

CAPITULO V: SIMULACION DEL MODELO MATEMATICO

*“Son vanas y están plagadas de errores las ciencias que no nacen
de la experiencia madre de toda certidumbre”*

Leonardo Da Vinci

CAPITULO V: SIMULACION DEL MODELO MATEMATICO

5. INTRODUCCIÓN

La simulación consiste en encontrar soluciones analíticas o numéricas de un modelo matemático, permitiendo verificar el comportamiento del modelo en cuestión. La simulación es la etapa en la cual se evalúan sistemáticamente las bondades del modelo ante diferentes entradas respecto al comportamiento real del sistema ante las mismas entradas. Para ello se utiliza un conjunto de datos para visualizar la capacidad del modelo para predecir. Esta última prueba permite una mejor comprensión de la calidad de la predicción del modelo, pues compara gráficamente las simulaciones con la respuesta real del sistema. [18]

En los modelos tipo *caja gris* el procedimiento de simulación no es tan directo puesto que existen partes del modelo y/o conjuntos de parámetros sobre los cuales se posee poca información. En este caso, es necesario realizar en primer lugar un ajuste de parámetros basándose en el conocimiento “*a priori*” que se posee del sistema para conducir a soluciones aceptables y similares a comportamientos reales. Sin embargo, también pueden existir condiciones de operación bajo las cuales la estructura del modelo falla y sus resultados no pueden ajustarse a todos los datos. En esta situación, la evaluación debe continuar utilizando los resultados de las simulaciones, para obtener información sobre cuál es la parte del modelo o el conjunto de parámetros que afecta el comportamiento del sistema en cada situación.

La evaluación del modelo propuesto está basada en el conocimiento fenomenológico del comportamiento de las capacidades de aprendizaje y en el ajuste de ciertos parámetros con el fin de obtener resultados de simulación coherentes. Por tanto, el ajuste de parámetros se realiza de manera heurística (ensayo y error), pero se usa el conocimiento a priori disponible sobre la fenomenología del condicionamiento instrumental u operante. Los datos experimentales se obtienen, algunos de la literatura especializada, y otros de la aplicación del Test Gestáltico Visomotor de Bender – Koppitz en los establecimientos rurales de la Provincia de Catamarca. [23]

Como consecuencia del proceso de evaluación, es importante destacar que el modelo propuesto bajo las condiciones establecidas (estímulo - respuesta) puede simular comportamientos que se observan en el proceso de aprendizaje; cuando se haya expuesto a tóxicos ambientales, que provocan alteraciones de los procesos de neurodesarrollo. Esto pueden llevar al deterioro del rendimiento intelectual y provocar la aparición de enfermedades vinculadas a la alteración de funciones cognitivas. [8], [10], [21], [23], [26]. [27], [29]

En este capítulo se explica primeramente el concepto de Dinámica de Sistemas aplicado al proceso de aprendizaje en la sección 5.1. En la sección 5.2 se justifica cómo se obtienen las distintas simulaciones realizadas para la adquisición de capacidades sensoriomotor, cuyas soluciones fueron

planteadas en el Capítulo IV, precisando sus variables de entrada y salida, y formulando sus condiciones de iniciales y de frontera. En la sección 5.3 se realiza el análisis de los resultados del modelo matemático. Finalmente en la sección 5.4 se expresa la conclusión del modelo matemático propuesto.

5.1. DINÁMICA DE SISTEMAS Y EL PROCESO DE APRENDIZAJE

La Dinámica de Sistemas fue desarrollada por Forrester J. W. (1961) y se considera un método multidisciplinario empleado para describir, modelar, simular y mejorar el aprendizaje de los problemas dinámicos complejos. Siendo su objetivo básico llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el rol de cada variable del sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento involucradas en el mismo. [9]

Por ello, su metodología permite diseñar y construir modelos de retroalimentación causal de sistemas complejos a largo plazo y no lineales, que responden de manera muy viable a la realidad. Esta herramienta nos permite explicar las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema, mediante un proceso que posibilita hacer visibles los modelos mentales y transformarlos en modelos formales con la rigurosidad de las ecuaciones diferenciales. Esto nos lleva a considerar que el aprendizaje es un proceso de interacción directa con el mundo real, debido a la realimentación

resultado de las decisiones para intervenir en dicho mundo llamado *ciclo externo*. Igualmente, es posible inducir el llamado *aprendizaje virtual*, cuya interacción no es directamente sobre la realidad sino sobre una abstracción de ella llamado *ciclo interno*. Esta interacción del mundo real y el virtual hace que los modelos mentales sufran cambios, y es justamente este elemento de cambio lo que garantiza un aprendizaje subyacente. [9], [20]

Por tanto, utilizando esta metodología se evidencia nuestra comprensión en el caso del problema estudiado del aprendizaje con retardo. Lográndose construir un modelo adecuado, tras el análisis de las variables que participan en el sistema. Destacándose la intervención de los mecanismos de procesamiento y retención de la información, reforzando su adquisición y contribuyendo en mejorar la capacidad cognitiva.

5.2. SIMULACION DEL MODELO MATEMATICO DE APRENDIZAJE

El modelo matemático propuesto definido en la ec. (4.5) está constituido por una ecuación diferencial ordinaria lineal de primer orden, descrito en función de variables de estado que fueron mostradas en el Capítulo IV.

5.2.1. SIMULACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE CAPACIDADES SENSORIOMOTOR MEDIANTE LA DINAMICA DE SISTEMAS

De los resultados obtenidos de los alumnos en la franja etaria entre los 5 a 12 años con 11 meses de las Escuelas N° 297 de Lavalle y N°8 de Bañado de Ovanta pertenecientes al Departamento Santa Rosa, al aplicar el test de Bender – Koppitz se logra evaluar el desarrollo visomotor del niño según si alcanza cumplir con un total de veinticinco capacidades respecto a la EC y el CMVM. Para ello se considera el rango de edades muy variadas que presentan los alumnos, la repitencia de grados y la influencia de los efectos adversos que ocasionan el contacto con las sustancias agroquímicas presentes en dicha región, sobre los que se analiza como afectan de manera directa en el desarrollo físico e intelectual del sujeto. (Capítulo IV, Figura 4.18). [6], [21]

De acuerdo al modelo matemático propuesto y definido en la ec. (4.5) del Capítulo IV, se pone especial atención al comportamiento de la curva de aprendizaje. Expresando el modelo matemático propuesto mediante Diagrama de Forrester de la Dinámica de Sistemas (Anexo F) obteniéndose el mismo, tal se muestra en la Figura 5.1.

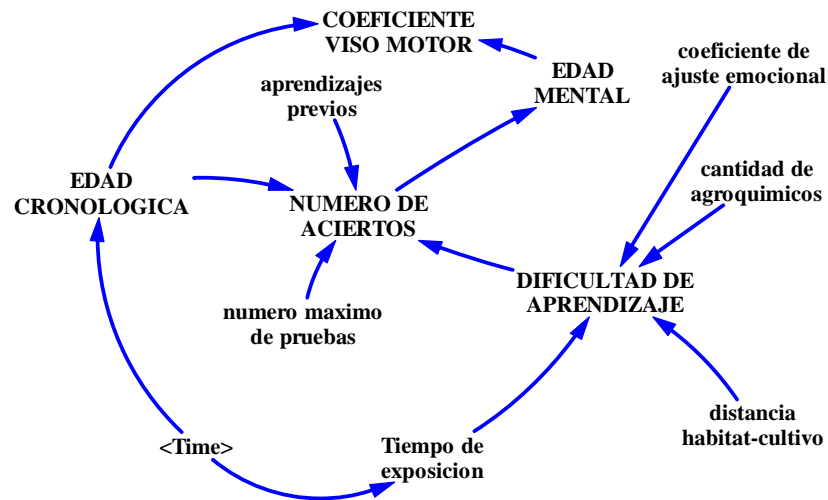


Figura 5.1.: Diagrama de Forrester del Modelo Matemático del Proceso de Aprendizaje propuesto

A continuación se detallan los puntos que participan en éste diagrama:

- La existencia de variables que contribuyen a largo plazo en el CMVM en términos de la realidad ambiental, su contaminación, influencia del tiempo de exposición al que están sometido los alumnos testeados y su comportamiento emocional.
- La cuestión ambiental emerge como una necesidad de dar respuestas a problemas cada vez más complejos de la sociedad, demostrando la necesidad de convertir la dimensión ambiental en un proceso sistemático orientado a la integración de disciplinas del conocimiento.
- Planteo de un modelo matemático en Dinámica de Sistemas que simula los procesos que participan durante el aprendizaje, y que están

asociados a situaciones emocionalmente significativas y al ambiente en que se desarrollan.

