

PROCESOS INFERENCIALES DURANTE LA COMPRESION DE TEXTOS

Ezquerro, J. & Iza, M.*

Dpto. de Lógica y Filosofía de la Ciencia

Universidad del País Vasco UPV/EHU

e-mail: [ylpezmaj@sf.ehu.es][ylbizmim@sf.ehu.es]

Abstract

Kintsch (1992) propuso la Teoría Construcción-Integración (CI) para dar cuenta de la comprensión de textos. CI es un modelo híbrido, es decir, combina una parte simbólica y otra conexionista. Desde nuestro punto de vista, sin embargo, la propuesta de Kintsch está afectada por algunas limitaciones relacionadas con la realización de inferencias. El objetivo de este trabajo es analizar el modelo mencionado y hacer ver cómo algunas de estas limitaciones pueden ser subsanadas añadiendo a dicho sistema un razonador conexionista híbrido, como el propuesto por Sun (1994), y un foco atencional. Este último podría operar, como restricción teórica, con tal sistema razonador. En otras palabras, nuestra sugerencia es que el sistema propuesto por Sun (1994) puede ser ampliado mediante la incorporación de un foco con el fin de poder aplicarlo a algunos problemas que aparecen en el procesamiento de textos. En relación con esta propuesta, analizaremos sus consecuencias para el diseño de arquitecturas conexionistas para la comprensión.

1. Introducción

La situación que se da entre escritores y lectores de textos es análoga a la que tiene lugar entre hablantes y oyentes en los contextos de conversación o diálogo, al menos en el siguiente aspecto esencial. Como sucede en este último caso, los lectores no tienen acceso directo al significado o intenciones comunicativas que el autor pretende transmitir. Por esta razón, los lectores tienen que recurrir a la ejecución de procesos inferenciales para poder interpretar las oraciones y obtener una comprensión global de las conexiones entre tales oraciones (coherencia). Estas inferencias pueden ser de diversos tipos. Algunas de ellas resultan necesarias para que un texto llegue a ser interpretado coherentemente. Este es el caso de las inferencias puente (*bridging inferences*). Otro tipo de inferencias son meramente elaborativas, en el sentido de que no resultan necesarias para enlazar las sentencias en un texto, incluso aunque sus conclusiones sean normalmente correctas.

Las inferencias enriquecen los textos con información adicional recuperada desde la memoria a largo plazo (MLP), de suerte que lo que finalmente queda almacenado es la información *input* más la información que no fue expresada inicialmente, sino inferida durante el proceso de lectura. Existen

dos cuestiones abiertas acerca de la realización de inferencias sobre las que la investigación en comprensión de textos se ha interesado de forma particular. La primera es determinar qué inferencias se realizan mientras se lee (y cuándo tienen lugar), y si estas inferencias son codificadas en una representación del contenido del texto. La segunda hace referencia a la organización del conocimiento en la MLP y a cómo las pistas en un texto acceden a tal conocimiento.

Hasta la fecha, uno de los intentos más interesantes de abordar estas cuestiones ha sido la Teoría *Construcción-Integración* (CI) propuesta por Kintsch (1992)¹. CI es una arquitectura para la comprensión que intenta dar cuenta de un amplio conjunto de fenómenos involucrados en la comprensión del lenguaje cotidiano. Su nombre "construcción-integración" refleja un supuesto central acerca de la naturaleza de la interacción lector-texto en el proceso de comprensión de textos: la activación de conocimiento va guiada localmente y resulta, por tanto, cruda e imprecisa. Sin embargo, un proceso de integración contextual de tipo conexionista termina por ofrecer una representación coherente del texto. Tenemos pues que CI es una teoría híbrida: su componente de construcción está basado en reglas y es simbólico, pero el proceso de integración es de tipo conexionista. Este modelo, sin embargo, tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, deja sin tratar el problema del control de activación, por lo que no responde a la cuestión acerca de por qué realizamos ciertas inferencias, y no otras, en una situación determinada. Con respecto al control de los procesos inferenciales, se asume que sólo se realiza un número restringido de inferencias en un momento dado, y que tales inferencias resultan ser centrales o relevantes para la comprensión. Si este supuesto es correcto, habrá que tener en cuenta cuándo tienen que ser activadas las inferencias elaborativas y qué clase de inferencias pueden resultar plausibles en un momento dado, dependiendo del contexto.

Como vamos a ver a continuación, las inferencias predictivas constituyen un caso paradigmático en la controversia general sobre elaboraciones, por lo que han recibido una atención considerable. Una de las razones de este creciente interés en las inferencias predictivas es la estrecha relación que guardan con lo que conocemos acerca de la estructura causal de las narraciones. El procesamiento de las narraciones se ve facilitado por el ordenamiento lógico-causal de los eventos. Si los lectores van a realizar una inferencia facilitar su asimilación del texto que sigue, resulta sumamente probable que realizarán una inferencia estrechamente relacionada con la coherencia causal de la narración. Por consiguiente, un enfoque apropiado para tratar esta cuestión sería determinar los contextos en los que los lectores realizan inferencias elaborativas. Por ejemplo, en el procesamiento de algunas

¹Para una introducción a esta arquitectura y los problemas de evaluación empírica que tiene, puede verse J. Ezquerro (1995).

anáforas la interpretación necesita procesos de inferencia basados en el conocimiento del mundo (Garnham, 1985) o en el contexto. Es más, es razonable pensar que estos procesos tienen que ser ejecutados de un modo "automático".

Los modelos de codificación distribuida del conocimiento (PDP) carecen de ciertas propiedades básicas que resultan necesarias para realizar este razonamiento flexible, aunque preciso. Algunos de estas propiedades son: explicación, procesamiento simbólico, interpretación de conocimiento interno y capacidad de manejo de casos discontinuos. Recientemente, Shastri y Ajjanagadde (1993) han propuesto un modelo conexionista parcial para el tipo de razonamiento que requiere tal inferencia espontánea². Su sistema puede representar un gran cuerpo de conocimiento sistemático y es capaz de realizar algunas inferencias de forma muy rápida, incluso, en combinación con una jerarquía de tipos (ES-UN; Mani y Shastri, 1991). Sin embargo, este sistema tiene también una fuerte limitación, dado que sólo controla la adecuación de los rellenadores de argumento, dejando sin tratar el problema del control de activación. En nuestra opinión, el sistema propuesto podría ser ampliado mediante la incorporación de un mecanismo atencional, con el fin de aplicarlo a casos como el control de inferencia y la resolución de anáfora (es decir, activación del antecedente). El problema es que esta extensión presenta algunas dificultades de implementación debido principalmente a su carácter local. A este respecto, los modelos distribuidos parecen encontrarse en una mejor posición para tratar con el cambio de los estados atencionales, dado que estos sistemas pueden aprender.

