). El acoplamiento de la derecha representa a un robot en un desierto, el cual también es un entorno adverso para el autómata debido al comportamiento de variables ambientales.

A dichos fenómenos que pueden ser emulados se les ha denominado “ofertas”, por cuanto se trata de una transformación en el Mercado de las Ideas, teniendo la búsqueda las características que a continuación se

detallan.- Objeto de búsqueda: cualidades que permitan resolver parcial o completamente el problema de sollicitación física y el problema de apoyo logístico (integrados en la función de autonomía) que presentan los robots terrenos.

- Dominio de búsqueda: Ecología Cognitiva y otras ciencias que directa o indirectamente presenten fenómenos ecológico-cognitivos.
- Tipo de búsqueda: exhaustiva (ningún fenómeno relevante debe quedar sin considerar) y exclusiva (un fenómeno relevante no debe ser considerado más de una vez).

Una vez identificadas las ofertas, se realizarán las emulaciones respectivas; es decir, una emulación para cada oferta de la Ecología Cognitiva.

OFERTAS Y RESULTADOS

Primera Oferta: Vigilancia Sostenida en Niveles Tróficos Intermedios

Para asegurar su viabilidad, los animales localizados en cadenas tróficas intermedias, es decir aquellos que son depredadores y a la vez presas; deben mantener un continuo estado de alerta o atención al entorno. Sin embargo, dicho estado consume masa y energía, siendo imposible mantenerlo en un nivel constante en el tiempo. Al respecto, se han concebido modelos que explican la variación del nivel de vigilancia en las dos actividades vitales de los animales: laborío y descanso [1].

En un modelo de alternancia entre laborío y descanso [3], el nivel de vigilancia a través del tiempo $V(t)$ declina y aumenta conforme el animal labora y descansa respectivamente; es decir, para cada uno de los dos estados se tiene la siguiente relación:

$$dV/dt \begin{cases} = -\alpha * V & \text{mientras labora} \\ = \beta(1-V) & \text{mientras descansa} \end{cases}$$

α : tasa de pérdida de la vigilancia (siempre positiva), la cual depende de la dificultad de las labores.

Se puede observar que, mientras mayor sea la tasa de pérdida de vigilancia α , más rápido decaerá la prestancia del animal ante el entorno. De igual forma, mientras mayor sea la tasa de recuperación.

β , Tasa de recuperación de la atención.

Respecto a la analogía, tal como se muestra en la Tabla 1, los robots al igual que los organismos vivos no pueden mantener un nivel constante de vigilancia respecto a todas las variables ambientales. Aún cuando poseen mecanismos de relevo de varios dispositivos; siempre requieren que ciertos componentes “descansen”. Al respecto se identifican períodos de baja productividad los cuales se pueden hacer coincidir con lapsos de tiempo de reemplazo de partes y piezas, calibraciones y mantención en general.

Tabla 1.- Analogías en Vigilancia Sostenida

Fenómeno Observado	Animales intertróficos	Robots
Laboratorio	Caza, huída, apareo	Trabajo
Descanso	Siesta	Mantención

Segunda Oferta: Aprendizaje del Peligro

El aprendizaje, definido como los cambios en la memoria que permiten a un sujeto alterar sus respuestas a cierto estímulo, tiene un papel importante en la reducción del riesgo al que se exponen los animales.

Tal aprendizaje en vertebrados inferiores puede efectuarse a través de la experiencia propia, donde el sujeto ha vivido situaciones dañinas a través de la observación, donde las situaciones dañinas las ha notado en sus pares. Una rata puede identificar a un plaguicida por su olor después de haber experimentado los malestares de la ingestión de un queso envenenado y/o al observar que su cría murió a causa de tal tóxico. En ambos casos de aprendizaje se requiere de la supervivencia del sujeto y de la modificación de la memoria a través del par situación-daño.

Puesto que el robot operará la mayor parte del tiempo como autómatas solitario, la analogía resulta pertinente debido al aprendizaje experimental. Para ello es necesario que el robot registre todos los daños y caracterice la situación del entorno, a fin de lograr una relación causa-efecto. Por ejemplo, se puede tener como daño a un atascamiento (percibido como el nulo desplazamiento espacial indicado por el GPS aún cuando los odómetros indican rotación de ruedas) y como situación, una duna de arena fina seca de baja

cohesión. Así en una futura ocasión “pensará dos veces” si pretende cruzar por una duna de similares característica.

