

LA ROBÓTICA EDUCATIVA COMO UNA INNOVATIVA INTERFAZ EDUCATIVA ENTRE EL ALUMNO Y UNA SITUACIÓN-PROBLEMA

LA ROBÓTICA EDUCATIVA COMO UNA INNOVATIVA INTERFAZ EDUCATIVA ALUMNO-PROBLEMA

AUTORES: Mariela Chavarría¹

Antonio Saldaño²

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: Laboratorio de Educación y Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación, LENTIC. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Departamento de Física. Casilla 147. Santiago. Chile. E-mail: ariachavarría@latinmail.com

RESUMEN

La Robótica Educativa ha sido concebida, sistematizada curricularmente y modelada como un sistema educativo. En ella los estudiantes, elaborando robots con materiales de desecho como solución a una situación-problema contextualizada, integran entre sí los contenidos de distintas disciplinas del conocimiento con los aportes de tecnologías de automatización, como el computador y una interfaz tipo hombre-máquina. La Robótica Educativa ha sido la base de varios proyectos del Ministerio de Educación, mejorando los resultados de aprendizaje de los estudiantes de las Escuelas básicas en las que se ha aplicado.

INTRODUCCIÓN

La Robótica Educativa ha sido concebida (Saldaño, 1989), sistematizada curricularmente (Vega, 1991) y modelada (Rojas y Saldaño, 1993) como un sistema educativo. En ella los estudiantes, elaborando robots con materiales de desecho como solución a una situación-problema contextualizada, integran entre sí los contenidos de distintas disciplinas del conocimiento con los aportes de tecnologías de automatización, como el computador y una interfaz tipo hombre-máquina.

En base a los conceptos de modelación, identificación de sistemas y estimación de parámetros, utilizados en el control automático y en la automatización, se establecen las conceptualizaciones análogas en el quehacer educativo, al parafrasear los resultados obtenidos en los desarrollos e investigaciones realizadas en la Robótica Educativa y que son reconocidos a nivel nacional e

¹ Docente-investigadora del Laboratorio de Educación y Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Santiago. Chile.

² Doctor en Educación. Fundador de la Robótica Educativa. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Santiago. Chile.

internacional.

Por último, la Robótica Educativa es considerada como una interfaz que activa el proceso de intelección entre el alumno y la conceptualización de la tecnología para resolver una situación-problema, a través de un proceso, que es tanto educativo como tecnológico, y que le permite el acceso y la familiarización de los principios, del funcionamiento y de la aplicación de la tecnología en la elaboración y automatización del robot-solución.

DESARROLLO

1. Antecedentes

Modelación, Identificación de sistemas, Estimación de parámetros e Interfaz hombre-máquina, son algunas de las líneas temáticas de la Automatización. Si consideramos al alumno como una máquina biológica, pero máquina al fin, encontramos en Educación los análogos de las líneas temáticas mencionadas. En este aspecto, ya se han establecido y desarrollado algunas temáticas como la Robótica Educativa.

La Robótica Educativa es creada en 1989 (Saldaño), esquematizada en 1991 (Vega), modelada en 1993 (Rojas y Saldaño) y desarrollada y aplicada en los años siguientes.

Los resultados de los trabajos de investigación y desarrollo han sido presentados en distintos escenarios como Israel (1993 ,1995), Brasil (1993), Portugal (1994), Francia (1995, 1999), Cuba (1996), Colombia (1996), Canadá (1997, 2000), Argentina (2000) y Chile (1991, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999). En Chile, su aplicación más formal ha sido en la Escuela E-480, Su Santidad Juan XXIII. Comuna de San Joaquín. Sus resultados han sido evaluados a nivel nacional e internacional.

Ello no significa que el alumno es automatizado en su aprender, sino es en el proceso de elaboración de objetos automatizados en el que alumno construye estrategias “automatizadas” de aprendizaje. Esto es, que las puede reiterar en distintas actividades y en distintos momentos de su quehacer escolar y de su interacción con la sociedad.

La interacción del hombre con la tecnología, creada para resolver una situación-problema, es necesaria llevarla a cabo a través de una interfaz (intérprete), que facilita el diálogo del tipo hombre-máquina. Así mismo la formación del alumno se pueda llevar a cabo por medio de una estrategia interactiva que relacione al alumno en el hacer y el aprender con los conceptos, conocimientos, métodos, y técnicas para resolver una situación problemática (desafío). Esta es justo la descripción de la Robótica Educativa. Por lo cual, entonces, se la puede considerar como una “Interfaz Alumno-Situación problema en el hacer”.

