

La organización anatómica del cerebro bilingüe: datos existentes y nueva evidencia a favor del modelo declarativo/procedural

Adolfo M. García

Universidad Nacional de Córdoba
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Resumen

El modelo declarativo/procedural (DP) propone que la información lingüística aprendida explícitamente se representa de modo crucial en regiones cerebrales propias del sistema de memoria declarativa, mientras que las representaciones adquiridas implícitamente se encarnan en sustratos del sistema de memoria procedural. El modelo ha sido aplicado exitosamente a la caracterización del sistema bilingüe, pero se requiere de un corpus empírico más amplio para robustecer sus hipótesis centrales, referidas a los subsistemas léxicos, semánticos y gramaticales de la L1 y la L2. En este sentido, la presente revisión persigue dos objetivos: (i) introducir el modelo DP del bilingüismo y sintetizar la evidencia existente que confirma sus hipótesis originales; y (ii) presentar nueva evidencia confirmatoria, proveniente de casos de afasia y de trastornos neurodegenerativos.

Palabras clave: modelo declarativo/procedural – bilingüismo – afasia - trastornos neurodegenerativos

Abstract

The declarative/procedural (DP) model posits that linguistic information learned explicitly is mainly represented in brain regions implicated in declarative memory, whereas representations acquired implicitly are subserved by substrates involved in procedural memory. The model successfully accounts for the organization of the bilingual brain, but its main hypotheses –related to the lexical, semantic, and grammatical subsystems of L1 and L2– require further empirical confirmation to gain robustness. In this sense, the present review paper seeks to: (i) introduce the DP model of bilingualism and summarize the existing evidence confirming its original hypotheses, and (ii) offer new confirmatory evidence from cases of aphasia and neurodegenerative disease.

Correspondencia con los autores: adolfofomartingarcia@gmail.com

Artículo recibido: 18 de marzo de 2012

Artículo aceptado: 3 de abril de 2012

Key words: declarative/procedural model – bilingualism – aphasia - neurodegenerative disease

1. Introducción

Estudiar cómo se organiza el sistema lingüístico en el cerebro bilingüe no puede considerarse una ocupación menor dentro de la neurolingüística. Grosjean (1994) estima que, en la actualidad, cerca del 50% del planeta sería bilingüe, mientras que Walraff (2000) calcula que el bilingüismo sería atributo de dos tercios de la población mundial. Si tomamos la prevalencia de un fenómeno como criterio para decidir qué tan justificado se revela su estudio, la investigación del cerebro bilingüe amerita por lo menos tanta atención como la del cerebro monolingüe.

El término “bilingüe” ha sido definido de diversas maneras en distintas épocas y desde diferentes marcos teóricos. En el campo de la neurolingüística se suele aceptar una definición muy general y abarcativa: se denomina *bilingüe* a cualquier persona que usa dos lenguas distintas en su vida cotidiana (Grosjean 1994) y que posee la capacidad de expresarse voluntariamente en una u otra lengua según las circunstancias (Paradis 1984). Una ventaja de las definiciones referidas es que son lo suficientemente amplias como para abarcar diversos tipos de bilingües, más allá de cómo, cuándo y en qué medida han incorporado una segunda lengua (L2) a su sistema lingüístico, que necesariamente incluye una lengua materna (L1). El “cómo” se refiere al modo de apropiación de la L2, es decir, adquisición implícita o aprendizaje metalingüístico; el “cuándo” se entiende como el momento en que comenzó el proceso sostenido de apropiación; al preguntarnos “en qué medida” se ha apropiado una L2, en cambio, lo que nos ocupa es determinar el nivel de competencia o conocimiento relativos en dicha lengua.

Hay dos formas principales de *apropiación* de información lingüística que rigen la construcción del sistema bilingüe (Paradis 2004, 2009). Por un lado, el *aprendizaje* consiste en la apropiación consciente de propiedades sensibles de los estímulos y su resultado es el conocimiento metalingüístico explícito, que el sujeto puede usar a voluntad y de modo controlado. Así, se postula que el aprendizaje es una función de la memoria declarativa. Por otro lado, la *adquisición* es la apropiación inconsciente o incidental de las estructuras abstractas subyacentes a la materialidad de los estímulos. Su resultado es la competencia implícita, que se usa de modo automático y presenta una variabilidad casi nula. La adquisición, entonces, se postula como una función de la memoria procedural (ver punto 3).

Mediante la presente revisión de la literatura se pretende caracterizar la organización neurocognitiva del sistema bilingüe en virtud de evidencia clínica y de neuroimágenes. En primer término, se discutirán dos puntos fundamentales para toda teoría neurolingüística del bilingüismo: la lateralización de la L1 y la L2 y la diferencia entre los bilingües tempranos y tardíos. Luego, en consonancia con el modelo declarativo/procedural (DP), se defenderán dos hipótesis generales. Por un

lado, se buscará demostrar que todo el sistema lingüístico del bilingüe se representa críticamente en el hemisferio izquierdo, más allá del modo, el momento y el grado de apropiación de la L2. Por el otro, se presentará evidencia que corrobora que dichas variables inciden sobre las regiones macroanatómicas encargadas de la representación de subsistemas específicos de la L1 y la L2. Para ello, se ofrecerá una revisión de la literatura que contempla varios casos no considerados en las formulaciones originales del modelo DP. Entre ellos se destacan los estudios sobre trastornos neurodegenerativos en bilingües. En definitiva, esta revisión ofrece una perspectiva global y actualizada sobre la organización macroanatómica del cerebro bilingüe.

2. Lateralización de la L1 y la L2

Que el sistema lingüístico del monolingüe se representa asimétricamente en el hemisferio izquierdo es un hecho indiscutido en las neurociencias (Hécaen y Albert 1978; Springer, Binder, Hammeke, Swanson, Frost, Bellgowan, Brewer, Perry, Morris, y Mueller 1999). Los subsistemas fonológicos y grafémicos, así como el léxico, el morfológico y el sintáctico, tienen su base neurológica en el hemisferio izquierdo y no en el derecho. Por añadidura, las áreas cerebrales de los sistemas de memoria declarativa y procedural involucradas en la representación y el procesamiento lingüísticos en el sistema monolingüe también están fuertemente lateralizadas en dicho hemisferio –si bien las representaciones semánticas presentan una distribución bilateral (Ullman 2001a, 2004; Fabbro 2001; Fabbro, Pesenti, Facoetti, Bonanomi, Libera y Lorusso 2001) (ver punto 3). Podemos entonces concluir que (i) el hemisferio izquierdo se especializa para la adquisición de lenguas durante la infancia y que (ii) cuando un individuo aprende una lengua tardíamente su hemisferio izquierdo ya está especializado para la apropiación de representaciones lingüísticas, mientras que el derecho no.