Tabla 2.- Analogías en Aprendizaje del Peligro

Fenómeno Observado	Animales entrenados	Robots
Identificación del peligro	Registro en memoria de daños anatómicos y fisiológicos frente a situaciones del entorno	Registro en memoria de daños estructurales y funcionales frente a situaciones del entorno
Evasión del peligro	Optar por comportamiento alternativo	Optar por ruta alternativa

Emulación para la Vigilancia Sostenida

En párrafos precedentes se estableció que el fenómeno de vigilancia tenía dos etapas: laborío y descanso, cuya variación en función del tiempo para un animal localizado en un nivel intermedio de cadena trófica era $dV/dt = -\alpha * V$ y $dV/dt = \beta * (1-V)$, respectivamente.

Lo que interesa es que el robot mantenga su nivel de vigilancia por sobre una cota V_0 . Es decir, en términos abstractos se pretende que durante su operación en terreno no se “agote” más de cierto margen, donde dicho margen es dado por el nivel de vigilancia óptimo $V=1$ y la cota inferior V_0 .

De acuerdo al principio de Entropía, el robot en su operar tiende al caos, expresándose en una pérdida de la prestancia o atención al entorno. Por ello se supone a V_0 como el nivel de vigilancia mínimo aceptable, bajo el cual se asume que el levantamiento pierde bondad.

La tasa de pérdida de vigilancia α que representa la dificultad de tarea, puede ser calculada por el robot para un intervalo espacio-temporal breve en función del comportamiento de los factores ambientales que pueden afectar los dispositivos electromagnéticos, ópticos y mecánicos tales como pendiente del suelo, radiación solar, irregularidad geométrica del suelo y velocidad del viento entre otros.

La Pendiente del Suelo representa el esfuerzo motriz del autómatas en contra de la gravedad y se mide en porcentaje.

La Radiación Solar representa la abrasión electromagnética sobre dispositivos plásticos, midiéndose en watt por metro cuadrado.

La Irregularidad Geométrica del Suelo representa la sollicitación mecánica de génesis internas tales como vibraciones o golpes. Puesto que se pretende medir la condición del entorno, ésta puede cuantificarse adimensionalmente al medir en un tramo de perfil longitudinal la extensión recorrida efectivamente “r” y la extensión de una línea recta del mismo tramo “l” para luego hacer el cuociente entre $(r-l)/l$.

La Velocidad del Viento representa la abrasión de partículas finas sobre la carrocería y sobre los sensores electromagnéticos como también la deflección de algunos sensores, midiéndose en metros por segundo.

Matemáticamente esta información puede ser sintetizada con las siguientes variables:

$$\alpha = g \text{ (Pendiente de Suelo, Radiación Solar, Irregularidad del Suelo, Velocidad del Viento)}$$

Para lograr la función g se puede generar una Red Neuronal Artificial a través de consultas a los operadores humanos de máquinas terrestres en el desierto.

Finalmente, si el robot conoce el nivel de vigilancia inicial, la cota mínima V_0 que se le permite, la dificultad de tarea representada por α y el tiempo de recorrido a intervalos pequeños; él puede determinar el instante t_0 donde debe comenzar su período de recuperación. Tal situación se representa gráficamente en la Fig. 2.

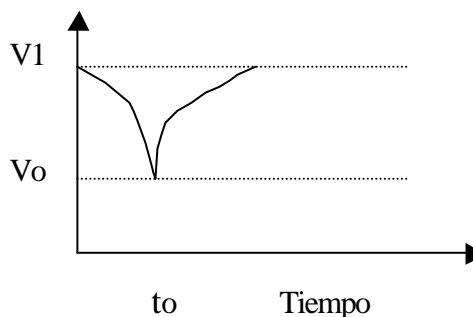


Fig. 2 Variación del nivel de vigilancia

El nivel decae entre el lapso de inicio de la labor y el término de ella desde V_1 a V_0 , considerándose este último como el nivel menor admisible. Por el contrario, el nivel se recupera mientras el robot descansa (mantenimiento, restauración, reparación y otras acciones antrópicas sinónimas). Conocer α y t_0 a través de un “Mecanismo de Vigilancia”, es en extremo útil no tan solo para el robot sino para todos los sistemas productivos a los cuales el robot pertenece, presentando la aplicabilidad descrita a continuación.

Es un indicador indirecto de la sollicitación física a la que fue sometido el robot por su entorno, en forma independiente a la información que aporte el Mecanismo de Cenestesia (sensación interna del nivel de satisfacción del organismo). Es decir, integrando ambos mecanismos se puede potenciar la capacidad de seguimiento y control del rendimiento del robot. Ciertamente los sensores de medición interna (propioceptores) pueden fallar y por lo tanto no reportar la exigencia del entorno y sus efectos de desgaste, fatiga y similares. En el Reino Animal tales fallas también ocurren y las criaturas no siempre se informan del daño interno y por ello no pueden reaccionar frente a él. Una observación y registro de las condiciones del entorno con sus efectos nocivos asociados cubre tal ausencia de información.