A lo largo de este trabajo intentaremos mostrar que un razonador conexionista híbrido (Sun, 1994) puede ser capaz de interactuar con un módulo contextual. Para lograr este objetivo, será necesario codificar los posibles enlaces contextuales entre las proposiciones y su grado de cohesión (coherencia) dentro del texto. Por último, como también sucede en CI, necesitaremos tal módulo para integrar contextualmente las conclusiones extraídas a partir de la ejecución de inferencias.

2. Evidencia psicológica de inferencias elaborativas

Un problema particularmente importante para los modelos de realización de inferencias durante la lectura es el de su caracterización y la determinación de las circunstancias en las que tienen lugar. De acuerdo con la Teoría **minimalista**³, las inferencias que son meramente elaborativas no se ejecutan

²Para una descripción de este modelo y la propuesta que se asume aquí de incorporarle un foco con el fin de controlar la inferencia, a la luz de la evidencia psicológica disponible, puede verse J. Ezquerro & M. Iza, (1993) y (en prensa).

³Esta opinión sugiere que si una inferencia no es requerida para dar coherencia a la información en un texto, entonces la inferencia no será construida. Esta propuesta sugiere igualmente que las inferencias elaborativas son

inicialmente, sólo llegarán a realizarse si son requeridas posteriormente. Esto sucede, por ejemplo, cuando se les pide a los lectores que respondan a alguna pregunta planteada por el experimentador, o cuando surge espontáneamente alguna pregunta en la mente del lector. En general, sólo se realizan automáticamente aquellas inferencias que establecen enlaces de cohesión locales.

Existe un amplio acuerdo acerca de la existencia de varias clases generales de inferencia que pueden ser realizadas durante la lectura. Algunas de ellas son requeridas para preservar la coherencia textual, por ejemplo, la coherencia referencial y la causal. Casi todos los investigadores coinciden con la idea de que estas inferencias necesarias se ejecutan de forma rutinaria durante la codificación de un texto (Garrod *et al.*, 1990; McKoon y Ratcliff, 1986). En cambio, hay otras inferencias que no se requieren para establecer la coherencia textual. Estas inferencias se consideran normalmente como inferencias elaborativas. Entre otras, este grupo incluye las inferencias instrumentales (inferencias que suministran un instrumento típico para un verbo, por ejemplo, inferir "martillo" a partir de "clavar un clavo"), las semánticas (inferencias que añaden matices de significado contextualmente apropiados a un concepto) y las predictivas (inferencias que transportan información sobre el resultado probable de un acontecimiento descrito). Sin embargo, la frecuencia y las condiciones bajo las cuales los lectores ejecutan inferencias elaborativas continúan siendo cuestiones abiertas. La atención en este campo se ha dirigido de ordinario a mostrar si algún tipo de información particular es inferido o no. Además, se ha argumentado en fechas recientes que las inferencias no tienen por qué ser codificadas en la representación de memoria de un texto necesariamente de un modo todo-o-nada, proponiendo en cambio que pueden ser codificadas en diferentes grados. Varios experimentos destinados a examinar el grado de codificación de inferencias sobre eventos predecibles y categorías definidas contextualmente han proporcionado evidencia en este sentido. Por ejemplo, McKoon y Ratcliff (1989) muestran que las inferencias sobre los ejemplares más típicos de tales categorías son codificadas a un nivel alto durante la lectura y que el contenido de la inferencia viene constituido por la información que relaciona las propiedades de los ejemplares más típicos con la información textual.

McKoon y Ratcliff (1989) modificaron su marco general con respecto a las inferencias minimales debido a la razón anterior: si una inferencia específica es suministrada por conocimiento general, fácilmente accesible en la MLP, entonces será construida, aún cuando no sea requerida para la coherencia. Sin embargo, esta modificación sólo se mantiene para la información más fácilmente accesible. Otras inferencias como las que versan sobre eventos predecibles, valores por defecto en representaciones de esquema o sobre instrumentos de

verbos, se codifican normalmente sólo de modo parcial o no son codificadas en absoluto. Así pues, los determinantes esenciales en la realización de inferencias resultan ser el establecimiento de coherencia local y la presencia de conocimiento disponible rápidamente que favorece la elaboración. En cualquier caso, una representación comprensiva de un texto debe contener inferencias elaborativas, sean minimalistas o no, ya que los textos no describen completamente los diferentes acontecimientos. Existen diferentes opiniones sobre cuántas inferencias elaborativas realizamos, y muchos teóricos de los Modelos Mentales se inclinan a pensar que la cantidad es grande⁴. A pesar de todo, sus opiniones tienden a favorecer el enfoque minimalista: el papel del conocimiento implícito no necesita ser considerado necesariamente como inferencia (es decir, accesibilidad)⁵.

En resumen, las inferencias elaborativas utilizan procesos operacionales sobre premisas basadas en evidencia en el *input* y sobre inferencias recuperadas desde la MLP. Existen razones para creer que pueden realizarse durante la comprensión inferencias elaborativas, pero sólo de forma muy lenta y sin ser representadas completamente (en el mejor de los casos) en un modelo mental. Por esta razón, los investigadores emplean arquitecturas paralelas con el fin de implementar este tipo de procesamiento. Se puede esperar que sólo se ejecutan las inferencias relevantes, ya que un sistema conexionista constriñe las inferencias a través de su red interconectada de enlaces excitatorios e inhibitorios (Kintsch, 1992). Sin embargo, como ha señalado Sanford (1990), la relevancia misma resulta ser muy difícil de definir y, por consiguiente, también resulta difícil establecer un procedimiento para tratarla. En el caso de las inferencias elaborativas, puede darse cierto progreso en situaciones de contextos fuertemente sesgados (Garrod *et al.*, 1990), debido al hecho de que en estos casos las inferencias se reducen a aquellas que son relevantes al contexto dado. Finalmente, hay evidencia en favor de la hipótesis de que inferencias de todo tipo (incluyendo las elaborativas) son más frecuentes con los personajes principales que con los secundarios de una historia (véase, Garrod y Sanford, 1990)⁶.

3. La Teoría Construcción-Integración

El significado de las oraciones en un discurso está compuesto por su contenido

⁴Es cierto que muchos teóricos de los Modelos Mentales han destacado no sólo el procesamiento constructivo, que es una parte esencial de la comprensión de textos, sino la realización de inferencias elaborativas *on-line*. De cualquier modo, la elaboración *on-line* no es una parte esencial de una teoría de Modelos Mentales de comprensión de textos (véase, McKoon y Ratcliff, 1992).

⁵Véase por ejemplo Garnham y Oakhill (1992) y Stevenson (1993).