Sería de esperar que una L2, más allá de cómo y cuándo se la apropie, también estuviera representada en las áreas especializadas para el lenguaje del hemisferio izquierdo. Los mecanismos cerebrales que procesan información lingüística ya están ahí y las representaciones lingüísticas de una L2 son cualitativa y funcionalmente mucho más similares a las representaciones lingüísticas de la L1 que a otros tipos de representaciones cognitivas (e.g. las visuoespaciales que están lateralizadas hacia la derecha). Estas expectativas se ven confirmadas por la evidencia clínica.

Rapport, Tanny y Whitaker (1983) estudiaron una población de políglotas afásicos diestros para determinar qué efectos tiene la aplicación de amital sódico en uno u otro hemisferio. Los investigadores demostraron que la aplicación del compuesto en el hemisferio derecho no afectaba de modo alguno la capacidad de los pacientes de nombrar imágenes en cualquiera de sus lenguas, mientras que dicha habilidad se veía severamente afectada al inyectarse el hemisferio izquierdo.

Por su parte, Trudeau, Colozzo, Sylvestre y Ska (2003) documentan el caso de MM, una joven de 17 años, hablante de inglés y francés, a la que debió practicársele

una hemisferectomía funcional izquierda. Luego de la operación, la paciente presentó déficits en todas las áreas estudiadas en ambas lenguas (diferentes tareas de lectura, escritura, expresión y comprensión), tanto en la modalidad oral como escrita, con una ligera ventaja del inglés en ciertas tareas. La hemisferectomía incapacitó el sistema bilingüe de MM en su conjunto, lo cual no debería ser el caso si las segundas lenguas tuvieran una mayor representación en el hemisferio derecho, que se mantuvo intacto.²

Otro investigador que aporta evidencia contundente en este sentido es Fabbro (1999), cuyo análisis de 88 casos de afasia en sujetos bilingües diestros reveló que sólo un 8% de los pacientes presentaban lesiones en el hemisferio derecho. La conclusión de Fabbro es que la prevalencia de casos de afasia como resultado de lesiones en el hemisferio derecho no es mayor en los bilingües que en los monolingües. También debemos tener en cuenta que es posible que los casos de lateralización derecha estén sobrerrepresentados en la literatura, puesto que su carácter atípico los hace mucho más susceptibles de publicación.

A pesar de toda esta evidencia rotunda que indica que una L2 está tan lateralizada hacia el hemisferio izquierdo como una L1, existen múltiples estudios que supuestamente demuestran que las segundas lenguas tienen una representación hemisférica menos asimétrica que las lenguas maternas (e.g., Wuillemin, Richardson, y Lynch 1994; Neville, Coffey, Lawson, Fischer, Emmorey y Bellugi 1997; Vaid y Hull 2002; Hull y Vaid 2007). Sin embargo, estos estudios se revelan poco confiables e incluso inválidos cuando se inspeccionan sus premisas metodológicas.

La mayoría de los estudios en cuestión consisten en experimentos conductuales basados en tareas con palabras aisladas, fuera de contexto. Los más comunes son los estudios taquistoscópicos y los tests de escucha dicótica. En los primeros, se presentan palabras aisladas diferentes simultáneamente en ambos campos visuales; en los segundos, se emiten palabras aisladas (o incluso sílabas aisladas) diferentes al mismo tiempo a uno y otro oído. Como la percepción visual y la auditiva están contralateralizadas, de modo que lo que percibe el ojo o el oído izquierdos es procesado primero por el hemisferio derecho y viceversa, se asume que si los estímulos presentados ante ellos son percibidos en mayor cantidad que los que se presentan simultáneamente a su contraparte derecha habría una indicación de que el hemisferio opuesto tendría una ventaja para el procesamiento lingüístico.

Como bien advierte Paradis (1992, 1995, 2003), las conclusiones arrojadas por estudios de esta índole no son válidas. En primer lugar, se sabe que diferentes índices de lateralidad pueden arrojar diferentes interpretaciones de los mismos datos. En segundo lugar, todas estas medidas poseen una bajísima confiabilidad al repetirse las pruebas, pues los resultados varían considerablemente de una instancia a la otra, incluso con un mismo sujeto. En tercer lugar, los efectos de lateralización que

²Un dato clínico interesante es que, luego del procedimiento, el hemisferio derecho de MM logró encargarse de algunas funciones lingüísticas (si más no hayan sido sólo unas pocas). Esto de ningún modo contradice la especialización del hemisferio izquierdo para la representación y el procesamiento lingüístico, sino que simplemente da testimonio de la gran plasticidad del cerebro.

supuestamente miden estos tests pueden manipularse mediante la variación de la frecuencia de las pruebas relativa al número de estímulos usados. Además, los resultados que arrojan los diferentes experimentos realizados mediante estas técnicas son altamente contradictorios. En la mitad se concluye que hay diferencias de lateralización y en la otra mitad se concluye que no las hay (Paradis 2003).

Ni los estudios conductuales ni aquellos basados en neuroimágenes de sujetos sanos que supuestamente demuestran una mayor representación del sistema bilingüe en el hemisferio derecho son consistentes con la robusta evidencia ofrecida por pacientes con lesiones cerebrales. Generalmente, en los casos de afasia bilingüe las funciones procesadas por el hemisferio derecho, como la prosodia, la mímica y la capacidad de realizar inferencias, no se ven afectadas. Por añadidura, si el sistema lingüístico de hecho estuviera menos lateralizado en los bilingües, entonces debería haber una mayor incidencia de afasia cruzada³ en esta población; pero ése no es el caso. Por último, Paradis (1992, 1995, 2003, 2009) explica que si en algunos casos efectivamente el procesamiento de una segunda lengua genera mayores activaciones en el hemisferio derecho, no es porque la misma esté representada allí, sino porque los bilingües tardíos y/o con bajos niveles de conocimiento de su L2 compensan sus deficiencias recurriendo a procesos discursivos y o pragmáticos, que sí se procesan en el hemisferio derecho (cf. Beeman 1998), o porque las tareas artificiales requeridas en los experimentos involucran funciones cognitivas lateralizadas hacia la derecha, como la inferencia y la regulación de la atención (Paradis 2009; Opitz y Friederici 2003). En definitiva, parece ser que el sistema bilingüe se representa tan asimétricamente en el hemisferio izquierdo como el sistema monolingüe.