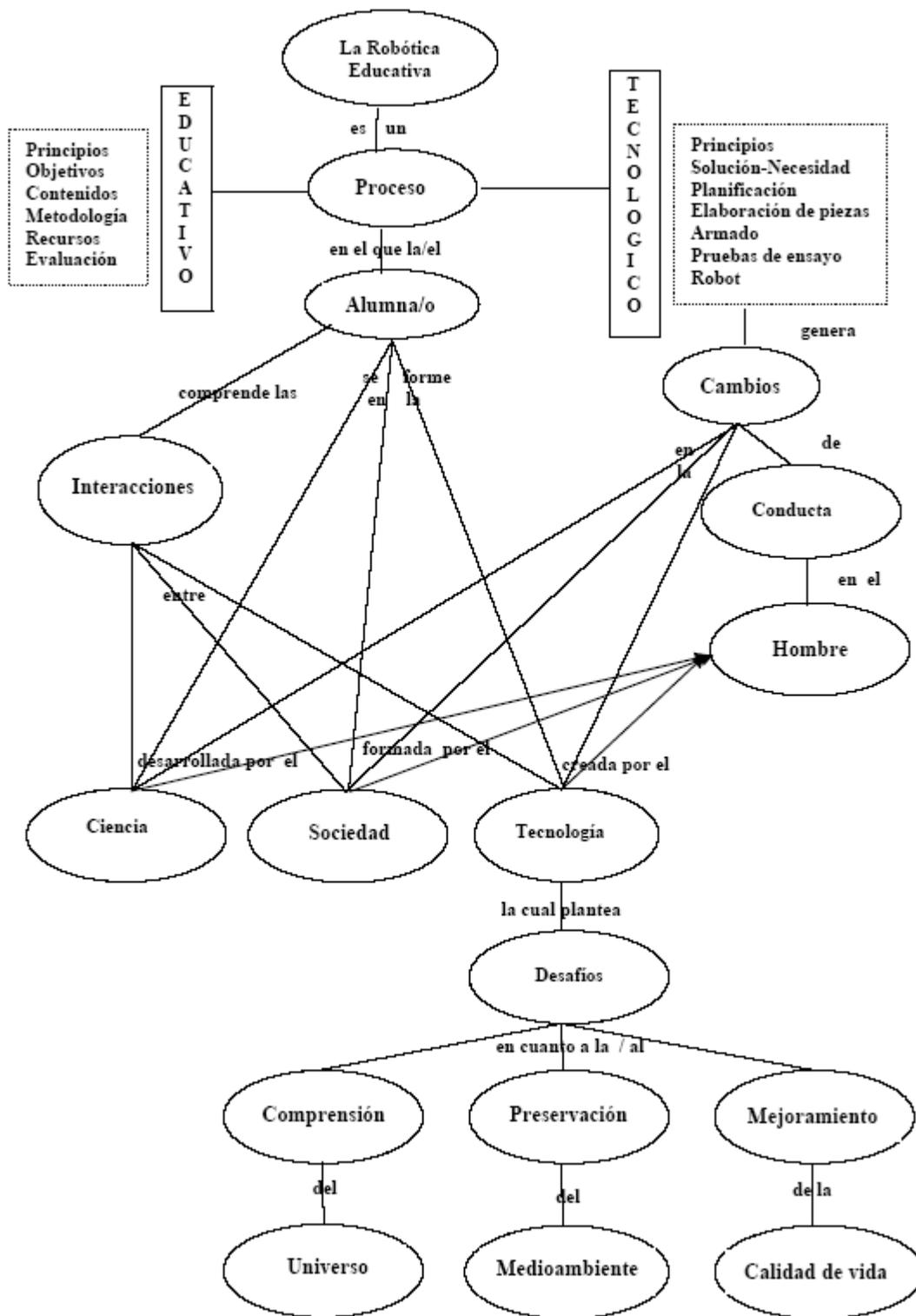


Figura 1. La robótica educativa como proceso educativo y tecnológico.