⁶Si las elaboraciones han de ser realizadas, es más probable que estén relacionadas con conceptos destacados, ya que es más fácil que estos conceptos se repitan y formen parte de la representación general del texto. Por otra parte, surge la interesante cuestión acerca de cuándo y cómo una entidad nueva es considerada como más tópica que la entidad tópica precedente.

proposicional y por lo que puede ser inferido desde el resto del texto en el curso de su interpretación. Por tanto, el resultado de la comprensión es una representación del *input* lingüístico (una representación proposicional) que se transforma en un modelo mental del texto a través del uso de inferencias basadas en conocimiento no-lingüístico (Stevenson, 1993). Los procesos en los que se centra CI, son los relacionados con cómo las proposiciones del texto activan el conocimiento y con cómo se obtiene una representación integral del texto y conocimiento. El supuesto básico es que el conocimiento se activa por medio de procesos asociativos locales, sin el beneficio de la guía de estructuras de control como *frames* y esquemas. Por esa razón, tanto el conocimiento relevante contextualmente como el irrelevante son activados, necesitándose el proceso de integración para rechazar el material irrelevante o contradictorio desde el punto de vista contextual. El resultado de estos procesos es una representación del texto que puede servir como base para la acción. Esta representación es almacenada en la memoria de texto episódica, que está involucrada en tareas tales como el recuerdo. Finalmente, CI hace referencia a cómo la comprensión de un texto altera la base de conocimiento o MLP del lector (propia mente aprendizaje, a diferencia de, por ejemplo, mero recuerdo del texto).

Las representaciones generadas por CI en los procesos de comprensión son estructuras holísticas. Se construye una red asociativa de elementos (es decir, proposiciones, conceptos) para representar el significado de un discurso o situación como un todo, pero al mismo tiempo, los elementos derivan parte de su significado a partir de la estructura en la que están involucrados. La red final está basada en principios de satisfacción de restricciones: Los elementos de la red se afectan entre sí positivamente o negativamente hasta que se obtiene un estado de equilibrio en el que la parte de la red interrelacionada positivamente domina y el resto es rechazado.

Según el modelo propuesto se espera que a medida que se va construyendo cada proposición, ésta se integre en la red que va creciendo. Sin embargo, los resultados de varias simulaciones realizadas muestran que todas las proposiciones que corresponden a un único ciclo *input* son primero construidas, y después integradas simultáneamente. Su resultado representa el contenido de la memoria de trabajo (WM) al final de un ciclo. Cuando el proceso pasa al ciclo siguiente, suceden dos cosas. Primero, la estructura total generada es borrada de la WM y almacenada en la memoria secundaria, como una representación episódica del texto. Segundo, las proposiciones más altamente activadas permanecen activas en la WM durante el procesamiento de la oración *input* siguiente. En otras palabras, al final de cada ciclo, el foco de atención cambia a un *input* nuevo, a excepción de las proposiciones más importantes del ciclo precedente, que continúan bajo el foco de atención.

La memoria episódica del texto viene dada por los resultados acumulados de cada ciclo de procesamiento. Para cada ciclo, existe una matriz de

coherencia que resume las interrelaciones entre todos los elementos construidos durante ese ciclo. El resultado del proceso de comprensión modifica esta matriz de coherencia de tal modo que el elemento c_{ij} -la relación entre dos nodos i y j en la red- es ajustado por los valores de acción finales a_i y a_j de los elementos i y j , tal que el elemento correspondiente en la representación episódica del texto es $e_{ij} = c_{ij} \times a_i \times a_j$. De este modo, si el valor de activación de un elemento es 0 después del proceso de integración, éste se borra de la memoria episódica del texto.

El aprendizaje en CI se define en términos de los efectos que la memoria episódica del texto tiene sobre la red de MLP. En la actualidad se está investigando cómo este fenómeno tiene que ser exactamente conceptualizado pero Kintsch (1992) ofrece dos posibilidades: una es que la red de memoria episódica emerja simplemente con la red de MLP (quizás con algún factor de decaimiento); la otra que los enlaces en la MLP sean actualizados con información desde la memoria episódica.

3.1. Limitaciones

Una objeción habitual en contra de los enfoques de procesamiento del lenguaje que asumen el uso continuo de inferencia basada en conocimiento es la siguiente: la extracción de inferencias es costosa computacionalmente, y por consiguiente, debería ser minimizada si se quiere garantizar que el procesador opere tan rápido como se necesita (Shastri y Ajjanagadde, 1993). El problema es que si durante todo el tiempo se están extrayendo todas las inferencias posibles, muchas de éstas resultarán inapropiadas al llegar al final de la oración. Todo parece indicar, por tanto, que el argumento para una computación menos costosa y para minimizar el uso de inferencia es bastante razonable. A este respecto, nuestra sugerencia es que los mecanismos atencionales (es decir, un foco de atención) puede realizar esta doble función, especialmente en relación con el control de la inferencia y la resolución de anáfora, dando así más consistencia al modelo. A este respecto, hay que resaltar que en la memoria de trabajo propuesta por Kintsch, el uso de contexto⁷ para desambiguar entre resultados alternativos de recuperación de memoria y para seleccionar entre los resultados de los procesos de construcción, está estrechamente relacionada con la noción de un foco actual (Grosz, 1986). Por otra parte, el enfoque conexionista parece estar más cercano a la naturaleza real (es decir, psicológicamente plausible) del proceso de construcción. Los modelos conexionistas propuestos para el razonamiento reflejo y ordinario intentan realizar este proceso automáticamente y dentro de algunos valores motivados biológicamente (límites de capacidad).

Con respecto al aprendizaje, los modelos conexionistas para

⁷ Es decir, la relevancia y saliencia de información que restringe la recuperación de memoria.

procesamiento de textos basados en *scripts*, tratan con la interacción entre memoria episódica y MLP de forma natural. Después de todo, realizamos predicciones sobre lo que sucederá a continuación en base a episodios particulares que encontramos en la memoria y en base a generalizaciones extraídas a partir de experiencias similares (Schank, 1982). A continuación examinaremos si las representaciones distribuidas pueden ofrecer alguna luz a la hora de definir una arquitectura conexionista más completa para la comprensión⁸.