3. El sistema bilingüe en relación con los sistemas de memoria declarativa y procedural

El modelo DP parte de la evidencia disponible en torno a dos sistemas de memoria claramente disociados a nivel cerebral, el declarativo y el procedural, y luego demuestra la existencia de correlatos funcionales que cada uno de ellos guarda con determinados subsistemas lingüísticos.

3.1. Memoria declarativa y memoria procedural

Según Eichenbaum y Cohen (2001), el sistema de memoria declarativa se encarga del aprendizaje, la representación y el uso de conocimientos sobre experiencias personales (conocimiento episódico) y hechos generales del mundo (conocimiento semántico). Este sistema permite incorporar información relacionada arbitrariamente de forma muy rápida, a veces mediante una única exposición a determinado estímulo.

³Se habla de afasia cruzada cuando una lesión en el hemisferio derecho produce afasia en un individuo diestro. Los casos de afasia cruzada son marcadamente minoritarios.

La información adquirida por el sistema declarativo es, en gran parte, accesible a la consciencia, o sea que puede recuperarse de manera explícita.

La memoria declarativa se encarna principalmente en el lóbulo temporal medio y otras estructuras subcorticales, como las regiones hipocampal y parahipocampal, la corteza entorrinal y la corteza perirrinal (Squire y Knowlton 2000). Si bien tales áreas son las más cruciales para la memoria declarativa, ésta también depende de diversas áreas prefrontales. El vasto sistema medial-temporal permite construir, consolidar y acceder a nuevos recuerdos. Con la activación repetida a lo largo del tiempo, dicha información deviene dependiente de regiones temporales neocorticales y ya no es procesada por el lóbulo temporal medio y demás estructuras subcorticales (Squire, Clark y Knowlton 2001). Cabe destacar que hay evidencia de que diferentes regiones de los lóbulos temporales se especializan en la representación de formas específicas de conocimiento (Martin, Ungerleider y Haxby 2000). Todas las representaciones perceptuales de entidades externas (e.g., objetos) y sus relaciones son construidas en este sistema. Además, se cree que la memoria declarativa se encarga de la asociación de representaciones diversas almacenadas en regiones corticales, lo que posibilita la evocación conjunta de un recuerdo multimodal completo (Álvarez y Squire 1994).

Por otro lado, la memoria procedural es la responsable de la adquisición, la representación y el uso de nuevas habilidades y hábitos sensorial-motores y cognitivos, además de encargarse de su control una vez establecidas (Eichenbaum y Cohen 2001). A diferencia de la memoria declarativa, la construcción de representaciones en este sistema es gradual y requiere necesariamente de múltiples contactos con el estímulo en cuestión. La información procesada por este sistema es de naturaleza implícita, en tanto no suele ser accesible a la consciencia. En términos generales, la memoria procedural se ocupa de construir relaciones sistemáticas y predecibles entre estímulos y respuestas dentro de un contexto determinado (Packard y Knowlton 2002). Posibilita, entre otras cosas, la representación de secuencias seriales o abstractas (e.g., el conjunto de movimientos que se realizan al efectuar un lanzamiento de baloncesto) y su uso es automático o no deliberado.

Los sustratos del sistema de memoria procedural incluyen crucialmente varios circuitos frontales y de los ganglios basales, además de ciertas porciones del lóbulo parietal, la circunvolución temporal superior y el cerebelo (Rizzolatti, Fogassi y Gallese 2000). También se incluyen en este sistema la región premotora y el área de Broca, ambas implicadas en el aprendizaje de secuencias motoras con estructura jerárquica. Dentro de los ganglios basales, algunas de las estructuras más importantes para este sistema son el neostriado (putamen y núcleo caudado), el globo pálido y la sustancia negra. Estas estructuras subcorticales han sido correlacionadas con varias funciones cognitivas, como las competencias implícitas en general, el aprendizaje mediante condicionamiento clásico, la adquisición probabilística de reglas abstractas, la adquisición de secuencias, la planificación y coordinación motoras en tiempo real y la selección de representaciones basada en reglas y determinada por contexto (Ullman 2004). Hay evidencia que demuestra que diferentes partes del circuito de los ganglios basales cumplen funciones específicas.

Los ganglios basales reciben conexiones provenientes del lóbulo temporal medio (Middleton y Strick 2000). Tales conexiones permiten interacciones directas entre ambos sistemas. En particular, posibilitan que el sistema de memoria procedural escoja y secuencie representaciones establecidas en la memoria declarativa. Una de las estructuras que se encarga de la búsqueda y el acceso a la información almacenada en los circuitos del sistema declarativo es el cerebelo (Desmond y Fiez 1998).

Ambos sistemas interactúan de dos maneras principales. Por un lado, cooperan en tareas de apropiación de información sostenidas en el tiempo, ya que el sistema procedural adquiere información gradualmente en base a los mismos estímulos sobre los cuales el sistema declarativo incorpora información rápidamente (por supuesto, la manera en que cada sistema construye y procesa la información que les compete es diferente). Por otro lado, ambos sistemas compiten entre sí, ya que el aprendizaje exitoso en el primero obstruye la adquisición efectiva en el segundo y viceversa. Del mismo modo, cuando uno se torna disfuncional, el otro aumenta sus capacidades (Packard y Knowlton 2002). Por último, existen experimentos de neuroimágenes que demuestran que, con el tiempo y la exposición o la práctica, las funciones construidas originalmente de modo declarativo pasan a procesarse en el sistema procedural y ya no en el otro. En particular, durante las etapas tempranas del aprendizaje se registran mayores patrones de activación en las estructuras del lóbulo temporal medio y bajos niveles de actividad en los ganglios basales y la corteza frontal. Sin embargo, a medida que las habilidades en la ejecución de determinada función se robustecen, las estructuras medias temporales tienden a desactivarse mientras que ciertas porciones de los ganglios basales (en especial, el núcleo caudado) presentan grados crecientes de activación (Poldrack, Clark, Pare-Blagoev, Shohamy, Moyano, Myers y Gluck 2001). En pocas palabras, cuanto más depende una función del sistema procedural, menos depende del declarativo.