2. *Conceptualización*

La Robótica Educativa la podemos considerar, bajo el enfoque de la “Ciencia, Tecnología y Sociedad”, CTS, como una integración de lo que es la tecnología y el currículum educativo. El desarrollo del mapa conceptual adjunto, La robótica Educativa como Proceso educativo y tecnológico, está planteando que al mismo tiempo que es un proceso educativo (principios, objetivos, contenidos, metodología, recursos y evaluación), es también un proceso tecnológico (principios, solución-necesidad, planificación, elaboración de piezas, armado y pruebas de ensayo). Una vez que se obtiene el robot-solución (educativa y tecnológica), éste va a generar cambios tanto en la Ciencia, Sociedad y Tecnología, así como en la conducta del hombre, en cuanto a la percepción y a la conceptualización del significado de los conceptos que describen la realidad bajo este enfoque.

Es claro que los cambios en la conducta del hombre repercutirán tanto en la Ciencia, que él ha desarrollado, como en la Sociedad de la cual forma parte y de la Tecnología, creada por él. Ahora, la Robótica Educativa es un tipo de proceso educativo en el que el alumno se forma en la Ciencia y la Tecnología, esto es, en sus principios, en su conceptualización, en sus aplicaciones y en la interacción con la Sociedad en cuanto a su organización, sus distintos niveles y realidades.

Si la Tecnología se considera como un “fenómeno cultural del hombre, el cual consiste en una actividad interdisciplinaria de generación y aplicación de conocimientos acerca de espacios, sistemas, estrategias, dispositivos y servicios para que transformen la naturaleza, salvaguardando el medio ambiente en procura del bienestar social y el progreso de la sociedad” (Calderón, Robles, Unda y Saldaño, 1998). Entonces, a la

Robótica Educativa se le plantearán diferentes desafíos en cuanto a la comprensión del Universo, a la preservación del medioambiente y al mejoramiento de la calidad de vida.

Por otro lado, la Robótica Educativa permite que el alumno comprenda las interacciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad en tanto que marcos referenciales y que con respecto a los cuales se desarrollará y participará como ciudadano, en la forja del futuro de la cultura a venir.

3. *Modelo de la Robótica Educativa.*

El modelo, que se adjunta, está basado en diagramas de actividades, denominados actigramas. Cada actograma es como una célula identificada por el nombre de la actividad.

El actograma que resume el modelo de desarrollo de manera global, se llama actograma-padre. En la Robótica Educativa, el actograma-padre se desarrolla a partir de las entradas (situación-problema, estudiante y contexto), de las variables de control (dominio de contenidos, horario de las sesiones y materiales disponibles) y de los componentes de soporte (profesor, alumno, sala y herramientas). Los resultados de aprendizaje se obtendrán por medio de una

investigación-acción, siendo ellos los que corresponderán al desarrollo personal y al robot-solución.