- Se proponen coeficientes que permiten recrear la realidad y su comportamiento a largo plazo.
 - *Números de aciertos*: capacidades adquiridas presentes en las producciones gráficas de los examinados.
 - *Edad cronológica (EC)*: es la edad real en meses que tiene el alumno que se halla asistiendo a algunos de los cursos desde el nivel inicial (tomado como 0) hasta el séptimo grado.
 - *Edad mental visomotor (EMVM)*: es el nivel de integración de la madurez motora y visual (perceptiva) alcanzada por cada sujeto, cuyo comportamiento está determinado biológica y socialmente; dado por el sistema de puntuación de Koppitz en términos del número de aciertos y EC.
 - *Coficiente mental visomotor (CMVM)*: es la interacción constantemente activa entre la habilidad heredada y la experiencia del medio, que da como resultado que el sujeto sea capaz de adquirir, recordar, usar sus capacidades visomotoras, y entender conceptos concretos y abstractos. Está en relación entre la EMVM y la EC del sujeto, tal como fue definida en la ec. (4.1) del Capítulo IV.
 - *Dificultades de aprendizaje*: mide la tasa de aprendizaje en relación a la cantidad de capacidades adquiridas.

- ✓ *Tiempo de exposición del alumno*: duración en meses a la que es sometido a sustancias agroquímicas en el ambiente.
- ✓ *Coefficiente de ajuste emocional*: indicador del comportamiento ante estímulos reflejados en los detalles de los dibujos evaluados.

5.2.1.1. USO DE AGROQUIMICOS

Considerando las distintas actividades realizadas en el trabajo de campo de esta investigación, que se haya enmarcada dentro del proyecto de investigación “*Alteraciones en el aprendizaje y su relación con la presencia de agroquímicos en el contexto ambiental de los alumnos del Departamento Santa Rosa, Provincia de Catamarca*”. Se partió del supuesto que el ecosistema sufre alteraciones o desequilibrios producidos por el uso intensivo de agroquímicos.

Para ello, se realizó la prueba experimental utilizando lombrices endoanecicas (*Amyntsd hawayanus*) colectadas en las localidades de Lavalle y Bañado de Ovanta ubicadas al Este del Departamento Santa Rosa. A dichas lombrices se les aplicó distintas dosis herbicida de glifosato, siendo de $\frac{2,5}{100}$ [l] y $\frac{5}{100}$ [l], con cuatro repeticiones por tratamiento por contacto directo durante los períodos de fumigación. Observándose que en el plazo de 96 [h], causaban una mortalidad del 100% en ambos tratamientos. [11]. En consecuencia, se consideró que las lombrices eran posibles bioindicadores,

muy sensibles a este herbicida y se espera que en terrenos fumigados se encuentren presentes, siendo un indicador de lo perjudicial que resulta para la estructura del suelo.

Cabe aclarar, que por razones del protocolo de las Instituciones Escolares no se autorizó la evaluación de los alumnos a través del registro médico, es por ello que para poder conocer cuánto son los efectos adversos que recibe el alumno por la presencia de agroquímicos en las regiones de estudio, se procedió a llevar a cabo esta prueba experimental con lombrices.

Esto nos permitió conocer, de qué manera afecta el contexto ambiental donde habitan los alumnos, el cual influye en forma directa en la salud como en el aprendizaje. Por tanto, la Escuela N° 297 - localidad de Lavalle es la más afectada debido al uso frecuente de agroquímicos en la producción agrícola, mientras que la Escuela N° 8 - localidad de Bañado de Ovanta posee un sistema de producción agrícola de escaso uso de agroquímicos.

Tal es así, que Aranda (2009) expresa *“La soja sembrada en el país ocupa 17 millones de hectáreas de diez provincias y es comercializada por la empresa Monsanto, que vende las semillas y el agrotóxico Roundup (a base de glifosato), que tiene la propiedad de permanecer extensos períodos en el ambiente y viajar largas distancias arrastrados por el viento y el agua. Se aplica en forma líquida sobre la planta, que absorbe el veneno y muere en pocos días. Lo único que crece en la tierra rociada es soja transgénica, modificada en laboratorio. La publicidad de la empresa clasifica al glifosato como inofensivo para al hombre”*. [2, p.2-4]

Por lo tanto, la simulación bajo Dinámica de Sistemas permite visualizar la modelización del comportamiento de la adquisición de capacidades a largo plazo necesaria en el proceso de aprendizaje. Para ello, se analiza el modelo matemático de aprendizaje obtenidos para las escuelas seleccionadas, Escuela N°297 – Lavalle y Escuela N°8 – Bañado de Ovanta definidos en las ecs. (4.9) y (4.10) (correspondiente a los “*aciertos*”), que pertenecen a grupos de alumnos provenientes de entornos socioculturales diferentes y con distintas características en el uso de agroquímicos.

Al examinar la tasa de aprendizaje k , cuyo valor se obtuvo para cada una de las poblaciones correspondientes a cada escuela mediante ajuste a partir de los datos experimentales, lográndose determinar los mismos para expresar los modelos dados oportunamente, la tasa es un valor constante.

Tal valor puede considerarse generado por ciertos factores que dependen del ambiente en que se desarrolla el alumno, su estado anímico o *emocional* entre otros. En cuanto al ambiente por un lado, está la influencia dada por la dosis del agroquímico utilizado, que si bien existen valores recomendados en sus usos, nada impide la libertad de que esta varíe, por la falta de control responsable, tanto oficial como del usuario. La distancia de donde se hallan estos lugares que han sido fumigados respecto a la vivienda y escuela, donde asisten los alumnos también puede ser considerado aun cuando resulta difícil la obtención de tal información. Más aún resulta complicado informarse acerca del *tiempo de exposición* del alumno en esos

ambientes donde existe la presencia de agroquímicos, pero que es otro de los factores.

De esta manera la tasa de aprendizaje k se puede expresar en término de estos factores, aunque el tiempo de exposición puede ser variable por ser acumulativo, entonces la tasa de aprendizaje deja de ser constante con lo cual lo podemos plantear dependiente del tiempo. En tal caso obtenemos el comportamiento de la simulación, de la tasa de aprendizaje en función de la EC del alumno, la cual muestra un comportamiento sigmoideo, tal se muestra en la Figura 5.2.