3.2. Datos existentes y nueva evidencia a favor del modelo declarativo/procedural

El modelo declarativo/procedural (DP), desarrollado principalmente por Ullman (2001a, 2004), asume que el sistema monolingüe presenta una marcada diferenciación neural entre (i) el léxico y la semántica, asociados principalmente a estructuras temporales mediales y zonas neocorticales temporales y temporo-parietales propias de la memoria declarativa; y (ii) la morfología, la sintaxis y la producción fonológica, vinculadas a estructuras frontobasales y al cerebelo, involucradas crucialmente en el sistema de memoria procedural.

En el caso del sistema bilingüe, la correlación entre modo y edad de apropiación, por un lado, y sistemas de memoria implicados, por el otro, implica una serie de predicciones respecto de qué áreas anatómicas se encargarán de la representación y el procesamiento de los distintos subsistemas del bilingüe temprano y del bilingüe tardío. En este sentido, el modelo DP ha sido extendido al estudio del sistema

bilingüe en los trabajos de Paradis (1994, 2004, 2009) y Ullman (2001a, 2001b, 2005), quienes, a su vez, influenciaron a otros investigadores, como Fabbro (2001).⁴

De modo general, del modelo DP se derivan dos series de predicciones en torno al bilingüismo. Por un lado, en lo que compete a los bilingües tempranos y a los bilingües tardíos con alto nivel de competencia (automatización) en L2, el modelo predice que las lesiones focalizadas en regiones frontales neocorticales y/o en los ganglios basales provocarán déficits gramaticales en ambas lenguas, mientras que el conocimiento léxico y semántico se mantendrá prácticamente intacto. En cambio, en esta misma población, se esperaría que una lesión focalizada en áreas temporales y tèmpero-parietales de la neocorteza y/o el lóbulo temporal medio produjera marcadas disfunciones léxicas y semánticas en ambas lenguas, pero sin afectar la gramática de ninguna de ellas.

Por otro lado, en el caso de los bilingües tardíos que no han automatizado la gramática de su L2, el modelo predice que una lesión focalizada en regiones frontales neocorticales y/o en los ganglios basales afectará selectivamente la competencia gramatical del sujeto en L1, sin perturbar la gramática de la L2 ni el conocimiento léxico y semántico en ambas lenguas. Por el contrario, si estos mismos bilingües tardíos presentaran lesiones focalizadas en áreas temporales y tèmpero-parietales de la neocorteza y/o el lóbulo temporal medio, se deberían observar déficits léxicos y semánticos en ambas lenguas y disfunciones gramaticales sólo en la L2 (representada metalingüísticamente), mientras que la gramática de la L1 debería mantenerse relativamente intacta.

Del mismo modo, el modelo predice que, en estudios de neuroimágenes, el procesamiento gramatical en L1 debería activar zonas frontobasales en todo tipo de bilingüe, mientras que el procesamiento gramatical en L2 debería generar mayor activación frontobasal sólo en los bilingües tempranos y los tardíos con alto nivel de

⁴ Cabe destacar que hay algunas diferencias entre las propuestas de Paradis y Ullman. Por ejemplo, Paradis (2004, 2009) establece una distinción entre 'léxico' y 'vocabulario' que Ullman no adopta en su modelo. Para Ullman (2005: 162. Traducción del autor. Énfasis en el original), "*todo* conocimiento léxico reside en la memoria declarativa (se trate o no de conocimiento accesible a la consciencia)". Además, la propuesta de Ullman hace más hincapié en el rol de estructuras neocorticales para la representación y el procesamiento de funciones declarativas. Por añadidura, Ullman incorpora datos provenientes del estudio de los sistemas hormonales, en tanto que Paradis sólo considera esta evidencia de modo tangencial, mediante referencias al trabajo de Ullman (Paradis, 2009). No obstante, ambos modelos son absolutamente compatibles. Los contrastes advertidos son diferencias de terminología y de énfasis neuroanatómico. Si bien esos detalles permiten distinguir a un modelo del otro, no debe interpretárselos como signos de incompatibilidad. Por el contrario, las propuestas de ambos autores avanzan conjuntamente en la misma dirección. Paradis se concentra más en el rol de los distintos modos de apropiación y su interacción, mientras que Ullman se apoya más fuertemente en aspectos neuroanatómicos, neurofisiológicos, celulares, endócrinos y aun farmacológicos. En palabras del propio Paradis (2009: 13. Traducción del autor), "[p]uede que nos focalicemos en diferentes aspectos del mismo fenómeno, pero mi perspectiva es compatible con todo lo que Ullman ha propuesto (y viceversa)". Así, a menos que se aclare lo contrario, toda referencia al modelo DP presume que existe un único modelo DP, alimentado conjuntamente por los trabajos de Paradis, Ullman y sus respectivos adherentes.

competencia en L2, ya que en los bilingües tardíos con bajo nivel de conocimiento de su L2 el procesamiento gramatical debería producir mayor actividad neural en áreas temporales y t mporo-parietales. Por el contrario, sería de esperar que el procesamiento léxico y semántico en ambas lenguas produjera mayores niveles de activación en zonas temporales y t mporo-parietales en todo tipo de bilingüe.

En términos más generales, se predice que la representación cerebral de una L2 aprendida tardíamente involucrar  áreas del sistema de memoria declarativa en mayor medida que una L1 y que una L2 adquirida implícitamente o automatizada mediante extensivos periodos de práctica y exposición. Dicho de otro modo, las disociaciones observadas en una L1 deberían ser mucho más débiles o hasta inexistentes en una L2 aprendida de modo tardío, consciente y metaling stico.

3.3. El límite cronológico-biológico entre el bilingüe temprano y el tardío

Al invocar por primera vez la noción de un periodo crítico para la adquisición de lenguas, Lenneberg (1967) asumía que el límite último de dicho periodo estaría dado por el momento en que las funciones ling sticas migran del hemisferio derecho al izquierdo. Hoy sabemos que tal idea es errónea, ya que en ningún momento de la vida las funciones ling sticas est n representadas en el hemisferio derecho en sujetos normales diestros. No hay tal cosa como la migración de funciones ling sticas del hemisferio derecho al izquierdo.⁵ La propuesta de Lenneberg de que el punto último del periodo crítico se daría durante la pubertad respondía, en parte, a que la supuesta migración de funciones culminaría en dicho momento. Su error, entonces, fue establecer el límite del periodo crítico en la pubertad, pero la idea general de que la adquisición de lenguas enfrenta periodos críticos sí fue acertada. La evidencia disponible hoy en día nos revela que el límite cronológico-biológico para ese "punto de no retorno", en realidad, se establece mucho antes de la pubertad.