4. Un sistema conexionista para razonamiento reflejo

La simplicidad relativa de la habilidad de procesamiento de una neurona, en comparación con la computación simbólica, junto con la complejidad de los mensajes intercambiados por las neuronas, impone restricciones severas sobre la naturaleza de las representaciones y los procesos neuronales (Feldman y Ballard, 1982; Feldman, 1989; Shastri, 1990). Un sistema razonador debe ser capaz de codificar conocimiento abstracto y sistemático, y de instanciarlo en situaciones específicas para extraer las inferencias apropiadas. Esto significa que el sistema debe solucionar una versión compleja del problema del **ligamiento de variable** (Feldman, 1982; Malsburg, 1986). En este contexto, la inferencia puede ser considerada como el resultado de una propagación sistemática de estructuras, desde una estructura de conocimiento a otra, de un modo dinámico. Es decir, un sistema apropiado para la inferencia sistemática debe ser capaz de crear y destruir dinámicamente hechos, así como de propagar los rellenadores desde un hecho a otro de acuerdo con las reglas codificadas en la base de conocimiento. El problema de encadenar tales pasos de inferencia y los problemas de la propagación correcta de ligamientos a lo largo de la cadena de inferencia han persistido como una debilidad de los sistemas conexionistas (véase, Touretzky y Hinton, 1988; Smolensky, 1987; Dolan y Dyer, 1988; Shastri y Ajjanagadde, 1990, 1992).

El sistema propuesto por Shastri y Ajjanagadde (1992) puede representar conocimiento expresado en forma de **hechos y reglas**, y determinar si una pregunta dada puede ser o no respondida por los hechos y reglas codificados en el sistema. El sistema mantiene y propaga varios ligamientos de variable a lo largo de cadenas de inferencia utilizando una activación temporal sincronizada. Los rasgos básicos de esta solución de sincronía temporal residen en una separación de un periodo de ciclo de oscilación en varias fases y en el uso de

⁸Los sistemas conexionistas han utilizado representaciones locales para realizar el tipo de inferencia de alto nivel que muestran los sistemas simbólicos. A este respecto, los sistemas de razonamiento conexionistas imponen la restricción de que sólo puede dispararse a cada momento una regla (Touretzky y Hinton, 1988). Algunos sistemas como por ejemplo ROBIN, diseñado para tratar el problema de resolución de ambigüedad utilizando conocimiento evidencial (Lange y Dyer, 1989), o el razonador propuesto, constituyen excepciones notables en este sentido. Sin embargo, las limitaciones observadas en estos sistemas inclinan a considerar los sistemas conexionistas distribuidos con el fin de facilitar un mayor poder expresivo.

nodos sensibles a la fase. En base a estas propiedades, el ligamiento dinámico de variable está representado por nodos argumento y su constante, compartiendo la misma fase en un periodo de oscilación particular durante un proceso de razonamiento. Así, el sistema puede representar estructuras compuestas de un modo dinámico y propagarlas sistemáticamente, de forma tal que se generan otras estructuras compuestas. Es decir, estos autores proponen una solución neuralmente plausible al problema ligamiento de variable mediante un sistema que puede representar una gran cantidad de conocimiento sistemático que contiene predicados n -arios. El sistema también puede representar constantes, tipos (categorías) y las relaciones "instancia_de" entre tipos, utilizando una jerarquía ES-UN. Esto es debido al modo en que se codifican los predicados, los conceptos individuales y las reglas:

$$\begin{aligned} &\forall x,y,z[give(x,y,z) \Rightarrow own(y,z)] , \\ &\forall x,y[own(x,y) \Rightarrow can-sell(x,y)] , \\ &\forall x,y[buy(x,y) \Rightarrow own(x,y)] \end{aligned}$$

donde los enlaces entre los argumentos reflejan la correspondencia entre los argumentos en las partes antecedente y consecuente de las reglas. Para codificar estas reglas y la jerarquía ES-UN, el sistema construye un grafo inferencial acíclico dirigido, donde cada nodo en el grafo es un elemento de procesamiento y cada conexión es un enlace bien-establecido (*hardwired*), como se muestra en la Figura 1. Para obtener un mayor poder expresivo, la jerarquía ES-UN es utilizada no sólo para representar conocimiento jerárquico, sino también para imponer restricciones de tipo en las variables que se dan en las reglas durante la inferencia. Esta interacción entre el razonador basado en regla y la jerarquía ES-UN permite al sistema codificar reglas dependientes del contexto que son sensibles a los tipos de los rellenadores de argumento implicados en situaciones particulares. Una vez el conocimiento del mundo es codificado en la red, el razonamiento reflejo comienza activando los nodos del predicado inicial. Después de que tales nodos se activan, esta activación se propaga por toda la red a través de los enlaces entre los predicados.

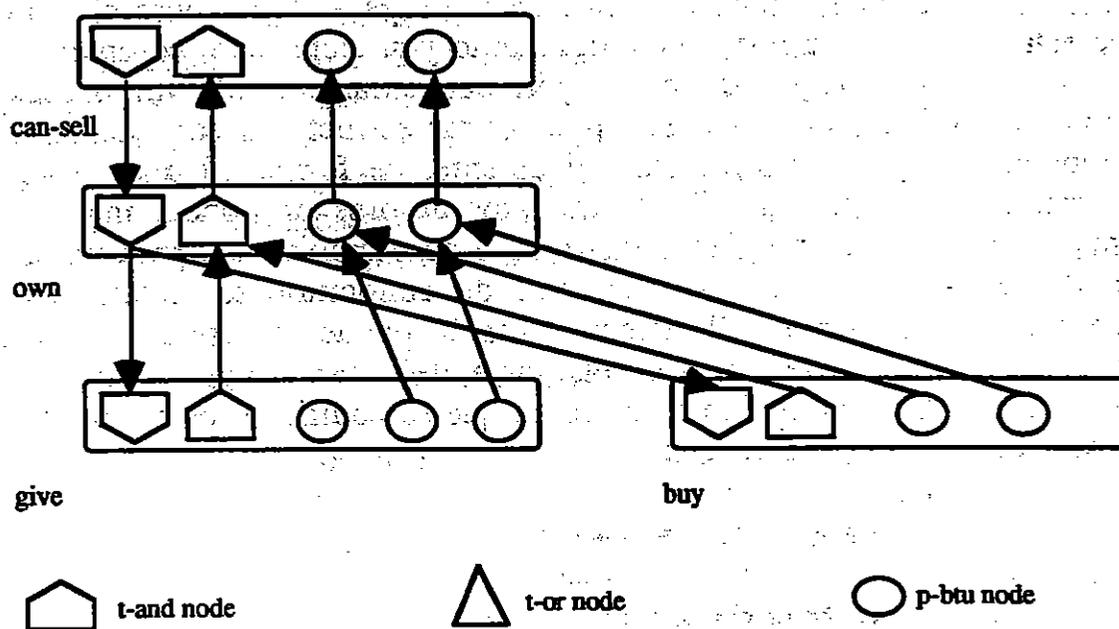


Figura 1: La codificación de las reglas

Una ventaja de este sistema es que el conocimiento puede ser codificado en paralelo. Las reglas y hechos codificados pueden dispararse en paralelo dado que están conectados a los mismos nodos de predicado cuando los nodos se activan. Consecuentemente, el tiempo consumido para cada inferencia depende de la longitud de la cadena de inferencia, en lugar de depender del número de reglas y hechos codificados en el sistema. Sin embargo, como apuntan Shastri y Ajjanagadde (1993), deben existir restricciones en la clase de razonamiento que puede ser realizada de un modo reflejo. Se asume que los agentes cognitivos sólo son capaces de realizar una clase de inferencia limitada con extrema eficiencia. Por otra parte, el sistema propuesto sólo controla la adecuación de los rellenadores de argumento y no da cuenta del control de activación, es decir, no explica por qué realizamos algunas inferencias, y no otras, en cada situación determinada.