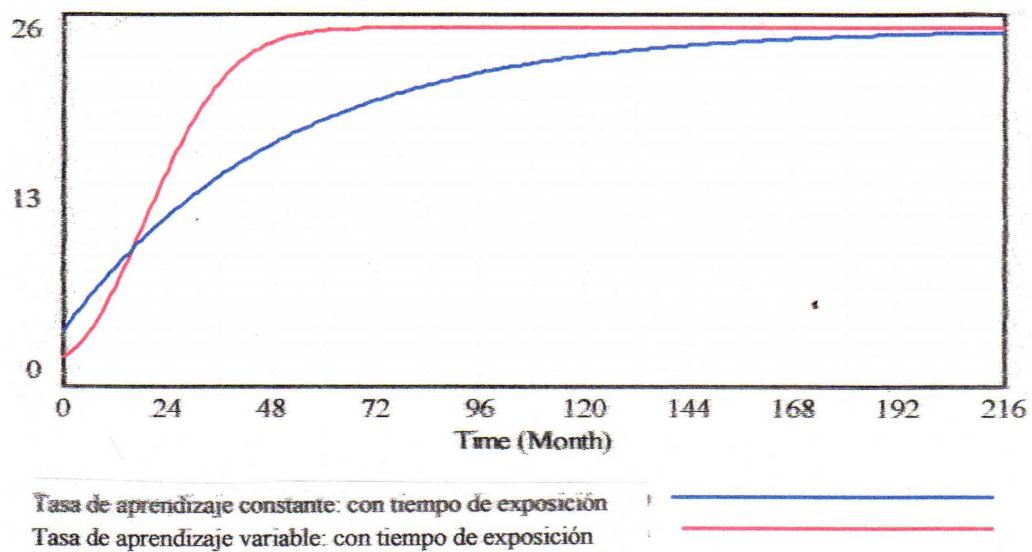


Figura 5.2.: Simulación Dinámica de la comparación del Modelo Matemático de las tasas de aprendizaje respecto a la EC de los alumnos pertenecientes a las Escuelas rurales de las localidades de Lavalle y Bañado de Ovanta.

5.2.2. SIMULACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE CAPACIDADES SENSORIOMOTOR A TRAVES DEL MODELO DE APRENDIZAJE CON RETARDO

Para realizar esta simulación se utiliza el simulador Vensim PLE 5.11 [20], que presenta dos tipos de variables auxiliares, por un lado las que se comportan como constante durante toda la simulación, y por otro, las que pueden ir variando a lo largo de una simulación. Este último tipo de variable se les denomina *niveles* dentro de la Dinámica de Sistemas, son aquellos elementos que nos muestran en cada instante la situación del modelo, y varían solo en función de otros elementos denominados *flujos*. [24]

No obstante, el modelo matemático de aprendizaje con retardo definido en la ec. (4.38) está constituido por una Ecuación Diferencial Ordinaria con Retardo (léase EDOR) de primer orden descrita en función de las variables de estado; siendo estas variables t , A_0 y k que son ajustadas a los respectivos retardos en el tiempo τ , un retardo α en la capacidad inicial y un retardo β en la tasa de adquisición de capacidades en relación a los datos obtenidos. [16]

Por tanto, en base a la obtención del PVI definido en la ec. (4.11) se consideró el total de la población encuestada que se la discriminó según si carece o no de retraso en el sistema educativo; considerándose como óptimo el ingreso al nivel inicial en cinco años (sesenta meses), y de allí el avance de un grado por año de edad; y dentro de los que lo poseen, solo se consideró en nuestro estudio a los que tienen un año de retraso. De esta manera, se simuló

a cada grupo según el PVI con retardo (según las ecs. (4.33) y (4.37)) para luego comparar sus comportamientos.

Nuestra simulación tiene como idea central verificar los PVI con retardos donde la solución muestra la capacidad adquirida de aprendizaje con retraso de un año, y que la denominamos *variación de capacidades adquiridas con retraso*. Para ello, se utilizó una variable *capacidad de adquisición con retraso en un año*, definida como función de las variables denominadas, *tiempo inicial retraso* t_{0R} , *capacidades iniciales retraso* A_{0R} y *tasa de adquisición retraso* k_R para representar el ajuste de los datos de alumnos que tienen el retardo de un año en el sistema educativo, i.e. $\tau = 12$. Luego, para ajustar dicha simulación, se utilizó la función DELAY FIXED con la cual el simulador Vensim PLE 5.11 define el retraso fijo de una variable.

En la Figura 5.3, se muestra mediante el diagrama de Forrester de Dinámica de Sistemas (Anexo F), las variables que intervienen en el PVI planteado con retardo respecto al tiempo, a partir del cual se corren las simulaciones a los efectos de mostrar como varia la adquisición de capacidades de los alumnos que avanzan en grado de cursado en ambos establecimientos cuando ingresan al sistema educativo.

Muestra 1: Escuela N° 297 – localidad de Lavalle.

- ✓ *Tiempo de retraso* $\tau : 12$
- ✓ *Capacidades iniciales retraso* $A_{0R} : 0.5$

- ✓ Tasa adquisición retraso $k_R : 0.00149$

Muestra 2: Escuela N° 8 – Bañado de Ovanta.

- ✓ Tiempo de retardo $\tau : 12$
- ✓ Capacidades iniciales retraso $A_{0R} : 5.48$
- ✓ Tasa adquisición retardo $k_R : 0.0126$

La simulación del Modelo Matemático con retardo en la adquisición de capacidades de los alumnos al avanzar en grado de cursado para ambas escuelas, está representada en las Figuras 5.4 y 5.5, donde se observan los ajustes sin retardo y con retardo. Allí los datos considerados para evaluar dichos retrasos fueron los “aciertos” que cada alumno obtuvo en el test.

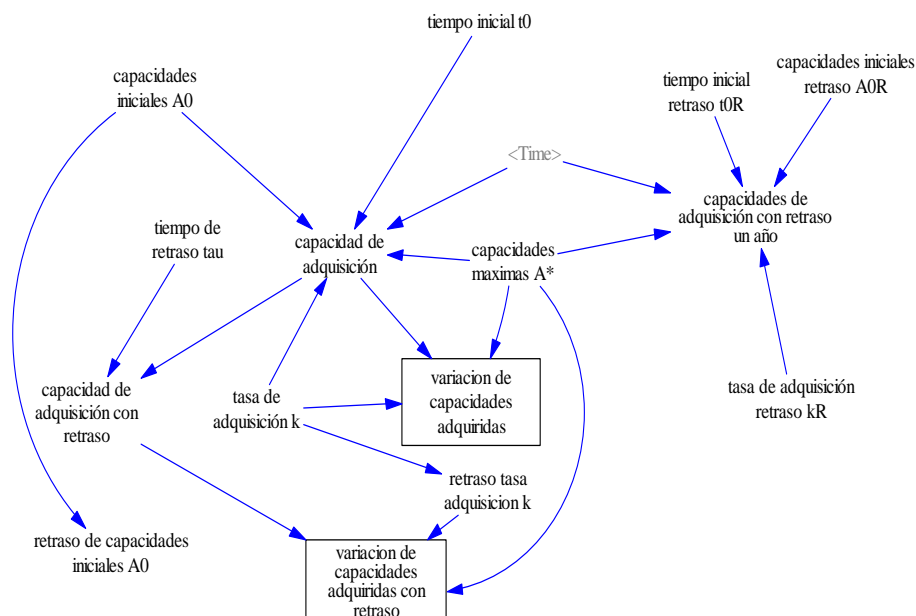


Figura 5.3.: Diagrama de Forrester del Modelo Matemático con retardo propuesto de la adquisición de capacidades sensoriomotor.