El hecho es que el periodo crítico para la adquisición implícita e incidental de una lengua (pero no para su aprendizaje consciente y metaling stico) oscila entre los 2 y los 7 años de edad. Esto se debe a determinados efectos de maduración cerebral. A partir de la edad de 5 años, los circuitos neurales del sistema de memoria procedural comienzan un proceso progresivo de pérdida de plasticidad (Paradis 2009), lo cual gradualmente incapacita al sistema para la adquisición implícita de nuevas representaciones. Distintos estudios con humanos y roedores confirman que la apropiación de información procedural, basada en circuitos de los ganglios basales, est  sujeta a periodos críticos de corta extensión (Fredriksson, Schroder, Eriksson, Izquierdo y Archer 2000; Schlaug 2001). A su vez, hay estudios que sugieren que el aprendizaje de nuevas representaciones mediante el sistema de memoria declarativa

⁵ Si antes de desarrollar la gramática de su lengua los niños de menos de dos años presentan mayor actividad del hemisferio derecho al comunicarse verbalmente es porque, en ausencia de un sistema ling stico establecido, no tienen más opción que recurrir a funciones pragmáticas, inferenciales y visuoespaciales (todas representadas en el hemisferio derecho) para poder interactuar con los demás (Paradis 2009).

comienza a mejorar durante la infancia (Di Giulio, Seidenberg, O'Leary y Raz 1994), para luego decaer progresivamente a partir de la adultez (Kirasic, Allen, Dobson y Binder 1996). Parte de la causa de estos cambios radica en el aumento de los niveles de estrógeno durante la infancia y la adolescencia, sustancia que ha sido implicada en la inhibición del sistema procedural y la activación del sistema declarativo (Ullman 2004). Es interesante destacar que estos cambios afectan a hombres y mujeres de modos distintos (Ullman 2005).

Se sigue que los circuitos neurales encargados de la adquisición implícita de lenguas están sujetos a un periodo óptimo que culmina mucho antes de la pubertad, en tanto que las áreas cerebrales responsables del aprendizaje metalingüístico se tornan cada vez más eficaces después de la infancia. Birdsong (1999) demostró que en lenguas adquiridas después de la infancia tardía (i.e., alrededor de los 7 años), las habilidades gramaticales (procedurales) se ven mucho más disminuidas que las léxicas (declarativas). Por su parte, Möhring (2001) realizó un estudio con bilingües tempranos hablantes de alemán (L1) y francés (L2) y descubrió que los sujetos no tenían dificultad alguna para adquirir las reglas de concordancia de género en su L2 si se los exponía a la lengua antes de la edad de 3, pero que la adquisición de esta propiedad gramatical presentaba problemas en sujetos que comenzaron su apropiación después de dicha edad. Además, como demuestra la revisión efectuada por Birdsong (2006), la mayoría de las tareas en que los bilingües tardíos logran un nivel de rendimiento en L2 comparable al que tienen en L1 son tareas *offline*, es decir, tareas que no se ejecutan en tiempo real y que, por consiguiente, permiten el control consciente de representaciones mediante circuitos declarativos.

En conclusión, existe un periodo crítico para la adquisición de lenguas, pero no para su aprendizaje metalingüístico. El mismo está determinado por los plazos biológicos de disminución de la plasticidad del sistema de memoria procedural, proceso que comienza alrededor de los 5 años de edad y se presume finalizado para la edad de 7. Esta degradación neurocognitiva, sumada al incremento de la capacidad de aprendizaje declarativo desde la infancia hasta la adultez, hace que los sujetos mayores de 7 años naturalmente se vean inclinados a aprender representaciones lingüísticas mediante circuitos de la memoria declarativa. De ahí que las principales diferencias entre un hablante nativo de una lengua y un bilingüe tardío que aprendió esa misma lengua metalingüísticamente se reflejen de modo mucho más notable en la gramática (sintaxis, morfológica, fonología productiva) que en el léxico, la semántica y el reconocimiento fonológico. Cabe también destacar que si bien la memoria procedural está sujeta a periodos críticos, es mucho más resiliente al deterioro neuronal que la memoria declarativa. De ahí que las segundas lenguas aprendidas metalingüísticamente tiendan a ser "olvidadas" con el paso del tiempo, en tanto que la gramática y la fonología productiva de una lengua materna rara vez se ven afectadas por el envejecimiento.

3.4. Evidencia afasiológica

El modelo DP predice que en bilingües tardíos y/o con bajo nivel de automatización de su segunda lengua, una lesión localizada principalmente en zonas temporales y tèmpero-parietales debería provocar que ambas lenguas presentaran disfunciones léxicas y semánticas, pero que sólo la L2 presentara también déficits gramaticales. Hay evidencia afasiológica que confirma esta hipótesis.

Ku, Lachmann y Nagler (1996) documentan el caso de un bilingüe tardío, diestro, que a los 16 años devino afásico a causa de una encefalitis herpética localizada exclusivamente en su lóbulo temporal izquierdo. El joven era hablante nativo de chino mandarín y había aprendido inglés a partir de los 10 años, luego de mudarse a los Estados Unidos y escolarizarse en dicho país. Al poco tiempo de desarrollar esta condición, el paciente perdió la habilidad de hablar y comprender enunciados en L2, pero mantuvo dichas habilidades en L1. Su competencia sintáctica en L1, en particular, se mantuvo funcional aun cuando carecía de habilidades sintácticas en L2. Esta disociación confirma la predicción del modelo DP para el caso de un bilingüe tardío con baja automatización de la L2.

Ibrahim (2009) describe el caso del paciente MH, profesor de biología diestro que a los 41 años fue sometido a una craneotomía temporal izquierda para eliminar el tejido afectado por el virus herpes simplex y una ulterior hemorragia intracraneal concentrada en su lóbulo temporal izquierdo. MH era hablante nativo de árabe y aprendió hebreo metalingüísticamente a partir del cuarto grado. Si bien no era un bilingüe temprano, puede presumirse que eventualmente había logrado un alto grado de automatización de la gramática de su L2 ya que la empleaba frecuentemente en ámbitos académicos, profesionales y privados. Su competencia en L2 era muy alta (se graduó de una universidad en la que se enseñaba en hebreo, previa aprobación de un examen de competencia lingüística en dicho idioma).