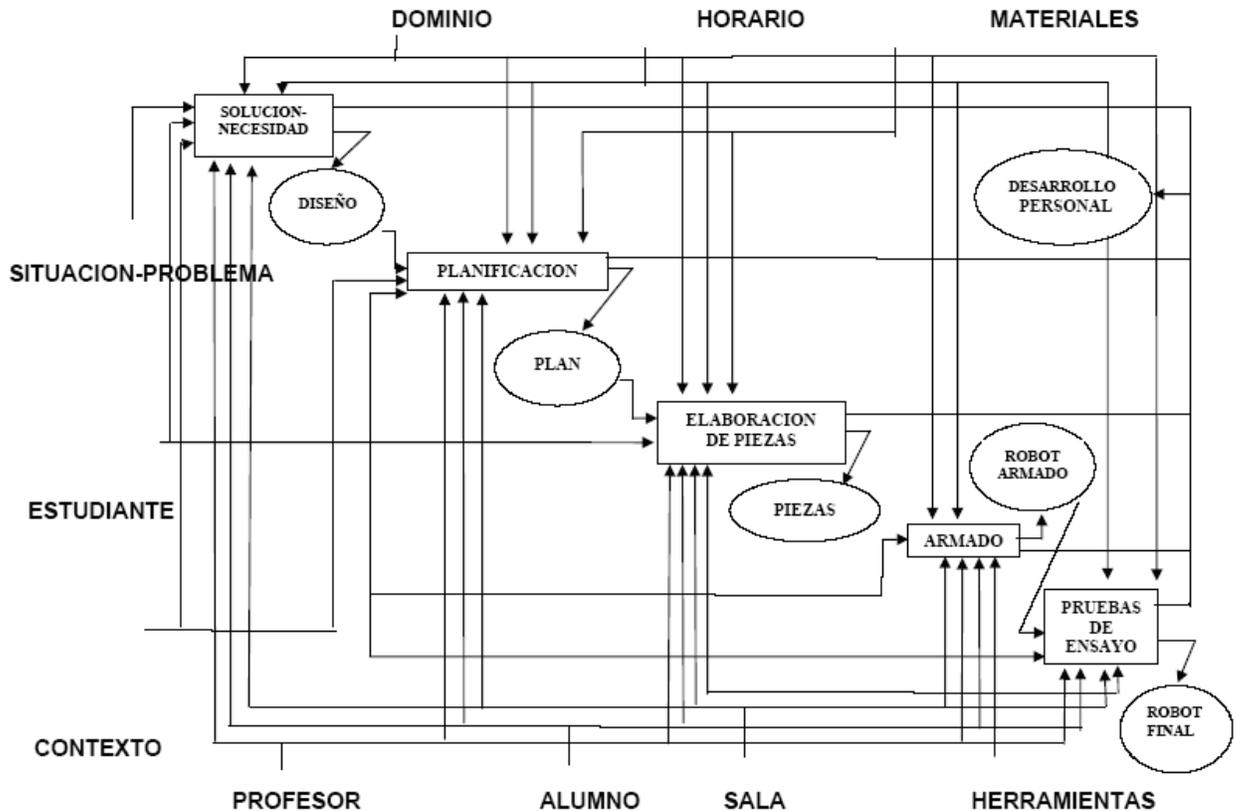


Figura 2. Modelo de desarrollo de la Robótica Educativa.

El actigrama-padre se descompone en cinco fases de acuerdo a los siguientes actigramas: solución-necesidad, planificación, elaboración de piezas, armado de la solución-robótica y las pruebas de ensayo. Este es el segundo nivel de funcionalidad.

Cada fase es representada por su respectivo actigrama que muestra la acción con respecto a cada una de las otras acciones, lo mismo con la acción global. Las participaciones de las variables globales y locales de cada fase aparecen claramente definidas como entradas, salidas, variables de control y de soporte.

Los resultados que se obtienen en cada una de las fases y que pasan a ser la entrada de la fase siguiente son: el diseño, el plan, las piezas y el robot armado, el cual modela la solución a la situación-problema, y el desarrollo personal que envasa los resultados de aprendizaje de los alumnos. Estos últimos corresponden a los autoconocimientos obtenidos, las competencias adquiridas y las capacidades personales desarrolladas.

Hay que tener presente que pueden haber varios niveles de funcionalidad.

Las entradas se transformarán en resultados de aprendizaje por medio de la investigación-acción controladas por las variables de control y de soporte.

La primera entrada corresponde a la situación-problema propuesta a los estudiantes de acuerdo a su nivel del sistema educativo y al dominio correspondiente. Esta es sólo entrada para el actograma solución-necesidad. La segunda entrada es la/el alumno, quien participa naturalmente en todas las fases. Y la última entrada es el contexto que está presente en las fases de solución-necesidad y planificación.

Las variables de control que intervienen son: el dominio de contenidos, que controla todas las fases y está centrado en los programas de estudio del nivel correspondiente. La segunda es el horario de las sesiones, el cual también controla todas las fases. Y por último la disponibilidad de los tipos de materiales que sólo interviene en las fases de planificación y elaboración de piezas.

Las variables o mecanismos de soporte necesarias para la transformación de las entradas en resultados de aprendizaje por la investigación-acción son el profesor, el estudiante, la sala de trabajo y las herramientas. Estas soportan evidentemente todas las fases y, sólo, las herramientas son el soporte de la elaboración de piezas, armado y pruebas de ensayo.

Es claro que la salida desarrollo personal comporta diferentes connotaciones a lo largo del proceso, las cuales deben ser consecuentes con la fase a la cual ellas se refieren.