El documento que aporta el programa Vensim PLE 5.11 respecto al modelo matemático con retardo para la Escuela N° 297 – Lavalle es:

- (01) capacidad de adquisición=
 "capacidades maximas A*"-"capacidades maximas A*" -
 capacidades iniciales A0
)*2.71828^(-tasa de adquisición k*(Time-tiempo inicial t0))
 Units: **undefined**
- (02) capacidad de adquisición con retraso=
 DELAY FIXED (capacidad de adquisición, tiempo de retraso tau,
 capacidades iniciales A0)
 Units: **undefined**
- (03) capacidades de adquisición con retraso un año=
 "capacidades maximas A*" ("capacidades maximas A*" -
 capacidades iniciales retraso A0R
)*2.71828^(-tasa de adquisición retraso kR*(Time-tiempo inicial retraso
 t0R))
 Units: **undefined**
- (04) capacidades iniciales A0=
 9.50333
 Units: **undefined**
- (05) capacidades iniciales retraso A0R=
 13.1463
 Units: **undefined**
- (06) "capacidades maximas A*"=
 25
 Units: **undefined**
- (07) FINAL TIME = 238
 Units: Month
 The final time for the simulation.
- (08) INITIAL TIME = 58
 Units: Month
 The initial time for the simulation.
- (09) retraso de capacidades iniciales A0=
 capacidades iniciales A0-0.5

- Units: **undefined**
- (10) retraso tasa adquisicion k=
tasa de adquisición k-0.00149
Units: **undefined**
- (11) SAVEPER =
TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (12) tasa de adquisición k=
0.0108063
Units: **undefined**
- (13) tasa de adquisición retraso kR=
0.00943213
Units: **undefined**
- (14) tiempo de retraso tau=
12
Units: **undefined**
- (15) tiempo inicial retraso t0R=
89
Units: **undefined**
- (16) tiempo inicial t0=
58
Units: **undefined**
- (17) TIME STEP = 0.0078125
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (18) variacion de capacidades adquiridas= INTEG (
tasa de adquisición k*("capacidades maximas A"-capacidad de
adquisición), capacidades iniciales A0)
Units: **undefined**
- (19) variacion de capacidades adquiridas con retraso= INTEG (
retraso tasa adquisicion k*("capacidades maximas A"-capacidad
de adquisición con retraso),
retraso de capacidades iniciales A0)
Units: **undefined**

En la Figura 5.4, correspondiente a la Escuela N° 297 – Lavalle se observa que los alumnos recursantes o que se incorporan tarde al sistema educativo, pueden adquirir cierta cantidad de capacidades respecto al tiempo de retraso, dependiendo de la estimulación que se le aporte a los alumnos para que pueda avanzar en su aprendizaje, tratando que los efectos adversos de las sustancias agroquímicas no influyan de manera directa. Se observa, que inician la actividad escolar con diez capacidades, y a medida que avanza en edad y grado desarrollan capacidades cognitivas que contribuyen a un mejor nivel de aprendizaje llegando a obtener veintidós capacidades al finalizar su etapa escolar; esto evidencia que la tasa de adquisición de capacidades k va de menor a mayor lo cual muestra que el alumno alcanza luego de un determinado tiempo una cierta capacidades de conocimientos.

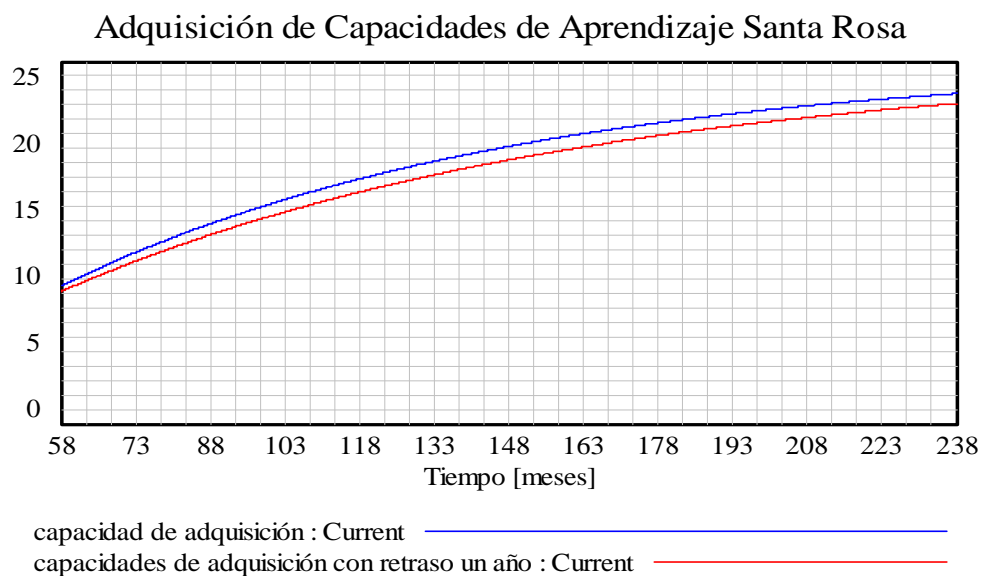


Figura 5.4: Simulación dinámica con retardo de la adquisición de capacidades. Escuela N° 297 - Lavalle. (Muestra 1)

Mientras que, el documento que aporta el programa Vensim PLE 5.11 respecto al modelo matemático con retardo para la Escuela N° 8 – Bañado de Ovanta, se realizaron los cambios de parámetros y en el retraso (A_{0R} , t_{0R} , k_R) haciendo las estimaciones respectivas, obteniéndose:

- (01) capacidad de adquisición=
 "capacidades maximas A*"-"capacidades maximas A*" -
 capacidades iniciales A0
)*2.71828^(-tasa de adquisición k*(Time-tiempo inicial t0))
 Units: **undefined**
- (02) capacidad de adquisición con retraso=
 DELAY FIXED (capacidad de adquisición, tiempo de retraso tau,
 capacidades iniciales A0
)
 Units: **undefined**
- (03) capacidades de adquisición con retraso un año=
 "capacidades maximas A*"-"capacidades maximas A*" -
 capacidades iniciales retraso A0R
)*2.71828^(-tasa de adquisición retraso kR*(Time-tiempo inicial retraso
 t0R))
 Units: **undefined**
- (04) capacidades iniciales A0=
 15.7776
 Units: **undefined**
- (05) capacidades iniciales retraso A0R=
 21.5409
 Units: **undefined**
- (06) "capacidades maximas A*"=
 25
 Units: **undefined**
- (07) FINAL TIME = 239
 Units: Month
 The final time for the simulation.
- (08) INITIAL TIME = 59

- Units: Month
The initial time for the simulation.
- (09) retraso de capacidades iniciales A0=
capacidades iniciales A0: 5.48
Units: **undefined**
- (10) retraso tasa adquisicion k=
tasa de adquisición k-0.0126
Units: **undefined**
- (11) SAVEPER =
TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (12) tasa de adquisición k=
0.0140161
Units: **undefined**
- (13) tasa de adquisición retraso kR=
0.00189074
Units: **undefined**
- (14) tiempo de retraso tau=
12
Units: **undefined**
- (15) tiempo inicial retraso t0R=
100
Units: **undefined**
- (16) tiempo inicial t0=
59
Units: **undefined**
- (17) TIME STEP = 0.0078125
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (18) variacion de capacidades adquiridas= INTEG (
tasa de adquisición k*("capacidades maximas A*" - capacidad de
adquisición), capacidades iniciales A0)
Units: **undefined**
- (19) variacion de capacidades adquiridas con retraso= INTEG (

retraso tasa adquisicion k ("capacidades maximas A^* "-capacidad de adquisición con retraso),
 retraso de capacidades iniciales A_0)
 Units: **undefined**

En la Figura 5.5 se verifica que los alumnos que ingresan a la Escuela N° 8 - Bañado de Ovanta, con su correspondiente EC respecto al grado de cursado presentan según las evaluaciones del test de Bender en la percepción visomotor una razonable capacidad de aprendizaje. Esto se evidencia en que inician la actividad escolar con dieciséis capacidades a los cincuenta y nueve meses, y a medida que avanzan llegan a obtener veinticinco capacidades al finalizar su etapa escolar, esto muestra que hay un paulatino aumento en la tasa de adquisición de capacidades k .

Mientras que, para los alumnos que ingresan tardío al sistema educativo se presentan casos particulares, como que a partir de los cien meses inician generalmente con una gran cantidad de capacidades (alrededor de veintidós); es decir, que los alumnos han tenido una evolución muy importante en forma ajena a la escuela y solo desarrollan una capacidad a lo largo de todo su ciclo en la escuela primaria y terminando con veintitrés capacidades. Esto muestra que el sistema educativo para este tipo de alumnos, no ha manifiesto progreso en su propio aprendizaje a pesar de la ventaja inicial con la que ingresaron.