Los tests lingüísticos realizados por MH revelaron que presentaba déficits análogos en sus dos lenguas, aunque la L2 presentaba mayores disfunciones en todas las áreas evaluadas (fluidez, comprensión, repetición). Esto es consistente con la predicción de que las disociaciones entre las habilidades lingüísticas han de ser menores o nulas en el caso de bilingües tempranos o con alta competencia en L2. Además, los estudios realizados demuestran que los errores cometidos por el paciente involucraban sólo el nivel léxico de representación y no el nivel semántico, lo cual es un indicio a favor de la independencia neurofuncional de los sistemas léxicos, por un lado, y los semánticos, por el otro. Luego de tres meses de terapia verbal en ambas lenguas, añade el autor, su producción lingüística en árabe volvió a ser fluida y gramaticalmente correcta, pero el paciente seguía manifestando problemas léxicos en ambas lenguas. El hecho de que en ambas lenguas no se hayan advertido déficits gramaticales pero que sí se hayan documentados dificultades léxicas es consistente con la predicción de que en un bilingüe temprano o de alta competencia en L2 (constante exposición y práctica) tanto la L1 como la L2 representan sus sistemas gramaticales en zonas frontales (memoria procedural) y sus sistemas léxicos en zonas temporales (memoria declarativa).

Otros dos casos instructivos de afasia bilingüe a causa de anomalías temporales fueron recogidos por Aladdin, Snyder y Ahmed (2008). Ambos pacientes eran

hablantes nativos de ucraniano y comenzaron a aprender inglés tardíamente (el paciente A, después de los 7 años; la paciente B, después de comenzar la escuela primaria). El paciente A era un hombre diestro de 56 años que a la edad de 50 sufrió un ACV hemorrágico que comprometió la región perisilviana. Los estudios electroencefalográficos realizados revelaron una epileptogénesis temporal izquierda. Durante 20 minutos luego de un episodio epiléptico, el paciente perdía completamente su capacidad de hablar en L2 pero su L1 se mantenía completamente intacta, aun cuando no la había utilizado durante 40 años. Por su parte, la paciente B era una mujer diestra de 71 años que desde la edad de 52 padecía de episodios epilépticos recurrentes. Una tomografía computada reveló un quiste congénito ubicado en la región temporal izquierda, zona cerebral en la que se originaban sus episodios epilépticos. Durante el examen clínico, se observó que luego de estos episodios la paciente perdía toda capacidad de expresarse en su L2, pero su capacidad de hablar en L1 permanecía intacta. A su vez, su comprensión no presentaba dificultades en ninguna de las dos lenguas. Cabe destacar que sus interacciones verbales cotidianas a lo largo de los últimos 50 años se realizaban principalmente en inglés. Estos dos casos son consistentes con la predicción de que, en el caso de los bilingües tardíos, una lesión concentrada en la región temporal (en ambos casos, el foco de la epileptogénesis) debería afectar a la L2 en mucho mayor medida que la L1 y dejar intacta la competencia gramatical de esta última.

Otra predicción del modelo DP es que en bilingües tardíos y/o con bajo nivel de automatización de la L2, una lesión circunscripta a los circuitos de los ganglios basales y/o del lóbulo frontal debería ocasionar déficits gramaticales selectivos sólo en la L1, mientras que el sistema gramatical de la L2, así como los sistemas léxicos y semánticos de ambas lenguas, no deberían presentar mayores disfunciones. La evidencia afasiológica también corrobora esta hipótesis.

Aglioti y Fabbro (1993) documentan el caso de EM, una ama de casa diestra de 70 años que sufrió una lesión isquémica circunscripta a sus ganglios basales izquierdos, sin comprometer estructuras neocorticales. EM era hablante nativa de véneto (o veneciano), lengua romance hablada en el norte de Italia. Ésta era la única lengua que utilizaba en su vida cotidiana. Su segunda lengua era el italiano, idioma que estudió formalmente durante tres años en la escuela primaria y que no hablaba más de dos o tres veces al año (aunque sí veía programas de televisión y leía revistas en italiano con asiduidad). Luego de la lesión, EM perdió completamente la capacidad de expresarse en su L1, pero mostraba buenos niveles de producción en su L2.

El caso de EM fue recogido por Fabbro y Paradis (1995) en una compilación de datos obtenidos mediante el estudio clínico de cuatro pacientes multilingües (algunos bilingües, otros hablantes de más de dos lenguas). Los otros tres pacientes eran: (i) CB, una mujer de 71 años hablante nativa de friulano que aprendió italiano (L2) formalmente a lo largo de cinco años de escolarización y luego aprendió inglés (L3) a partir de los 22 años de edad; (ii) El.M, un hombre diestro de 56 años de edad hablante nativo de friulano que aprendió italiano gracias a once años de escolarización en dicho idioma; y (iii) OR, un hombre de 63 años hablante nativo de friulano que aprendió italiano gracias a cinco años de instrucción formal. CB

presentaba una lesión isquémica en el extremo del núcleo caudado, una pequeña porción del putamen y la zona anterior de la cápsula interna del hemisferio izquierdo (i.e., estructuras de los ganglios basales). El.M presentaba una lesión que afectó las mismas estructuras y también una parte del globo pálido. En el caso de OR, la lesión dañó la cabeza y el cuerpo del núcleo caudado izquierdo, el putamen izquierdo y algunas zonas neocorticales de la ínsula izquierda. Los tres pacientes presentaron patrones de disfunción similares, a saber: dificultades gramaticales más pronunciadas en sus lenguas nativas o dominantes que en sus lenguas no nativas. En todos los casos, los tests clínicos demuestran que los pacientes omitían más palabras con función gramatical en contextos obligatorios en su L1 o en su L2 muy practicada que en sus lenguas no nativas poco utilizadas.