5. Control de inferencia

Un posible modo de controlar la inferencia en el sistema de Shastri y Ajjanagadde es obtener la cantidad de activación y controlarla para distinguir un nodo dominante⁹ de los demás nodos. De este modo, podemos permitir que un nodo representando una anáfora determinada se convierta en dominante cuando se active un nodo de predicado que tiene una relación cercana con él. No obstante, este método requiere muchos cambios en el modelo conexionista

⁹Es decir, aquel cuyo valor de activación es mayor que el valor de activación de los otros.

original debido a su carácter binario.

Una propuesta alternativa podría ser emplear enlaces inhibitorios para controlar el flujo de inferencia. Este método codifica meta-predicados en forma de enlaces inhibitorios sobre la red actual. Durante la inferencia, estos enlaces activan algunos nodos constante que pertenecen a un cierto tipo en la jerarquía ES-UN, mientras que deja otros inactivos de acuerdo con la relación especificada por los meta-predicados. De este modo, los enlaces inhibitorios extra basados en meta-predicados controlan el flujo de inferencia de acuerdo con la relación entre un contexto y una anáfora.

Sin embargo, podemos encontrar problemas al activar sólo un determinado tipo. En algunas situaciones los meta-predicados podrían ser inhibidos por otros mecanismos de control. En el sistema propuesto, tenemos que diferenciar el grado de activación de los personajes en un texto (y su papel en el control de la inferencia), pero también hay que ofrecer una solución al problema acerca de cuándo y cómo esta diferencia de activación puede ser modificada (esto es, un cambio de foco). Shastri piensa que es posible incorporar las reglas del cambio de foco, como un módulo adicional, a su razonador reflejo. Esto supondría emplear una pila (no muy profunda) para el foco, de tal modo que se añadiría una nueva restricción [*in-focus* (x)] durante un proceso de razonamiento. De este modo la entidad en foco ayudaría a solucionar algunos casos de anáfora y a controlar la activación de inferencia.

Sin embargo, la idea de que la inferencia supone alguna justificación semántica, como hace la Teoría del Foco, con el fin de controlar qué operaciones constituyen una inferencia correcta, resulta necesaria no sólo para poder representar conocimiento estructurado, sino también para operar sobre tales representaciones de un modo sistemático, de modo que se puedan generar dinámicamente nuevas representaciones de objetos estructurados (aprendizaje). Por otra parte, parece que los agentes cognitivos razonamos saltando pasos en la cadena de inferencia (debido a experiencias previas), acortando así la longitud de la cadena inferencial y el tiempo requerido.

6. Un modelo conexionista híbrido

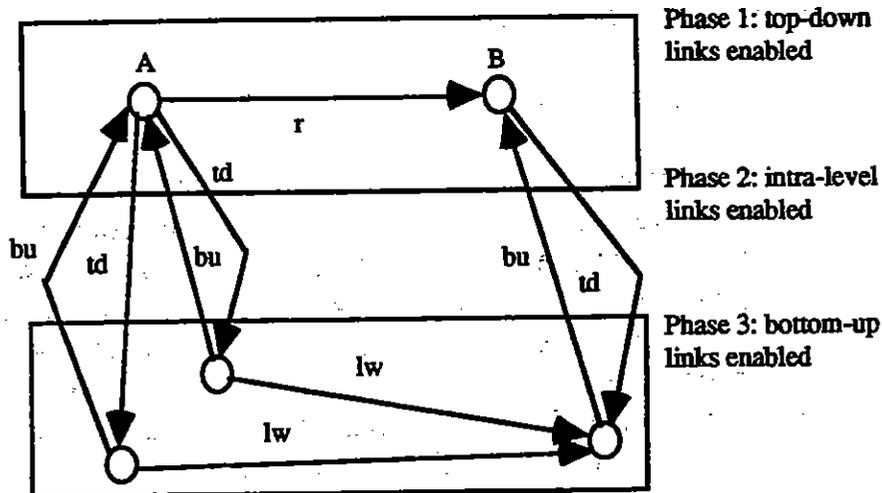
La solución basada en sincronía temporal ejecuta el ligamiento de variable por medio de una estructura de red simple, incluso aunque necesite nodos con propiedades temporales. Dado que sólo se emplea una fase de sincronización para representar cada ligamiento particular, es posible utilizar un valor numérico diferente para representar una fase (y el ligamiento), como sucede en algunas representaciones locales¹⁰. Sun (1993, 1994) piensa que con tales valores numéricos la solución requiere poco procesamiento extra en cada nodo (sin necesidad de propiedades temporales), al tiempo que mantiene una estructura

¹⁰Véase, Lange & Dyer (1989) y Sun & Waltz (1991).

de red simple.

CONSYDERR¹¹ es una arquitectura compuesta de una red localista (acíclica) jerárquica (CL) y una red distribuida (acíclica) jerárquica (CD). Las dos redes están compuestas por ensamblajes de nodos, con diferente conectividad inter-nivel, arriba-abajo y abajo-arriba, y una dinámica de interacción inter-nivel fásica, dando como resultado un ciclo de tres fases. El nivel conceptual de esta estructura contiene declaraciones de conocimiento primitivas o conceptos. Este nivel está compuesto de un conjunto de nodos o elementos de procesamiento que representan los conceptos del dominio. Para expresar declaraciones de conocimiento compuestas, o reglas, estos nodos están conectados por enlaces desde los antecedentes a los consecuentes de una regla. El nivel de micro-rasgos contiene nodos donde cada uno representa un micro-rasgo que atañe a la esfera de significado de los conceptos representados en el nivel conceptual. Por otra parte, cada nodo en el nivel conceptual está conectado a todos los nodos micro-rasgo relevantes en el nivel micro-rasgo. Una vez se activa un nodo concepto, los nodos micro-rasgo relacionados se activarán subsecuentemente a partir de la conexión inter-nivel, y viceversa. Los enlaces en el nivel conceptual están replicados difusamente en el nivel micro-rasgo por enlaces múltiples entre dos conjuntos de nodos micro-rasgo que representan, respectivamente, un antecedente y un consecuente de una regla.