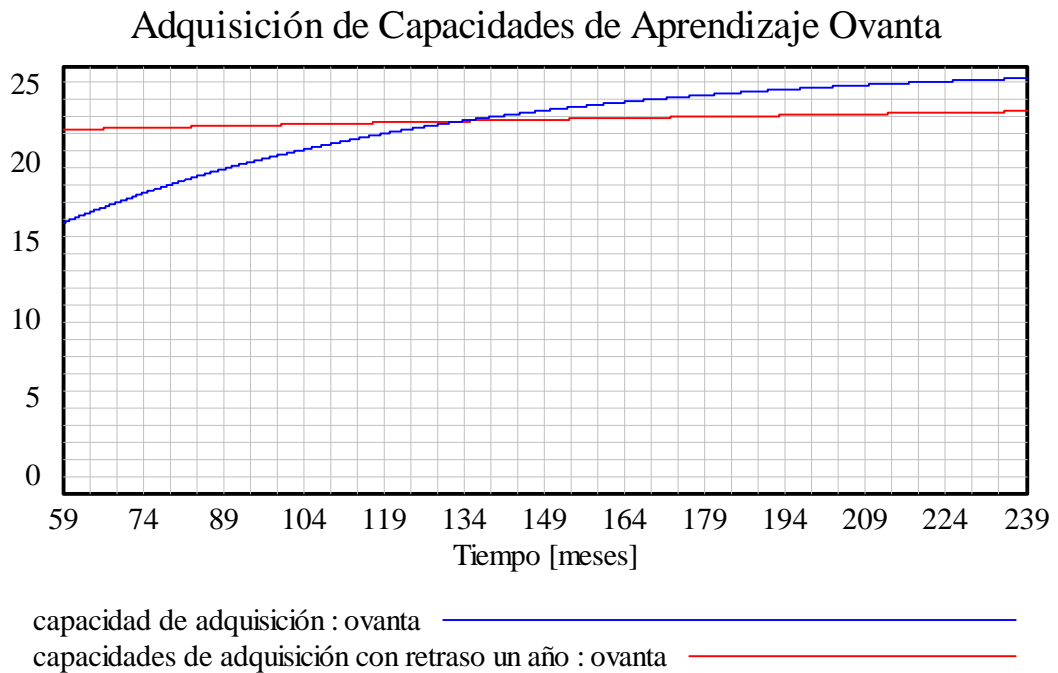


Figura 5.5: Simulación dinámica con retardo de la adquisición de capacidades.
Escuela N° 8 .Bañado de Ovanta. (Muestra 2)

5.2.3. SIMULACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE CAPACIDADES SENSORIOMOTOR A TRAVÉS DEL MODELO DE RED NEURONAL

Se considera el modelo matemático de una red neuronal definido en el Capítulo IV-sección 4.6, cuyo objetivo es entender en forma cuantitativa el funcionamiento del cerebro, que aprende mediante la reorganización de las conexiones sinápticas entre las neuronas que lo componen. Estas se modelan mediante un mecanismo de valores ponderados, que son ajustados durante la fase de aprendizaje, es decir, una red neuronal debe aprender a calcular la salida correcta para cada estímulo de entrada en el conjunto de datos. La

potenciación de las conexiones sinápticas influye en el mecanismo del aprendizaje, provocando la activación de genes de acción inmediata LTP y de acción tardía LTD generando modificaciones en el SNC. Es decir, aprender de manera que sólo se refuercen las respuestas correctas, es un proceso que no se detiene, no hay una regla para la cual una vez alcanzado el objetivo no se deje de reforzar las conexiones correctas, entonces, este proceso se vuelve aditivo. Efectivamente, aprender corrigiendo los errores implica un proceso que se detiene cuando la meta ha sido alcanzada, es decir si el resultado de la acción causada por la salida ha llegado a un resultado favorable o no. [8], [15], [18], [23], [29], [33]

▪ ALGORITMO

A partir del protocolo de los diseños geométricos del test de Bender se evalúa el desarrollo de la función visomotor del niño obteniéndose un total de veinticinco capacidades adquiridas respecto a la EC y el CMVM, que están determinados en términos de la edad mental de los alumnos de las dos regiones testeadas, los cuales se hayan expuestos a tóxicos ambientales que provocan alteración en los procesos del neurodesarrollo que llevan al deterioro en su rendimiento escolar.

A continuación se determina el tiempo de aprendizaje del niño en la copia de los distintos dibujos del test de Bender. Esto permite evidenciar la plasticidad que tiene la red cuando es estimulada al hacer variar la cantidad de

neuronas de entrada (N_i), de salida (N_s) y fortalecer las redes interneuronales (N_m) ofreciendo más opciones al sistema para obtener un valor predictivo respecto a la forma de resolver situaciones de aprendizaje. Por tanto, existe una marcada diferencia en los tiempos de aprendizaje cuando aumentamos la cantidad de neuronas intermedias u ocultas (N_m), entonces de lo asignado en los protocolos del test cuando el “acierto” es uno, esto significa que la red *aprendió* el patrón dado. A continuación se explica la dinámica de este proceso:

1. Se definen vectores de patrones correctos entre neuronas de entrada N_i y neuronas de salida N_s , siendo que el vector tiene que tener tamaño N fijo para cada simulación.
2. La cantidad de neuronas intermedias u ocultas (N_m) varían entre dos cantidades a convenir.
3. Se definen dos matrices conformables de dimensiones $V = (N_i \times N_m)$ y $W = (N_m \times N_s)$ con elementos al azar.
4. El proceso de computo que estimularán las neurona está basado en la restricción de que elementos de una fila de V con los de cada columna de W , deben satisfacer un determinado valor δ que previene que la fuerza sináptica decaiga por siempre, es decir es redistribuido entre las otras sinapsis.

5. La cantidad de veces que satisface esta condición identificado por el contador $e(n)$ que determina la cantidad de pasos que lleva a la neurona a “aprender” respecto al tiempo de aprendizaje (t).
6. Esta simulación puede repetirse tantas veces según una variable introducida como número de protocolos.
7. La estadística de estos datos se grafican obteniéndose (N_m vs t).

Chialvo & Bak (1999) [8], consideran que el aprendizaje en el cerebro reside en la plasticidad asociada con alteraciones en la eficacia sináptica. Este modelo de aprendizaje sigue las ideas de Hebb en el cual el refuerzo de las conexiones sinápticas (valores ponderados) se dan para neuronas excitadas que han conectado las entradas y salidas de manera correcta para un dado patrón. Así, cuando se varía el número de neuronas de las tres capas, vemos que existe una marcada diferencia en los tiempos de aprendizaje al aumentar la cantidad de neuronas en la capa interneuronal. [15], [33]

En consecuencia, aplicando el modelo propuesto por Chialvo D. R. a nuestro modelo, se determinó el tiempo de aprendizaje (t) en función del tamaño de las capas interneuronales (N_m). Para este proceso se programó en Matlab de acuerdo al algoritmo presentado. Por lo tanto, de lo asignado en los protocolos del test de acuerdo a los Indicadores Madurativos (cuyos ítems son: distorsión, rotación, perseveración e integración de la figura) e Indicador Emocional (cuyo ítems son: orden confuso y repaso del dibujo o de los trazos),

se evaluó el “acierto” con uno y la “ausencia” con cero; estableciéndose para cada capa de entrada (N_i) y salida (N_s) su relación con las capas intermedias u ocultas (N_m). Por tanto, para la capa de entrada (N_i) la cantidad de capacidades varían de 5, 10, 15, 20 y 25, siendo esta última la máxima capacidad de aprendizaje alcanzada por los alumnos de ambas escuelas. Posteriormente, se procedió a realizar las simulaciones respectivas con $N = 10.000$ que es el número máximo de corridas para estimar el tiempo de aprendizaje y así poder obtener una buena estadística, tal se muestra en la Figura 5.6.