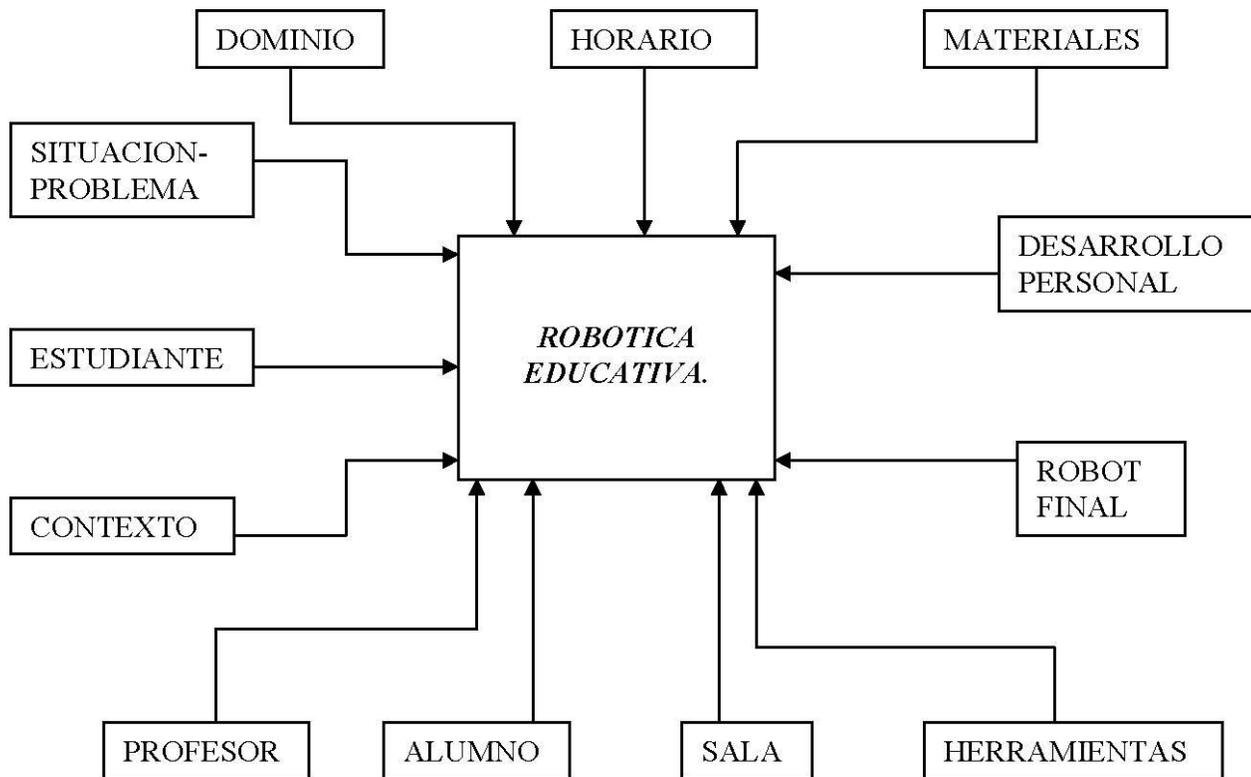


Figura 3. Actograma padre.

4. Identificación de sistemas

El sistema educacional, bajo la tutela del paradigma del racionalismo intelectual, puso énfasis en la difusión de un profesor a n alumnos y en el que el saber se entrega envasado en un lenguaje oral o escrito en un pizarrón. De esta manera el mensaje satisface al esquema del sistema clásico de comunicación: interlocutores, medios de comunicación, mensaje (estímulo, respuesta) e impacto. De acuerdo a ello se identifican claramente los elementos de una sesión de clase como sistema: entrada (contenidos expuestos por el profesor), proceso (recepción de los contenidos y la asimilación de ellos por el alumno), salida (aplicación del alumno en una tarea, trabajo o respuesta oral a una interrogación, etc.) y el feedback (la evaluación de la actividad del alumno con el reconocimiento de resultados de aprendizaje al examinar sus deficiencias, si las hay).

En el caso de la Robótica Educativa en el Modelo de su Desarrollo se ven claros los elementos del enfoque sistémico. Las entradas son la situación-problema, los conocimientos previos del estudiante y los elementos del contexto en que se desarrollará el proceso educativo-tecnológico. El proceso se compone de los subprocesos: búsqueda de la solución-necesidad, la planificación, la elaboración de piezas, el robot armado y las pruebas de ensayo del robot-solución. Hay que notar que cada subproceso es a su vez un subsistema.

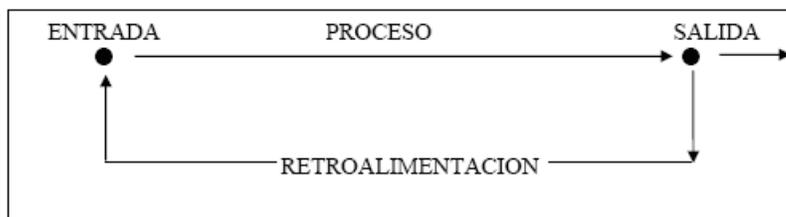


Figura 4. El aula de clases como sistema.