Más recientemente, García-Caballero, García-Lado, González-Hermida, Area, Recimil, Juncos Rabadán, Lamas, Ozaita y Jorge (2007) publicaron el caso de un ama de casa diestra, de 91 años, que a causa de un infarto cerebral súbitamente perdió la capacidad de usar la L1 (gallego) y comenzó a hablar en L2 (español), lengua en la que no era muy fluida. Una resonancia magnética reveló que el infarto había afectado la región cápsulo-putaminal de los ganglios basales en el hemisferio derecho. La anciana mantuvo sus habilidades de comprensión en ambas lenguas, pero le resultaba prácticamente imposible hablar, leer y repetir enunciados en L1. Este caso es por demás llamativo ya que se trata de una afasia cruzada (la paciente pertenece a ese ínfimo porcentaje de la población mundial que tiene su sistema lingüístico representado en el hemisferio derecho a pesar de ser diestros).

Estos casos confirman la predicción del modelo DP de que una L1 se representa en circuitos propios del sistema de memoria procedural en una medida mucho mayor que una L2 aprendida tardíamente (de modo metalingüístico) y poco automatizada.⁶

3.5. Evidencia proveniente de trastornos neurodegenerativos

La enfermedad de Alzheimer se caracteriza por lesiones que afectan regiones temporales neocorticales y el lóbulo temporal medio, sin comprometer regiones frontales ni estructuras de los ganglios basales. En otras palabras, esta enfermedad afecta selectivamente áreas propias del sistema de memoria declarativa. En cambio, la enfermedad de Parkinson es causada por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas de los ganglios basales, sin que haya daño concomitante en el lóbulo temporal medio ni en estructuras temporales neocorticales. Esto significa que un paciente de Parkinson presenta lesiones circunscriptas a su sistema de memoria procedural. Se sigue de las hipótesis presentadas hasta el momento que un bilingüe

⁶ Hay más evidencia afasiológica consistente con esta predicción. Fabbro (1999) ofrece una revisión de seis casos de afasia bilingüe en los que la L1 presenta disfunciones mucho más marcadas que la L2. La evidencia neuroanatómica en estos casos no es tan precisa como la que recogen Fabbro y Paradis (1995), pero puede afirmarse que en al menos tres de los casos considerados, y muy probablemente en los seis, las lesiones se focalizaban en la región frontal izquierda. También es compatible con esta predicción el caso documentado por Adrover-Roig *et al.* (2011).

tardío, que haya aprendido su L2 metalingüísticamente, debería presentar disociaciones en sus habilidades gramaticales en L1 y L2 tanto si padece de la enfermedad de Alzheimer como si padece del mal de Parkinson. Hay muy poca evidencia sobre la sintomatología lingüística provocada por estos trastornos neurodegenerativos en pacientes bilingües, pero los pocos estudios disponibles son consistentes con las disociaciones predichas.

En bilingües con la enfermedad de Alzheimer, las funciones lingüísticas declarativas deberían verse igualmente afectadas en ambas lenguas. Hay evidencia que demuestra que las formas irregulares de una lengua se aprenden y se representan en el sistema de memoria declarativa, mientras que la morfología regular es una función de la memoria procedural (Ullman, Corkin, Coppola, Hickok, Growdon, Koroshetz y Pinker 1997). Por lo tanto, se esperaría que un bilingüe con Alzheimer presentara mayores dificultades en el procesamiento de formas irregulares que regulares en ambas lenguas. Esta hipótesis fue confirmada en un estudio realizado por Cameli, Phillips, Kousaie y Panisset (2004) con dos bilingües tardíos hablantes de inglés y francés que padecen de dicho trastorno. A los sujetos se les solicitó que realizaran una tarea de generación de formas pasadas de verbos en ambas lenguas y un grupo de pseudo-verbos en base a sus formas en infinitivo. En L1, el desempeño de ambos pacientes fue prácticamente idéntico al de los controles normales en la inflexión de pseudo-verbos, pero cometieron más errores en la generación de formas regulares e irregulares. En lo que respecta a estas últimas, cometieron más errores que los controles en ambas lenguas, lo cual es consistente con las predicciones del modelo DP.

En el mismo estudio que se acaba de referir, Cameli *et al.* (2004) también incluyeron nueve pacientes bilingües que padecían de mal de Parkinson (todos hablantes de inglés y francés). Se les solicitó que realizaran las mismas tareas de generación de formas pasadas que llevó a cabo el grupo anterior. Los resultados indicaron que los pacientes de Parkinson tuvieron un desempeño prácticamente idéntico al de los controles normales en la generación de formas pasadas de verbos regulares, irregulares y pseudo-verbos en ambas lenguas. Sin embargo, los pacientes de Parkinson evidenciaron una tendencia a irregularizar los pseudo-verbos que no se observó en el grupo control. Los autores proponen que una posible explicación para estos patrones es que los pacientes recuperaron las formas regulares directamente de su sistema de memoria declarativa, lo cual es plausible ya que, después de todo, ambos sistemas de memoria pueden apropiarse información en paralelo y toda persona escolarizada tiene algún conocimiento metalingüístico de su L1. Sin embargo, los pseudo-verbos, al no existir en el lenguaje cotidiano, no pueden ser aprendidos de modo declarativo y deben procesarse sí o sí mediante el sistema de morfología regular. El hecho de que los pacientes de Parkinson tendieran a irregularizar los pseudo-verbos es consistente con el daño que sufrieron en el sistema de memoria procedural.

Ahora, en bilingües con mal de Parkinson, la gramática de su L1 debería verse mucho más afectada que la gramática de la L2. Esto es precisamente lo que se demostró en un estudio realizado por Zanini, Tavano, Vorano, Schiavo, Gigli, Aglioti

y Fabbro (2004) con doce bilingües con Parkinson, todos hablantes nativos de friulano que comenzaron a aprender italiano (L2) formalmente al ingresar a la escuela a la edad de 6 años. En las tareas de comprensión oracional, los pacientes no manifestaron diferencias entre sus lenguas, en tanto que los controles normales tuvieron un mejor desempeño en L1. En las tareas de juicio de corrección sintáctica, los pacientes tuvieron un peor desempeño en L1 que en L2, mientras que los controles no presentaron diferencias entre las dos lenguas. En las tareas de juicio de corrección sintáctica más corrección de errores, los pacientes nuevamente cometieron más errores en L1 que en L2, en tanto que los controles tuvieron un desempeño similar en ambas lenguas. En su conjunto, la evidencia recogida en este estudio confirma que, en bilingües tardíos que aprendieron su L2 metalingüísticamente, una lesión que afecta los ganglios basales (memoria procedural) pero no áreas temporales (memoria declarativa) produce más déficits gramaticales en la L1 que en la L2.