Por tanto, según el test de Bender el niño desempeña una coordinación visomotor acorde con lo que es esperable según casuística en la mayor parte de los niños de su edad. Jernigan & Gamst (2005) [13], consideran que esto es debido a los cambios dinámicos en las poblaciones neuronales y en las conexiones sinápticas producidas a medida que el niño avanza en edad, esto lo lleva a incrementar la actividad mental en base a la asimilación de nuevos conceptos, que implica relacionar y diferenciar en forma integrada las capacidades adquiridas.

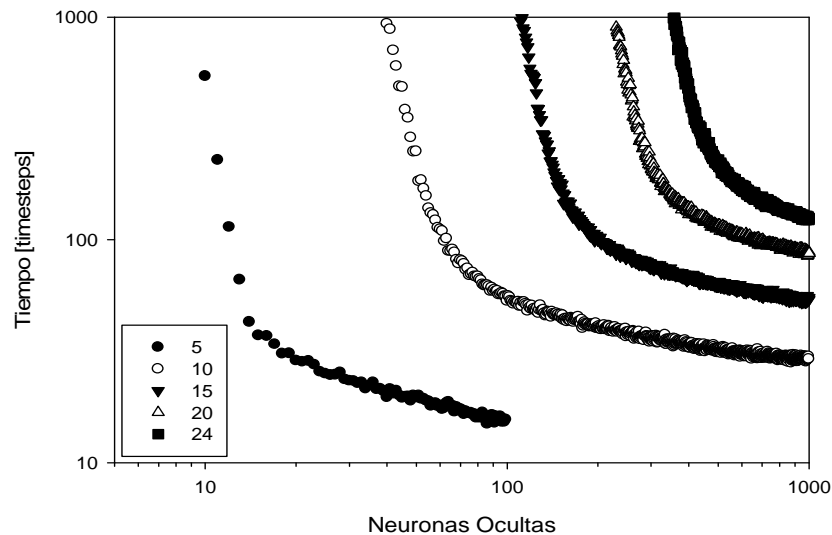


Figura 5.6.: Simulación del tiempo de aprendizaje variando el número de Neuronas ocultas para las distintas capacidades adquiridas

Se destacan en las simulaciones del modelo matemático de aprendizaje dos aspectos:

- (i) El factor temporal, dado por la EC de los alumnos cursantes respecto a las capacidades adquiridas de aprendizaje siendo su máximo veinticinco, el cual va creciendo y está influenciado por el medio circundante donde se desarrolla el niño. [8], [25], [29]
- (ii) La plasticidad que presenta el esquema de la red neuronal, se debe a que el funcionamiento de la misma mejora al aumentar el número de neuronas intermedias u ocultas (N_m), las cuales ofrecen más opciones al sistema para lograr capacidades de aprendizaje que posibilitan que la misma aprenda. [1]

Unificando estos dos aspectos graficamos las neuronas interconectadas u ocultas (N_m) en función de las capacidades adquiridas por los alumnos cursantes de los establecimientos escolares. Para ello, se seleccionó los valores de 5, 10, 15, 20 y 25 que son las capacidades obtenidas por los alumnos al reproducir las figuras gestálticas que requieren de habilidad visomotora, mientras que las neuronas interconectadas u ocultas (N_m) fueron seleccionadas según el tiempo de aprendizaje, tal lo muestra la Figura 5.7

En la Escuela N°297 - Lavalle presenta un crecimiento exponencial inhibido dado en término de las capacidades adquiridas, lo cual implica que la red neuronal necesita más neuronas interconectadas para aumentar de 20 a 25 capacidades que de 5 a 10 capacidades, lo cual implica que el sistema tendrá más opciones para resolver situaciones de aprendizaje. Por otro lado, en la Escuela N° 8 – Bañado de Ovanta primero disminuye, y luego aumenta de 15 a 25 capacidades debido a los alumnos recurrentes o que ingresan tardío al sistema educativo traen con ellos conocimiento ya adquiridos. Por lo tanto, se evidencia que para una escuela crece más rápida que en la otra, por los efectos adversos que produce la presencia de sustancias agroquímicas las cuales influyen en los procesos del neurodesarrollo.

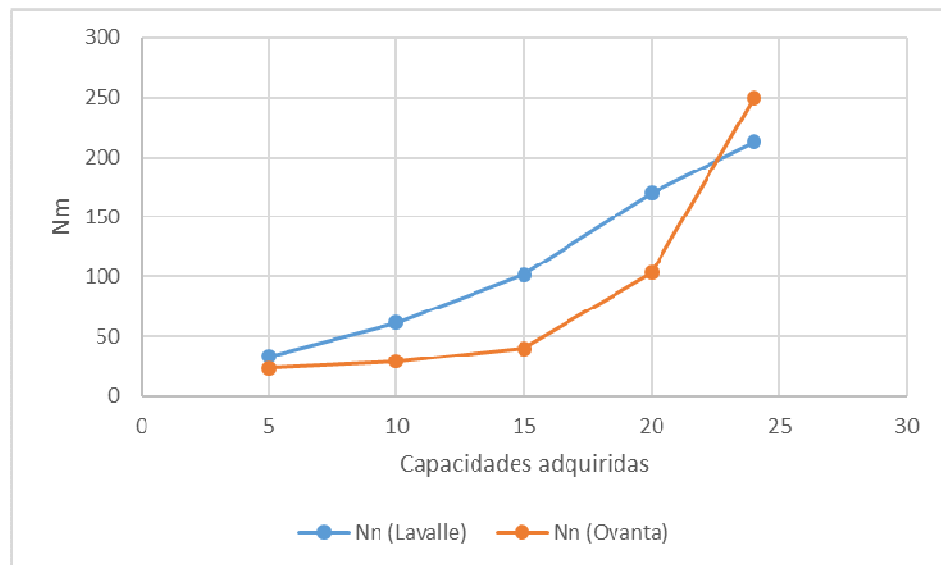


Figura 5.7.: Neuronas ocultas (Nm) en función de capacidades adquiridas

Mientras en la Figura 5.8, muestra neuronas ocultas en función del EC, donde se evidencia un crecimiento exponencial donde los cambios físicos que se llevan a cabo durante el aprendizaje se producen principalmente a nivel neuronal, fortaleciendo o debilitando las sinapsis entre las neuronas; en las que se encuentran implicados factores emocionales que dependen fundamentalmente de influencias que activan la formación del LTP, y que pueden ser utilizados para provocar cambios en la plasticidad cerebral que se traduce en incrementos de posibilidades cognitivas relacionadas con actitudes y factores emocionales. [32], [33]

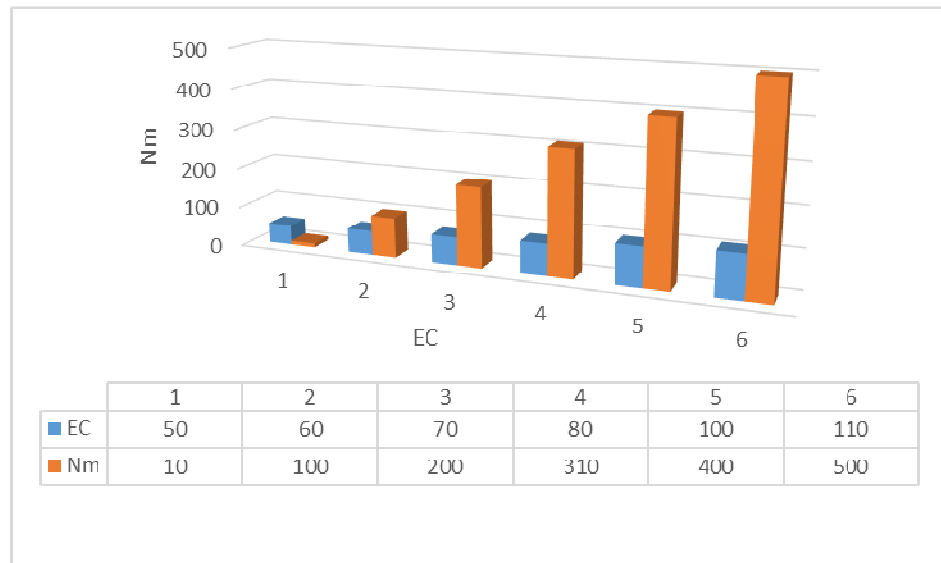


Figura 5.8.: Neuronas ocultas (Nm) en función de EC

5.3. ANALISIS DEL MODELO MATEMATICO DE APRENDIZAJE

De los resultados obtenidos de las muestras pertenecientes a los cuatro establecimientos rurales del nivel primario de la Provincia de Catamarca, correspondiente a los alumnos de la franja etaria de 5 y 12 años y 11 meses de edad pertenecientes a la clase social media – baja se realiza el siguiente análisis.