Los enlaces entre nodos en CL y CD representan las medidas de fuerza de la regla (los pesos de los enlaces están definidos como las fuerzas de regla correspondientes). Las medidas de similitud, por su parte, están implementadas con representaciones CD. Sun une la red localista (CL) con esta red distribuida (CD), enlazando cada nodo que representa un concepto en CL con todos los nodos que representan el mismo concepto en CD, y asignándoles los pesos apropiados (véase la Figura 2).



¹¹Connectionist System with Dual representation for Evidential Robust Reasoning (Sun, 1994).

Figura 2: Una arquitectura a dos niveles: CL es el nivel superior y CD es el nivel inferior (Sun, 1994).

Los enlaces inter-nivel (etiquetados como *td* y *bu*) están moderados por un mecanismo de pestillo. Los enlaces de regla en CL (etiquetados como *r*) son duplicados (difusamente) en CD (etiquetados como *lw*). La interacción de los dos componentes se da en ciclos fijos: primero, el pestillo se abre para permitir que la activación de los nodos CL fluya hacia los nodos CD correspondientes. A continuación, las dos partes comienzan a ajustarse de forma simultánea e independiente. Finalmente, el pestillo se abre para permitir que la activación de los nodos en CD vuelva a CL para ser combinada con la activación de los nodos CL correspondientes.

Así pues, CD es una red conexionista con representación distribuida, que corresponde aproximadamente al razonamiento a nivel subconceptual. Los conceptos y reglas están difusamente representados por conjuntos de nodos rasgo que se solapan. La cantidad de superposición de dos conjuntos de nodos que representan dos conceptos diferentes es proporcional al grado de similaridad entre estos dos conceptos. En esta representación basada en similaridad, las unidades pueden ser rasgos, primitivos perceptuales, objetivos internos o estados afectivos. Por otro lado, los conceptos se "definen" en términos de su similaridad con otros conceptos en estas representaciones primitivas. Más adelante consideraremos también la posibilidad de representar grados de focalización.

6.1. Actuación del modelo¹²

Debido a su arquitectura masivamente paralela, el modelo es capaz de ejecutar de un modo paralelo y eficientemente razonamiento hacia-adelante simple. Los resultados serán activados siguiendo la activación de las condiciones iniciales (junto con otra información) de forma espontánea. No obstante, debe observarse que el sistema de Sun no trata la inferencia de encadenamiento hacia-atrás, ni la dirigida por objetivos, aunque Sun y Waltz (1991) admiten que pueden ser añadidos a las reglas componentes de objetivo, de modo que el razonamiento resulta ser más "dirigido por objetivos". A pesar esta limitación, el modelo permite varias extensiones estrechamente relacionadas con nuestras pretensiones. Una extensión simple puede ser la adición de un mecanismo de umbral a la interacción inter-nivel, como en el caso intra-nivel, tal que un nodo CD (o un nodo CL) se activa durante la fase arriba-abajo (o abajo-arriba) sólo si las respectivas activaciones recibidas exceden un cierto umbral. Esto sirve para convertir la interacción inter-nivel en no-lineal. Hay que destacar que la medida de similaridad empleada puede ser fácilmente generalizada añadiendo

¹²Para un análisis pormenorizado de este modelo puede verse J. Ezquerro & M. Iza (1995)

diferentes pesos, funciones, y/o, umbrales a los enlaces inter-nivel y a los nodos implicados; ésto puede ser útil para situaciones complejas que requieran medidas de similitud más complejas (por ejemplo, combinación no-lineal de rasgos). Incluso también se puede añadir un nivel intermedio de nodos ocultos (*hidden*) para ofrecer capacidades más complejas de establecimiento de correspondencias.

Otra ampliación interesante es el mecanismo para hacer intervenir el contexto, especialmente en relaciones sensibles al contexto que implican reglas y similitudes (*cfr.*, Collins y Michalsky, 1989). El mecanismo en CONSYDERR (Sun, 1994) es una red *feed-forward* que toma los contextos actuales (p. e., una pregunta) como *input*, y produce dos tipos de señales para modular los nodos rasgo: **habilitar** y **no-habilitar**. Los nodos rasgo no-habilitados tendrán activaciones iguales a 0 y, por tanto, no participarán en el emparejamiento de similitud. La no-habilitación real ocurre en los enlaces inter-nivel que conectan estos nodos rasgo con sus nodos concepto correspondientes ajustando así en conformidad los pesos inter-nivel. De este modo, las medidas de similitud tienen en cuenta el contexto y producen resultados más exactos (véase la Figura 3). De acuerdo con Sun, esta red puede estructurarse de un modo similar a CL; es decir, cada enlace puede representar algunas reglas de contexto para decidir si un rasgo es o no relevante en un contexto determinado. De cualquier modo, también se permiten estructuras más complejas tales como las redes de retropropagación.

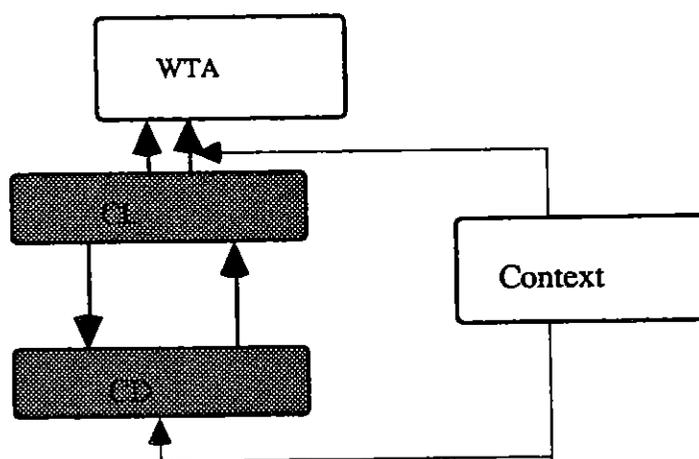


Figura 3: La arquitectura con selecciones de rasgo y de resultado (Sun, 1994)

Como problemas abiertos quedan el aprendizaje de reglas de contexto, la estructuración jerárquica de contexto y las interacciones más elaboradas entre contexto y razonamiento. Todas ellas han de ser realizadas dentro de

restricciones de tiempo y espacio razonables (Sun, 1994). Como hemos argumentado previamente, un primer paso en esta dirección sería considerar este contexto como el mecanismo del cambio de foco. Karen (1992) propone un modelo recurrente distribuido para tratar con el mecanismo del cambio de foco. Esta red (basada en el trabajo de Elman (1988) y Jordan (1986)) pretende manejar fenómenos controlados localmente donde rasgos superficiales e información semántica mínima actúan juntos restringiendo la selección de entidades tópicos. Aunque no pretende tratar otros procesos controlados por la estructura del discurso a un nivel más global, ni utiliza conocimiento general como fuente de información, su interacción con CONSYDERR podría explicar cómo la diferente activación de entidades (enfocadas) afecta a la realización de razonamiento. Es decir, podría explicar cómo afecta al control de la inferencia durante la resolución de anáfora. Por ejemplo, al caso de si tipos complejos de conocimiento causal podrían resultar de ciertas relaciones "enfanzadas de algún modo". Sin embargo, también hemos de tener en cuenta el papel que el tópico del discurso desempeña en la inferencia durante el procesamiento del discurso.