Las salidas del sistema son: el desarrollo personal (conocimientos cognitivos, actitudinales y procedimentales adquiridos, el desarrollo social logrado a través del trabajo grupal (cooperativo)), el robot-final y los resultados de cada subproceso como el diseño, el plan, las piezas, el robot armado y el robot final. Por otro lado, el feedback que es representado por la evaluación de cada uno de los subprocesos con respecto al procedimiento realizado y a las modificaciones necesarias para mejorar los respectivos resultados.

Es claro, observar que tal como está planteado en el modelo de la estrategia didáctica de la Robótica Educativa, ésta satisface, como sistema de subsistemas, la concepción de la Calidad Total.

5. Estimación de parámetros

Para modelar el sistema educativo de la Robótica Educativa se ha utilizado el Método de Análisis SADT (Rojas y Saldaño, 1993). En la Robótica Educativa se tienen 5 familias de parámetros: las entradas que constan de tres variables, las variables de control que también son tres, las variables de soporte que son

cuatro y las salidas que son dos, pero además se tienen las sub-salidas de cada uno de los subprocesos, esto es: diseño, plan, piezas y robot armado. En total se tienen entonces, diez y seis miembros de las familias (Ver el modelo SADT al final). Ahora, para cada uno de estos miembros hay que determinar, los criterios de evaluación, los cuales permitirán definir los parámetros a valorar.

Por ejemplo: sea el proyecto de un robot hombre-rana. En el caso de la variable de control dominio, hay que evaluar los aprendizajes acerca del agua, esto es, densidad, presión con respecto a la profundidad, la fuerza de empuje; el movimiento del hombre-rana en el agua, permeabilidad de los materiales, etc. Otro tipo de parámetro, sería el manejo de la interfaz en cuanto a los indicadores de: polaridad, amperaje, diferencia de potencial y potencia del motor. Es claro que si a cada variable de los diez y seis miembros de las familias a evaluar, se le consideran tres parámetros por cada una, se tendrán 48 parámetros a evaluar en el ejemplo considerado.

6. Interfaz Alumno-Conceptualización de la tecnología (interfaz hombre-máquina)

Las máquinas tienen su propio lenguaje de códigos, que naturalmente es diferente al código de comunicación del hombre. Para resolver esta impasse es necesario interponer un traductor o intérprete de tal manera que las instrucciones del hombre sean traducidas a la máquina. Este dispositivo recibe el nombre de Interfaz. La Robótica Educativa es una interfaz en sí y además su desarrollo pasa por una interfaz entre el computador y el robot, fabricado por el estudiante. Es una interfaz en sí, ya que la formación del estudiante pasa por la construcción de una tecnología que satisfaga la situación-problema educativa, haciendo necesario un intérprete entre los dos. Esto es, entre la educación del alumno y la conceptualización de la solución al desafío educativo planteado.

Esta interfaz, la Robótica Educativa, tiene como entrada la situación del problema, las condiciones iniciales del estudiante y el contexto, relativo a la funcionalidad del robot. Entonces, la interfaz Robótica Educativa, traducirá estas entradas en resultados de aprendizaje con respecto a la conceptualización de la tecnología, representada en este caso por los nuevos conocimientos logrados por el estudiante y el robot mismo, como tecnología. Esto es, la Robótica Educativa es una interfaz Alumno-Conceptualización de la tecnología.

7. Resultados

Al aplicar el Método de análisis SADT (Structured analysis and Design Technique, 1989) a la conceptualización de la Robótica Educativa de Vega-Rojas-Saldaño (1989, '91, '93) se obtiene una modelización del proceso educativo subyacente por medio de los subprocesos: solución-necesidad, planificación, elaboración de piezas, robot armado y robot final.

La concepción de sistemas se puede aplicarle a la Robótica Educativa, ya que en ella se reconocen como se han visto: entradas, proceso, salida y retroalimentación. Además, se puede describir como compuesto por cinco subsistemas. Ello resulta en forma inmediata al considerar a cada uno de los

sub-procesos como sistemas.

El proceso de parametrización permite reconocer cinco familias de parámetros en la Robótica Educativa, de lo cual se obtienen diez y seis miembros de las familias y en cada uno de ellas se pueden definir los parámetros de tal manera que se ajusten a la intencionalidad educativa que se desea obtener.