Se considera el modelo matemático propuesto en la predicción del comportamiento de la adquisición de capacidades en el proceso de aprendizaje, el cual fue desarrollado en el Capítulo IV. Para ello, se ajustó empíricamente los parámetros para completar el modelo “*caja gris*”, utilizando el conocimiento fenomenológico disponible y asegurando la coherencia y el sentido de las variables definidas en el modelo. [18]

De los resultados de la evaluación del test de Bender en relación a los indicadores evaluados tal lo detallado en el Capítulo IV- sección **4.2.4**, se considera que para desarrollar una tarea correctamente debe ponerse en juego la habilidad para reproducir líneas rectas, curvas y ángulos, tener en cuenta la proporcionalidad, la relación espacial entre elementos, comprender las relaciones de contigüidad y separación. Entonces, para percibir y reproducir las figuras deben cumplirse principios biológicos de acción sensoriomotor que dependen de pautas de desarrollo, de maduración y del estado patológico funcional u orgánicamente inducido de cada sujeto.

Si bien las publicaciones referentes a este tema son escasas, lo que se pretende subrayar dentro de éste contexto local es la importancia de conocer y describir las variables que intervienen en el test de Bender, en la que se evidencia las características que presentan los alumnos del nivel primario pertenecientes a los dos establecimientos elegidos del Departamento Santa Rosa - Provincia de Catamarca, donde los puntajes obtenidos al evaluar los “*aciertos*” muestran un puntaje alto lo que indica un rendimiento escolar pobre, estas deficiencias están en relación con la repitencia o la situación de abandono a la escolaridad de los alumnos, como consecuencia de su participación en tareas familiares relacionadas a los cultivos donde la intervención de sustancias agroquímicas afectan en forma directa sobre el neurodesarrollo, el aprendizaje y desórdenes que presenta el sujeto, el cual esto genera implícitamente alteraciones en la adquisición de capacidades. [31]

Del modelo matemático propuesto en el Capítulo IV- sección **4.3**, se puede derivar nuevas características del proceso pudiendo predecir su comportamiento, tal la adquisición de capacidades sensoriomotor donde su dinámica representa la curva típica de crecimiento exponencial inhibido que se observa en la evaluación de los “*aciertos*” obtenidos por los alumnos al reproducir las figuras geométricas del test de Bender (Figura 4.18) y que se verifica con la obtenida por simulación dinámica de la tasa de aprendizaje (Figura 5.2). En la que se evidencia que la evolución del aprendizaje en ambas escuelas es muy similar, siendo el desarrollo intelectual de los alumnos de uno y otro escuela dependiente de la estimulación que se le aporta a los mismos, tratando que los efectos adversos de las sustancias agroquímicas no influyan de manera directa. Por lo que se observa, que los alumnos que asisten a la Escuela N° 297 - Lavalle comienzan a la edad de *58 meses*, lo que implica que no hay estimulación intelectual en estos alumnos, o hay un daño neuronal innato producido quizás en la gestación o los primeros años de vida. Mientras, que en la Escuela N° 8 – Bañado de Ovanta si bien los alumnos ingresan tarde al sistema educativo, pero traen incorporado conocimiento previo que le permiten avanzar en grado y lograr obtener mejor resultados en la adquisición de capacidades.

Para el caso del modelo de red neuronal planteado en el Capítulo IV- sección **4.5**, se considera que la fenomenología que se produce en el modelo

neuronal, está basado en el disparo de la neurona y la plasticidad (los cambios en la fuerza sináptica); siendo el rol de la potenciación de las conexiones sinápticas las que establecen los mecanismo esenciales para el aprendizaje. Tal aprendizaje siguen las ideas de refuerzo de Hebb, dónde las conexiones sinápticas entre las neuronas excitadas durante un dado patrón de disparo, son reforzadas correspondiendo al proceso de la potenciación a largo plazo (LTP). La plasticidad neuronal del proceso de excitación-inhibición, es producida por la estimulación y el tiempo de aprendizaje al reproducir las figuras gestálticas, obtiene la apreciación de aciertos que está influenciada por los efectos adversos que produce la exposición a sustancias agroquímicas presentes en las dos regiones testeadas. [8], [9], [13]

5.4. CONCLUSION

Los resultados de la simulación muestran en general un modelo matemático que emula moderadamente la adquisición de capacidades necesarias para el proceso de aprendizaje, y de las comparaciones realizadas se obtiene la dinámica de las variaciones consideradas por las diferentes condiciones ambientales.

Shuell (1991) [33] expresa que el aprendizaje es "...un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de comportarse de una determinada manera, la cual resulta de la práctica o de alguna otra forma de experiencia". Es decir, es el resultado de un cambio potencial en la conducta ya sea a nivel intelectual o sensoriomotor que se manifiesta cuando estímulos

externos incorporan nuevos conocimientos estimulando el desarrollo de habilidades y destrezas, que permite relacionar los aspectos emocional y madurativo simultáneamente aportando una visión integral de todo el proceso de excitación – inhibición. Esto da lugar a resultados coherentes, donde se puede observar la dinámica de correlación entre la variación de capacidades adquiridas y el tiempo de aprendizaje que están interrelacionadas.

El proceso de evaluación muestra que el modelo matemático propuesto logra varios objetivos:

1. Confrontar las mediciones de las variables que participan en el modelo matemático de acuerdo al conocimiento fenomenológico: Se tiene que, de la evaluación del Test Gestáltico Visomotor de Bender – Koppitz, ambos establecimientos educativos rurales presentan un crecimiento inhibido en la adquisición de capacidades necesarias para el proceso de aprendizaje, la cual yuxtapone la experiencia sensorial que está representada por los hechos procedentes de los estímulos previos. Por lo tanto, la evolución del aprendizaje en ambas escuelas son muy similares, cuyo desarrollo intelectual de los alumnos de una u otra escuela depende de la estimulación que se le aporta a los mismos, tratando que los efectos adversos de las sustancias agroquímicas no influyan de manera directa.
2. Evaluar el desarrollo de la percepción visomotor de los alumnos pertenecientes a las dos localidades elegidas, tanto que carecen o no de retardo en el sistema educativo. En la simulación dinámica del

modelo matemático, dado por el PVI continuo del tipo crecimiento exponencial inhibido, se aplicó un retraso en los distintos parámetros para obtener la variación de capacidades adquiridas respecto al tiempo inicial y la tasa de adquisición de capacidades. Esto muestra la preponderancia de cada elemento descrito en el modelo matemático, partes específicas de la dinámica, los mecanismos de procesamiento y retención de la información, que refuerzan la adquisición y contribuyen a mejorar la capacidad cognitiva del alumno, tal se mostró en las Figs. 5.4. y 5.5 respectivamente.