7. Una propuesta de arquitectura

Las ideas general acerca de la comprensión del discurso presuponen coherencia, por ejemplo, entre roles y rellenos, e incrementalidad, es decir, que una representación contextualmente significativa se construye rápida y continuamente durante el proceso de construcción. Dado que muchos aspectos de la situación son representados durante la comprensión del discurso, existe la posibilidad de una inferencia para enlazar lo que se está interpretando en cada momento con el modelo mental del discurso.

Como hemos visto anteriormente, un sistema conexionista puede dar cuenta de estos procesos inferenciales durante la construcción del modelo mental de un texto. En particular, CONSYDERR posee algunas capacidades interesantes para la realización de razonamiento durante el procesamiento de textos, especialmente en relación con las inferencias hacia-adelante. El sistema utiliza reglas cuando las condiciones se mencionan y manipulan explícitamente, y utiliza el emparejamiento de similaridad cuando sucede que ninguna de las condiciones relevantes se menciona explícitamente (sugiriendo un proceso holístico). También hemos visto que este sistema puede ser ampliado añadiendo un módulo contextual o atencional, implementado en una red de retropropagación, que podría intervenir tanto en el proceso de construcción como en el de integración durante la comprensión.

Durante el proceso de razonamiento, el sistema supone la producción de un gran número de hechos dinámicos, como resultados intermedios, que estarían representados en la memoria de trabajo. No obstante, estos hechos son relevantes sólo potencialmente, y permanecerán ocultos, o decaerán rápidamente, a menos que resulten ser relevantes para responder alguna

"pregunta", o para ofrecer una explicación. En este sentido, hemos señalado que sólo un pequeño número de hechos/entidades en la memoria de trabajo sería relevante durante el procesamiento de textos debido a que reciben un foco atencional.

Dentro de tal módulo contextual tienen que ser codificados los posibles enlaces contextuales entre las proposiciones y su grado de coherencia dentro del discurso. Como sucede en el modelo CI, éste jugaría un papel durante los procesos de construcción así como durante los procesos de integración. Tal módulo es necesario para construir contextualmente inferencias (es decir, el control de activación), y también para integrar las conclusiones extraídas en el proceso de inferencia (es decir, la inhibición del conocimiento activado que resulta contextualmente irrelevante).

Un problema interesante es cómo los dos módulos podrían aprender a controlar inferencias a través de las interconexiones entre el razonador (conexiones inter-nivel) y el módulo contextual. De este modo podrían ser simuladas con esta arquitectura compuesta algunos casos de inferencias elaborativas, tales como las inferencias conceptuales, predictivas y contextuales. Es más, los procesos incompletos en inferencia elaborativa dependerían de su representación distribuida. Por ello es necesario considerar cuándo se activarían las inferencias elaborativas y qué tipo de inferencias serían plausibles en un momento dado. Estos dos rasgos parecen estar relacionados íntimamente con el contexto actual.

El modelo de contexto que queremos desarrollar no sólo concierne a la aplicación del contexto para restringir la recuperación de memoria al solucionar problemas de interpretación. También debería suministrar un mecanismo computacional para acumular y combinar gradualmente la influencia de diferentes tipos de información que contribuyen al contexto (tales como recencia de mención, área del tema y marcadores sintácticos de foco) según va progresando el procesamiento de un texto. Es decir, aprendizaje de reglas de contexto, estructuración jerárquica de contextos e interacción más elaborada entre contextos y razonamiento.

En resumen, al proponer la interacción entre diferentes módulos conexionistas, estamos sugiriendo una arquitectura conexionista para la comprensión. En concreto, estamos sugiriendo cómo un módulo contextual podría llegar a unir un mecanismo perceptual (un *parser* conexionista) y el mecanismo razonador. Un posible candidato para encarnar este módulo contextual es una red recurrente (véase Jordan, 1992; Jordan y Rumelhart, 1992). La razón es que tal red es capaz de mantener dependencias temporales y contextuales. Específicamente, consideramos el uso de cadenas paralelas, que puedan modelar conjuntos de rasgos con diferentes escalas de tiempo, y redes que puedan modelar dependencias a largo plazo entre estados ocultos (*hidden*).

8.- Conclusión

Con la ayuda de un mecanismo adicional, tal como un foco, es posible diseñar un sistema de razonamiento que capaz de (i) representar la información entrante y hacer predicciones basadas en esta información utilizando su conocimiento a largo plazo, y de (ii) generar explicaciones, comprobando la consistencia, de la información entrante con referencia a su conocimiento a largo plazo.

Tal arquitectura debe tener en cuenta, por un lado, la evidencia de procesos incompletos durante la realización de tareas cognitivas como comprensión, aprendizaje y razonamiento, implicando un sistema de capacidad limitada para el mantenimiento y manipulación temporal de información (Baddeley, 1986; Sanford, 1990); por otro lado, un modo posible de reducir la explosión de inferencias dentro de esta memoria de trabajo, al menos para algunas tareas, puede obtenerse permitiendo que el foco atencional restrinja la inferencia, ofreciendo así un sistema con conocimiento de forma más estructurado. Sin embargo, el modelo propuesto por Sun (1994) no trata con la inferencia hacia-atrás. Por esa razón, un problema no solucionado es cómo decidir entre realizar una inferencia hacia-adelante o hacia-atrás durante la lectura, por ejemplo, si el módulo contexto podría seleccionar el tipo de razonamiento que debe realizarse en una situación determinada. Esta cuestión no ha sido tratada seriamente de momento y está claro que necesitaremos combinar ambos tipos de razonamiento. En cualquier caso, la solución propuesta por Ajjanagadde (1994) intenta dar un paso en tal dirección.