Emulación para el Aprendizaje del Peligro

El robot en su operar en el desierto de Atacama se encuentra expuesto a un conjunto de peligros de causa y efecto poco variados, pero importantes en cuanto a viabilidad. Dicho autómata no enfrenta riesgos debido a agresiones de fauna tales como camélidos salvajes (guanacos y vicuñas machos) por cuanto ellos habitan el Altiplano descartado como desierto, tampoco se expone a robos y acciones vandálicas pues deberá recorrer sitios inhóspitos de baja densidad poblacional. Crecidas de río y precipitaciones intensas que afecten su estructura son eventos en extremo poco probables en condiciones de aridez. Por lo tanto, sólo se expone a la geomorfología de desierto que implica dificultades de desplazamiento. De acuerdo a conversaciones con expertos de empresas que realizan recorridos a campo traviesa se aprecia que el mayor peligro a que se enfrenta un robot es el atascamiento o entrampado. Es decir, que no pueda continuar su tarea debido a la imposibilidad de salir por sí solo de una duna, quebrada, arenal, barranco u otro.

Se pretende entonces, que el robot sea capaz de detectar tal peligro de forma tal de ajustar su itinerario de desplazamiento. Esto se logra a través de un aprendizaje donde cada vez que el robot “cae” en una duna, quebrada u otro accidente geomorfológico, ha levantado las condiciones topográficas y geotécnicas del entorno, registrándolas en memoria. Así, él puede saber que su desplazamiento fue interrumpido al consultar su sensor de la situación externa (exteroceptor) de GPS informándose que no registra movimiento, mientras que la consulta a su propioceptor de odómetro indica movimiento.

Toda esta información puede almacenarse en memoria derivando un algoritmo que permita una pro acción del robot, si enfrenta un escenario tipo Z y si ya “sabe” que

tal escenario es adverso. Para tomar tal decisión, el autómata debe disponer de lo siguiente:

- Conocimiento de una “amenaza” dada por cierta configuración del entorno.
- Registro de éxitos y fracasos al cruzar por el entorno “amenaza”.
- Caracterización del entorno “amenaza”.

La experiencia indica que las arenas poco cohesivas y de baja adherencia son amenazas inequívocas y esta configuración se logra cuando el arenal posee una escasa cobertura de vegetación sub-arbustiva que sirva de agarre a las ruedas y cuando sus partículas se encuentran sueltas debido a la baja humedad de tal suelo.

La misma experiencia indica que existe una correlación entre la humedad del suelo y la temperatura ambiente. Es decir, si el aire está cálido, es probable que el suelo esté poco cohesivo. Por lo tanto, se deberá contar con un termómetro para medir temperatura y un sensor electromagnético de dorofila para medir la cobertura vegetal.

Además resulta recomendable que el robot mecánicamente examine el suelo a que se enfrenta, disponiendo para ello de un dispositivo que indique el hundimiento a que se expone su sistema motor. Para ello puede contar con una sonda maciza e inerte localizada adelante del cuerpo principal, la que contando con un medidor de distancia (distanciómetro) mida la penetración de ésta en las arenas.

Con todo lo anterior, las variables a considerar son las siguientes: Temperatura Ambiente, Penetración de la Sonda, Vegetación Subarbustiva, Odometría, Coordenadas Espaciales.

Considerando un algoritmo adaptativo, la Odometría y las Coordenadas Espaciales indican si el robot está atascado y Temperatura Ambiente, Penetración de la Sonda y Vegetación Subarbustiva indican las circunstancias externas causantes del atascamiento. El aprendizaje del atascamiento según los conceptos ecológicos cognitivos se refiere a la modificación de la memoria a través de un registro en ella que se denomina “Engrama” [4].

Tal Engrama es una pequeña “cicatriz” o marca en la memoria que merece ser representada en la emulación. Puesto que se trata de tres variables, dicho Engrama puede modelarse en forma tridimensional en ejes cartesianos, donde la nube de puntos indica el espacio geométrico para los valores de temperatura, penetración y vegetación adversos para el robot. Por simplicidad y a

modo de ejemplo, en la Fig. 3 se muestra un modelo gráfico de dos dimensiones. En la medida que el robot se atasque, la nube de puntos se densificará y bastará que un nuevo punto pertenezca a la nube de puntos o se acerque a su centro de gravedad para indicar al robot que tan peligroso es dicho entorno.