3. Evaluar el modelo de red neuronal que está asociado a la plasticidad sináptica que presenta dicha red, tomándose como estímulos los valores de 5, 10, 15, 20 y 25 capacidades obtenidas a partir de la aplicación de los protocolos del Test Gestáltico Visomotor de Bender y las puntuaciones de valoración de Koppitz que fueran aplicadas a los alumnos pertenecientes a las dos localidades elegidas. Por lo tanto, se llevó a cabo la simulación (Figura 5.6) donde se muestra la cantidad de neuronas ocultas que evolucionan en un tiempo de aprendizaje. Tal lo expresa Chialvo y col. [8], las características del modelo neuronal biológico, muestra que cada neurona recibe una serie de estímulos de entrada y que a través del sistema de interconexión de neuronas en la red, ésta colabora para producir un estímulo de salida. Biológicamente el cerebro aprende mediante la reorganización de las conexiones sinápticas entre las neuronas que lo

componen, es decir a medida que aumentamos en la red la capa interconectada entre la entrada y salida, ofrece más opciones al sistema acelerando el tiempo de aprendizaje de las conexiones correctas.

5.5. REFERENCIAS

- [1] Aimone JB, Wiles J, Gage FH. Computational influence of adult neurogenesis on memory encoding. *Neuron* (2009). 61(2):187- 202
- [2] Aranda D. (2009) Glifosato, el tóxico de los campos. *Página 12*:.1-4 Argentina. www.pagina12.com.ar
- [3] Bear M. F., Connors B. W. y Paradiso M. A. (1998) *Neurociencia: Explorando el Cerebro*. Barcelona: Ed. Masson-Williams & Wilkins
- [4] Bender L. (2008) *Test Guestáltico Visomotor (B.G.). Usos y Aplicaciones Clínicas*. Bs. As.: Editorial Paidós (20° edición)
- [5] Bernal I. M. (2005) *Psicología del aprendizaje y la memoria*. Barcelona: CIC, 10. ISSN: 1135 - 7991.
- [6] Bassanezi R.C. (2002), *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. Editoria Contexto São Paulo – ISBN 85-7244-207-3.
- [7] Carreras M.A., Stover J.B., Landgraf J & Casela L (2008) Evaluación de la madurez visomotora y conceptual en una muestra de niños escolarizados de Buenos Aires. *XV Jornadas de investigación y Cuarto Encuentro de investigadores en psicología del Mercosur. Facultad de Psicología. UBA. Buenos Aires*.
- [8] Chialvo D.R., Bak P. (1999) Learning from Mistakes. *Neuroscience Vol. 90, No. 4: 1137– 1148. Elsevier Science Ltd*
- [9] Forrester J. W. (1992). La Dinámica de Sistemas y el Aprendizaje del Alumno en la educación escolar *D-4337: 1 – 22. Traducido por Grupo de Dinámica de Sistemas ITESM, Monterrey-México. Revisión por Juan Martín García. Barcelona, España (2000)*
- [10] Gazzaniga M.S. (2009) *The Cognitive Neurosciences*. Fourth Edition. England: Massachusetts Institute of Technology.
- [11] Hammann A., Segura H. Quevedo G. (2010) *Efecto de glifosato por contacto directo en *Amynthsd hawayanus**. Libro de Resumen (Línea Científica): V Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida – 6^{to} Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNCa. ISBN: 978-950-746-187-3. p.160.
- [12] Herculano-Houzel S. (2009) The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Review Article: Frontiers in Human*

Neuroscience. www.frontiersin.org

- [13] Jernigan T.L., Gamst A.C. (2005) Changes in volume with age-consistency and interpretation of observed effects. *Neurobiology of Aging* 26: 1271–1274 Published by Elsevier Inc.
- [14] Juárez G.A., Navarro S.I. (2005). *Ecuaciones en Diferencias con Aplicaciones a Modelos en Sistemas Dinámicos*. Catamarca: Editorial Sarquís. ISBN 987-9170-35-0. Derecho de autor: Exp.Nº:5175833 – 10/06/2014.
- [15] León Carrión J. (2002) Redes neuronales artificiales y la teoría neuropsicológica de Luria. *REN* 4, 2-3: 168-178– ISSN: 1139-9872.
- [16] Liz E. (2006). Sobre ecuaciones diferenciales con retraso, dinámica de poblaciones y números primos *Materials Matemàtics*. Vol. 2006, Treball N° 17: 24. ISSN: 1887-1097. Universitat Autònoma de Barcelona. www.mat.uab.cat/matmat.
- [17] Ljung L. (1987) *System Identification: Theory for the User*. University of Linköping Sweden – PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- [18] Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessell T.H. (1999) *Neurociencia y conducta*. España: Editorial Prentice Hall.
- [19] Koppitz E.M, (1999, Orig.1963). *El Test Guestáltico Visomotor para Niños*. Buenos Aires. Editorial Guadalupe
- [20] Martín García J. (2005) *Sysware*. Barcelona. España
- [21] Navarro S. I., Juárez G.A., Quevedo G.V. (2010). Modelado Matemático del Test de Bender – Koppitz. *Revista Electrónica Aportes Científicos desde Humanidades* 8: 734 a 743. Editorial Científica Universitaria. UNCa. ISSN: 1851-4464. www.editorial.unca.edu.ar
- [22] Navarro S. I., Juárez G.A., Quevedo G.V (2010) Sistema Dinámico de un Modelo Neuronal. *Revista Electrónica Iberoamericana Educación en Ciencias y Tecnología*. Vol.2: .91, ISSN 1852-852X www.exactas.unca.edu.ar
- [23] Navarro S. I., Juárez G. A. (2012) *Agrotóxicos y aprendizaje. Análisis de los resultados del proceso de aprendizaje mediante un modelo matemático*. España: Editorial Académica Española ISBN: 978-3-8484-7074-7
- [24] Navarro S.I. Juárez G.A., Sibona G. J., Quevedo G.V. (2012) Simulación Dinámica con retardo del proceso de adquisición de capacidades sensoriomotriz. *Revista Electrónica Iberoamericana Educación en Ciencias y Tecnología*. Vol.2: 177 – 191, ISSN 1852-852X. www.exactas.unca.edu.ar
- [25] Navarro S.I., Sibona G. J. (2016) *Association between learning time and interconnected neurons based in the Bender- Koppitz Test*. Enviado para su publicación al American Physical Society.

- [26] Nieva V., Barrionuevo M., Quevedo G., Soria E. (2010) Resultados obtenidos mediante la aplicación del test de Bender en alumnos de las Escuelas N° 274, N° 8 y N° 297 del Departamento Santa Rosa, Catamarca. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología. Volumen 2, N° 2: 69 – 87*
www.exactas.unca.edu.ar
- [27] Nivia E. (2003) Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato. *Copyright 1996 - 2015, Fundación Multimedios Ambiente Ecológico - MAE. ISSN 1668-3358*
www.ambiente.org.ar / info@ambiente.org.ar
- [28] Nonna S. (2006) *La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta y el ambiente. Estudio colaborativo multicéntrico.* Ministerio de Salud. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires: Gráfica Laf S.R.L. ISBN: 978-987.96256-7-5. p. 73-104.
- [29] Olea N., Molina M. J., Garcia M. M., Olea Serrano M. F. (1996) *Modern agricultural practices: The human price. En: Endocrine disruption and Reproductive effects in Wildlife and Humans.* Soto, A.M., Sonnenschein, C. y Colborn, T. Eds. *Comments in Toxicology.* p. 455 - 474.
- [30] Pelorosso A., Etchevers M (2004) *Baremos del test gestáltico visomotor.* *Investigaciones en Psicología* 9(3): 101- 111.
- [31] Rojas Velásquez F. (2001) Enfoques sobre el aprendizaje humano. Dpto. Ciencia y Tecnología del Comportamiento. Universidad Simón Bolívar.
- [32] Sousa, D. (2000) *Como Aprende el Cerebro.* California: Editorial Corwin Press, Inc.
- [33] Shuell T.J. (1991) *Designing Instructional Computing Systems for Meaningful Learning.* In M, Jones & P.H. Winne (Eds.), *Foundations and Frontiers of Adaptive Learning Environments.* New York, NY: Springer-Verlag.
- [34] Zapata-Ros, M. (2012) Teoría y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. España: *Universidad de Alcalá, p.1-49.*