Referencias

- Ajjanagadde, V. (1994) Unclear Distinctions lead to Unnecessary Shortcomings: Examining the rule vs fact, role vs filler, and type vs predicate distinctions from a connectionist representation and reasoning perspective. En *Proceedings of the AAAI-94*.
- Baddeley, A. (1986) *Working Memory*, London: Oxford University Press, Oxford Psychology Series. No. 11.
- Collins, A., y Michalsky (1989) The Logic of Plausible Reasoning: A Core Theory, *Cognitive Science* 13, 1-49.
- Dolan, C.P., y Dyer, M.G. (1988) Parallel Retrieval and Application of Conceptual Knowledge, CSD-880010, Computer Science Department, UCLA.
- Elman, J.L. (1988) Finding structure in time, CRL Technical Report 8801, Center for Research in Language, University of California, San Diego.
- Ezquerro, J. (1995) Teorías de la arquitectura de lo mental, en F. Broncano (Ed.) *La mente humana*, Madrid: Trotta, pp. 97-150.
- Ezquerro, J. & Iza, M. (1993) Reflexive Reasoning, Focus Theory and Anaphora Resolution, Logic Seminar Report LPHS-EHU-02.3, Departamento de

- Lógica y Filosofía de la Ciencia, UPV/EHU.
- Ezquerro, J. & Iza, M. (199_) Knowledge Representation, Reflexive Reasoning And Discourse Processing, *THEORIA* (en prensa).
- Ezquerro, J. & Iza, M. (1995) A hybrid architecture for text comprehension. Elaborative inferences and attentional focus, *Pragmatics & Cognition*, Vol. 3(2), pp. 245-177.
- Feldman, J.A. (1989). Neural Representation of Conceptual Knowledge. En L. Nadel, L.A. Cooper, P. Cullicover y R.M. Harnish (Eds.) *Neural Conections, Mental Computation*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Feldman, J.A., y, Ballard, D.H. (1982) Connectionist Models and Their Properties, *Cognitive Science* 6, No. 3, 205-254.
- Garnham, A. (1985) *Psycholinguistics. Central Topics*, Cambridge: University Press.
- Garnham, A., y, Oakhill, J. (1992) Discourse processing and text representation from a "Mental Models" perspective, *Language and Cognitive Processes* 7(3/4), 193-204.
- Garrod, S., O'Brien, E.J., Morris, R.K., y, Rayner, K. (1990) Elaborative Inferencing as an Active or Passive Process, *J.E.P.: Learning, Memory and Cognition* 16, No. 2, 250-257.
- Garrod, S., y, Sanford, A.J. (1990) Referential processes in reading: Focusing on roles and individuals. En D.A. Balota, G.B. Flores d'Arcais y K. Rayner (Eds.) *Comprehension Processes in Reading*, pp. 465-486, Hillsdale, NJ: LEA.
- Grosz, B. (1986) A theory of discourse structure. En *Proceedings of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp. 432-441.
- Jordan, M.L. (1986). Serial order: A parallel distributed processing approach, *ICS Report 8604*, Institute for Cognitive Science, UCLA.
- Jordan, M.L. (1992) Constrained Supervised Learning, *Journal of Mathematical Psychology* 36, 396-425.
- Jordan, M.L., y, Rumelhart, D.E. (1992) Forward Models: Supervised Learning with a Distal Teacher, *Cognitive Science* 16, 307-354.
- Karen, L.F. (1992) Identification of topical entities in discourse: a connectionist approach to attentional mechanisms in language. En N. Sharkey (Ed.) *Connectionist Natural Language Processing*. Reading from Connection Science, Chapter 13, Oxford: Intellect.
- Kintsch, W. (1992) A cognitive architecture for comprehension. En H.L. Pick, P. van den Broek y D.C. Knill (Eds.) *Cognition: conceptual and methodological issues*, Chapter 6, American Psychological Association: Washington.
- Lange, T., y, Dyer, M.G. (1989) Frame selection in a connectionist model of high-level inferencing, *Technical Report UCLA-AI-89-05*, Computer Science Department, UCLA.

- Mani, D.R., y Shastri, L. (1991) Combining a connectionist type hierarchy with a connectionist rule-based reasoner. *Proceedings of the Thirteenth Conference of the Cognitive Society*, NJ: LEA
- McKoon, G., y Ratcliff, R. (1986) Inferences about predictable events, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 12, 82-91.
- McKoon, G., y Ratcliff, R. (1989) Semantic Associations and Elaborative Inference, *JEP: Learning, Memory and Cognition* 15, No. 2, 326-338.
- McKoon, G., y Ratcliff, R. (1992) Inference during reading, *Psychological Review* 99, 440-466.
- Sanford, A.J. (1990) On the nature of text driven inference. En D.A. Balota, G.B. Flores D'Arcais y K. Rayner (Eds.) *Comprehension Processes and Reading*, pp. 515-533, Hillsdale, NJ: LEA.
- Schank, R.C. (1982) *Dynamic memory*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Shastri, L. (1990) Connectionism and the computational effectiveness of reasoning, *Theoretical Linguistics* 16 (1), 65-87.
- Shastri, L., y Ajjanagadde, V. (1990) From simple associations to systematic reasoning: A connectionist representation of rules, variables and dynamic bindings, *Tech. Report MS-CIS-90-05*, University of Pennsylvania.
- Shastri, L., y Ajjanagadde, V. (1992) From simple associations to systematic reasoning: A connectionist representation of rules, variables and dynamic bindings using temporal synchrony, *Revised Technical Report MS-CIS-90-05*, University of Pennsylvania.
- Shastri, L., y Ajjanagadde, V. (1993) From simple associations to systematic reasoning: A connectionist representation of rules, variables, and dynamic bindings using temporal synchrony, *Behavioral and Brain Sciences* 16 (4).
- Smolenski, P. (1987) On variable binding and the representation of symbolic structures in connectionist systems, *Technical Report CU-CS-355-87*, Dept of Computer Science and Institute of Cognitive Science, University of Colorado, Boulder, CO.
- Stevenson, R. (1993) *Language, Thought and Representation*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Sun, R. (1993) Beyond Associative memories: Logics and Variables in Connectionist Models, *Information Sciences* 70, 49-73.
- Sun, R. (1994) *Integrating Rules and Connectionism for Robust Commonsense Reasoning*, New York: John Wiley.
- Sun, R., y Waltz, D. (1991) A neurally inspired massively parallel model of rule-based reasoning. En B. Soucek and the IRIS Group (Eds.) *Neural and Intelligent Systems Integration*, Chapter 14, pp. 341-381, New York: Wiley.

- Touretzky, D.S., y Hinton, G.E. (1988) A distributed connectionist production system, *Cognitive Science* 12, 423-466.
- von der Malsburg, C. (1986) Am I thinking assemblies? En G. Palm and A. Aertsen (Eds.) *Brain Theory*, Springer-Verlag.