Por último, a un dispositivo que sea un intérprete válido entre un hombre y una máquina se le conoce como una interfaz hombre-máquina. Al intérprete entre la formación de un estudiante y la conceptualización de la tecnología, tal como una estrategia didáctica, se le reconoce como una interfaz Alumno-Conceptualización de la tecnología. Este es el caso de la Robótica Educativa.

CONCLUSIONES

En consecuencia a los trabajos de desarrollo e investigación que se han difundido desde hace algunos años, se puede concluir que la Robótica Educativa es un modelo estructurado de una estrategia didáctica que se adecua a la actual Reforma Educacional Chilena. En efecto, la Robótica Educativa ha sido la base de varios proyectos PME (Proyecto de Mejoramiento de la Educación. MINEDUC), mejorando los resultados de aprendizaje de los estudiantes de las Escuelas básicas en las que se ha aplicado.

De lo que se ha planteado anteriormente, se concluye también como resultado que la Robótica Educativa es un ejemplo de un sistema de sistemas, en cuanto estrategia didáctica modelada por el Método de análisis SADT.

Para lograr la evaluación en la Robótica Educativa es necesario concluir que se debe llevar a efecto una parametrización de ella por medio de indicadores de la estrategia educativa y que correspondan a la intencionalidad de los logros educativos a alcanzar.

Finalmente, la Robótica Educativa funciona como un intérprete entre la/el alumna/o y la situación-problema que debe resolver. Es decir, se puede afirmar que es una interfaz del tipo Alumno-Situación problemática.

BIBLIOGRAFÍA

Abad, Juan José; García, Abel Manuel y Sangüesa, José (1997). Ciencia, Tecnología y Sociedad. Madrid: McGraw-Hill. España.

Aguilera, Ingrid; Estefanía, Carola y Saldaño, Antonio (2000). La Robótica Educativa en la Educación en Ciencias Experimentales. Córdoba: II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Argentina.

Bloomfield, Louis A. (1997). How Things Work. The Physics of Everyday Life. New York: John Wiley & Sons, Inc. USA.

Calderón, Eliana y Saldaño, Antonio (1995). Educational Robotics, an Innovation way of Technology Education. Jerusalem: JISTEC'96. The Second Jerusalem International Science and Technology Education Conference on TECHNOLOGY EDUCATION FOR A CHANGING FUTURE: THEORY, POLICY AND PRACTICE. Israel.

Calderón, Eliana y Saldaño, Antonio (1995). Robótica Educativa: Fundamentos,

Métodos y Técnicas. Santiago: Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Chile.

Calderón, Eliana y Saldaño, Antonio (1996). Innovación Educativa y Evaluación. Robótica Educativa. Temuco: Seminario Internacional "Evaluación, Desarrollo y Cambio Educativo. Universidad de La Frontera. Chile.

Calderón, Eliana y Saldaño, Antonio (1996). Un modelo pedagógico para Educar en la Tecnología. Robótica Educativa. Chillán: 7° Encuentro Nacional de Académicos y Profesores Universitarios de Educación Tecnológica. Universidad del Bío-Bío. Chile.

Calderón, Eliana; Garay, Victoria y Saldaño, Antonio Saldaño (1996). La Gestión para una Innovación exitosa: Robótica Educativa. La Serena: II Congreso Internacional de Administración Educacional: La Administración en la Dimensión de una Autonomía Institucional. Universidad de La Serena. Chile.

Calderón, Eliana; Reyes, Miguel y Saldaño, Antonio (1995). Robótica Educativa en Redes: Telerrobótica Educativa. Sanantiago: Seminario: Aplicación de la Tecnología Satelital en los Procesos Educativos. Secretaría pro Tempore de la II Conferencia Espacial de las Américas. Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile. Chile.

Calderón, Eliana; Robles, Eduardo; Unda, Pedro y Saldaño, Antonio (1998). Proyecto de Investigación en Educación Tecnológica. Dirección de Investogación. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Investigación. Chile.

Calderón, Eliana; Saldaño, Antonio y Profesores Escuela E-480 (1996). Paradigma Educativo centrado en el Aprendizaje. Robótica Educativa. Santiago: Seminario Internacional. Integración Regional: Innovaciones e Investigaciones en Educación. Convenio Andrés Bello. Ministerio de Educación y Programa Interdisciplinario de Investigaciones en Educación. Chile.

Calderón, Eliana; Saldaño, Antonio y Vega, Víctor (1996). Enseñanza de la Física, asistida por la Robótica Educativa. Matanzas: Taller Internacional "La Enseñanza de la Física". Instituto Superior Pedagógico "Juan Marinello". Universidad Pedagógica de Matanzas. Cuba.