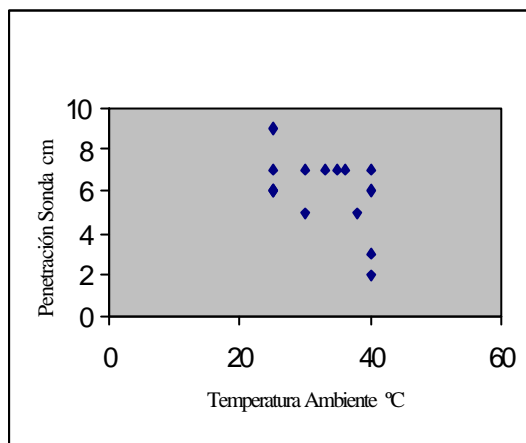


Fig. 3.- Ejemplo de Engrama

La Fig. 3 muestra 13 registros de atascamientos de un vehículo ligero en arenas de desierto de Atacama explicados con dos variables. Cada punto en el gráfico representa la situación de dos variables ambientales que existieron cuando se produjo cada atascamiento. Por lo tanto, existe un modelo mental del entorno para la situación de peligro a través de una gráfica bidimensional. Dichos atascamientos se presentan sobre los 23 °C y cuando la penetración de la Sonda es mayor a los 2 cm.

En el mismo ejemplo, si el robot es capaz de medir la Penetración de la Sonda y la Temperatura Ambiente que habrá unos metros más adelante en su ruta, podrá determinar que tan peligroso es para él de acuerdo a cuán cerca esté el punto graficado del centro de gravedad del Engrama.

CONCLUSIONES

Las cualidades que se identificaron para ser emuladas conceptualmente son aquellas relacionadas con el manejo de información que hacen los animales de su entorno para producir resultados exitosos en su adaptación y supervivencia.

Puesto que los animales al tener el inexorable rasgo de heterotrofia se ven obligados a procesar información del entorno y a adaptarse a él de modos más diversos que las plantas, fue el Reino Animal el primer foco de búsqueda de fenómenos ecológicos-cognitivos para la

emulación. Dentro de los animales resultó más variada la oferta fenomenológica en metazoos superiores por cuanto sus sistemas nerviosos son más estructurados y por ende de mayor analogía en artefactos robotizados.

Las emulaciones en cuestión incorporaron dos fenómenos ecológicos cognitivos:

- Un sistema externo de medición de agotamiento, para lograr cierto nivel de vigilancia o atención sostenida en el tiempo.
- Un sistema de aprendizaje del peligro a través de la modificación adaptativa de la memoria.

La novedad y utilidad en términos prácticos se manifiesta en un robot que conoce y reporta cuan exigido fue por el ambiente y además aprende de experiencias adversas, de tal forma de no repetir acciones que provocaron resultados negativos en su operar.

El diseño del sistema cognitivo de robot terreno puede continuar desarrollándose conforme se incorporen más analogías del manejo de información desde el Reino Animal. La incorporación de nuevas analogías puede comenzar con los siguientes procesos de ingeniería:

- Incrementando la variedad relevante en los dos fenómenos directamente emulados.
- Emulando otros fenómenos tales como Nocicepción y Quimiosensibilidad.

Sin embargo, un diseño altamente avanzado e inevitablemente complejo requerirá de una Integración Orgánica que vincule armónicamente todas las funciones emuladas y las funciones mecatrónicas clásicas, cualesquiera que ellas sean.

Dicha Integración Orgánica requerirá del intercambio de ideas; y puesto que la Biología como ciencia está más avanzada que la Robótica con más de dos siglos de adelanto, tal intercambio seguirá siendo preferentemente unidireccional; es decir, desde la citada ciencia natural hacia la ciencia de los autómatas.

Así, en un futuro cercano, el diseño de robots puede incorporar fenómenos ecológico-cognitivos tales como el dolor generado por causas ambientales, la imaginación para desplegar alternativas de decisión frente a alguna exigencia del entorno y tantos otros que incrementen el rendimiento de artefactos automáticos.

La presente investigación expone una nueva forma de concebir robots que se diferencia de la tradicional en la búsqueda explícita y premeditada de analogías en “otra” área del conocimiento humano. Así como la Ecología

Cognitiva ofreció fenómenos emulables, también lo pueden hacer otras ramas de la Biología tales como la Genética y la Evolución.

REFERENCIAS

- [1] L. Cañete, “Ecología Cognitiva en robots terrenos para el desierto de Atacama”, Tesis doctoral USACH, 2002.
- [2] A. Dorpalen, “Geopolítica en acción”, Pleamar, 1982.
- [3] R. Dukas, “Constraints on Information Processing and their Effects on Behaviour”, The University of Chicago Press, 1998.
- [4] C. Foulard, “Automatique pour les classes préparatoires”, Hermes, 1997.
- [5] Y. Ovchinnikov “Basic Tendencies in Physico-Chemical Biology”, MIR Publisher, 1997.
- [6] I. Sherman y V. Sherman, “Biología: una perspectiva humana”, Mc Graw-Hill, 1982.