Calderón, Eliana; Saldaño, Antonio y Vega, Víctor (1996). Robótica Educativa. Barranquilla: III Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. RIBIE. Colombia.

Calderón, Eliana; Saldaño, Antonio y Zambrano, Mario (1997). Valores puestos en juego en el Paradigma de la Robótica Educativa. Valparaíso: II Seminario Internacional sobre Educación y Valores. Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

Calderón, Eliana; Saldaño, Antonio; Zambrano, Mario y Vega, Víctor (1997). La Robotique Pédagogique comme Paradigme Educatif. Montreal: Cinquième Colloque International de Robotique Pédagogique. Université de Montréal. Canadá.

IGL Technology, SADT. (1989). Un langage pour communiquer. Paris: Editions Eyrolles. France.

Kolb, D. (1984). Experiential Learning. Experience and the source of learning and development. Englewood Cliffs, N.Y.: Prentice - Hall, Inc.U.S.A.

Martínez, Ivonne y Saldaño, Antonio (1994). Exploración de factores del desarrollo personal en un micromundo robótico del oído medio con alumnas del Tercero medio del Liceo N° 1 Javiera Carrera. Santiago: Secretaría Ministerial de Educación. Región

Metropolitana. Chile.

Meyer, J. (1992). *Teaching Problem Solving in Science and Engineering*. Jerusalem: Jerusalem College of Tecnology. Israel.

OEI, Organización de Estados Americanos. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*.

Rivera Márquez, Melesio (1998). *La Comprobación Científica*. Ciudad de México: Editorial Trillas. México.

Rivera, Oscar; Araya, Carlos; Medina, Rodrigo; Alcaíno, Pablo; Falfán, Germán y Saldaño, Antonio (1998). *Educación de Futuro. Espacio Integrado entre Ciencia, Sociedad y Tecnología*. Marbella Resort: VIII Congreso Latinoamericano de Control Automático. Asociación Chilena de Control Automático. Chile.

Rojas, Tulio y Saldaño, Antonio (1993). *Modèle d'Apprentissage en Robotique Pédagogique*. Lieja: Quatrième Colloque International en Robotique Pédagogique. Bélgica.

Rojas, Tulio y Saldaño, Antonio (1994). *Gardner's Intelligence Conception and a new Educational Robotic Model*. Lisboa: II Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Portugal.

Rojas, Tulio; Saldaño, Antonio y Profesores de la Escuela E-480 (1994). *Robótica Educativa: Innovación Educativa*. Escuela E-480. "Su Santidad Juan XXIII. Santiago: 2° Encuentro Nacional sobre Enfoques Cognitivos actuales en Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.

Rojas, Tulio; Saldaño, Antonio y Vega, Víctor (1993). *Integrated Science Learning: Educational Robotics*. Jerusalem: International Conference on Science Education in Developing Countries: From Theory to Practice. Israel.

Rojas, Tulio; Saldaño, Antonio y Vega, Víctor (1994). *Robótica Educativa en la Educación en Física Experimental*. Antofagasta: IV Encuentro Nacional de Educación en Física Experimental. Universidad Católica del Norte. Chile.

Saldaño, Antonio (1989). *Robótica Educativa*. Santiago: Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Chile.

Saldaño, Antonio (1991). *La Robótica Educativa como un Curriculum Integrado*. Santiago: Segundo Congreso Nacional de Enseñanza de Física. Instituto Profesional de Santiago. Chile.

Saldaño, Antonio (1993). *Integración de la Física con otras Ciencias en la Robótica Educativa*. Porto Alegre (Canela): II Escuela Latinoamericana sobre Investigación en Enseñanza de la Física. Brasil.

Saldaño, Antonio (1995). *Robotique Pédagogique. Acquisition de l'Autonomie dans ses apprentissages par une Pédagogie de Projet: le cas de la Technologie*. Le Mans: Université d'Été. Université du Maine. France.

Saldaño, Antonio (1999). *Educational Robotics as an Intelligent Orthosis*. Le Mans: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education. France.

Saldaño, Antonio (2000). *La Robotique Pédagogique et l'Education en Science*. Montréal: 68e. Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences. Canadá.

Serway, Raymond (1993). Física. Tomo I y II. Ciudad de México: McGraw-Hill. México.

Vega, Víctor (1991). Robótica Educativa. Santiago: Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Memoria para optar al Título de Profesor de Física y Ciencias Naturales. Chile.