3.6. Evidencia de estudios de neuroimagen

Goral, Levy y Obler (2002) señalan que los estudios con neuroimágenes no sólo suelen presentar problemas en su metodología y en la interpretación de los resultados que arrojan, sino que dichos problemas son aún mayores al aplicarse al estudio de sujetos bilingües, ya que no siempre es posible obtener información detallada sobre el nivel de habilidad relativo en sus dos lenguas, la edad y el modo de apropiación y el historial de uso y déficits en una y otra. Sin embargo, el análisis conjunto de varios estudios revela algunos patrones generales de marcada recurrencia (nos concentraremos en aquellos estudios que ofrecen una delimitación clara entre grupos de bilingües tempranos y tardíos).

Específicamente, según el modelo DP, se esperaría que en ambas lenguas de un bilingüe temprano y/o con alto nivel de automatización de la L2, el procesamiento léxico y semántico activara circuitos propios del sistema de memoria declarativa en ambas lenguas y que el procesamiento gramatical generara mayores flujos de activación en circuitos frontobasales. En cambio, en el caso de bilingües tardíos que aprendieron su L2 metalingüísticamente, se esperaría que el procesamiento léxico y semántico activara circuitos de la memoria declarativa en ambas lenguas, pero que el procesamiento gramatical presentara disociaciones de modo tal que en la L2 genere mayores activaciones en circuitos temporales y t́mporo-parietales y que en la L1 active principalmente regiones frontobasales.

3.6.1. Estudios con palabras aisladas como est́mulos

La evidencia de neuroimágenes obtenida en base a tareas con palabras aisladas demuestra contundentemente que las representaciones léxicas y semánticas de la L1 y la L2, tanto en bilingües tempranos como tardíos, generan patrones de activación similares en las mismas regiones cerebrales. Paradis (2004) cita 28 estudios de neuroimagen que corroboran el solapamiento total de ambas lenguas en tareas de procesamiento monoléxico. En consonancia con tal tendencia, Ullman (2005: 155.

Traducción del autor. Énfasis en el original) menciona cuatro estudios que demuestran que “[e]n segundas lenguas aprendidas tardíamente, las tareas que requieren de procesamiento léxico-conceptual *únicamente* no evidencian mayor activación en L2 que en L1”.

Por ejemplo, Illes, Francis, Desmond, Gabriel, Glover, Poldrack, Lee y Wagne (1999) recurrieron a la técnica de fMRI para estudiar el procesamiento léxico-semántico en bilingües tardíos con alto nivel de desempeño en su L2 (siete de los ocho participantes habían comenzado a aprender su L2 después de los 9 años; el restante era un bilingüe temprano). Tres participantes tenían al inglés como L1 y al español como L2. Los otros cinco eran hablantes nativos de español y hablaban inglés como L2. A los sujetos se les presentaron palabras aisladas y se les solicitó que indicaran si se trataba de una palabra concreta o abstracta apretando una pelota neumática. En todos los participantes se registró un patrón de activación cortical común a ambas lenguas en la circunvolución frontal inferior izquierda, lo que motiva su conclusión de que el área común activada en ambas lenguas está relacionada con el análisis semántico, independientemente de la lengua.

En síntesis, la evidencia disponible indica que los sistemas léxicos y semánticos de la L1 y la L2 se representan en las mismas áreas cerebrales macroanatómicas más allá del momento de apropiación de la segunda lengua.

3.6.2. Estudios con oraciones como estímulos

Por diversas razones metodológicas, los resultados obtenidos en estudios de neuroimagen que emplean oraciones como estímulos son menos consistentes que los que emplean palabras aisladas. Con todo, sí nos permiten establecer algunas conclusiones generales.

Un estudio particularmente elegante es el que llevaron a cabo Kim, Relkin, Lee, y Hirsch (1997) mediante la técnica de fMRI. Los investigadores conformaron dos grupos, uno de bilingües tempranos y otro de bilingües tardíos. Los primeros habían adquirido su L2 en la infancia y no habían dejado de utilizarla constantemente desde entonces. Los segundos habían comenzado su proceso de apropiación de la L2 a una edad promedio de aproximadamente 11 años. El estudio incluyó diez lenguas diferentes. A los participantes se les pidió que generaran oraciones (en silencio y en una lengua determinada) para describir eventos del día anterior. Durante la tarea, se tomaron 30 neuroimágenes de distintos ángulos del cerebro de cada sujeto. En el área de Broca, se observó una representación cortical común para ambas lenguas en el grupo “temprano”, en contraste con la separación registrada por el grupo “tardío”. Esto es consistente con las disociaciones predichas por el modelo DP para tal grupo.

Por otro lado, en el área de Wernicke prácticamente no se observó separación en ninguno de los grupos. Cabe aclarar que como se trató de una prueba de producción, la actividad registrada en el área de Wernicke (asociada principalmente con reconocimiento fonológico y la comprensión lingüística) no fue demasiado intensa, pero la semejanza de en los patrones de activación allí registrados para ambas lenguas es consistente con la hipótesis de que en ambas lenguas, más allá del momento de

apropiación, el procesamiento semántico involucra circuitos temporales y temporo-parietales. Desafortunadamente, en el estudio no se hace referencia a aspectos fonológicos y sintácticos del desempeño de los bilingües tardíos.

En otro experimento basado en la técnica de fMRI, Chee, Caplan, Soon, Sriram, Tan, Thiel y Weekes (1999) convocaron bilingües tempranos hablantes de chino e inglés (todos habían adquirido ambas lenguas antes de cumplir 6 años) y les pidieron que determinaran si las oraciones escritas que se les presentaban en una y otra lengua eran verdaderas o falsas. Se registró una gran dispersión en las áreas activadas: los patrones más fuertes se localizaron en la corteza prefrontal inferior y media, la región temporal izquierda, la circunvolución angular izquierda, la corteza motora suplementaria y regiones bilaterales parietales y occipitales. Lo interesante es que todas estas áreas se activaron en igual medida en ambas lenguas, lo cual refuerza la hipótesis de que los bilingües tempranos procesan la sintaxis de sus dos lenguas en las mismas áreas macroanatómicas (el procesamiento sintáctico es indispensable para determinar la veracidad o la falsedad de una oración).

3.6.3. Estudios con textos supra-oracionales como estímulos

En dos publicaciones muy citadas, Perani y sus colegas presentan datos muy interesantes sobre los patrones de activación en el cerebro bilingüe durante el procesamiento de historias narradas oralmente. En ambos casos, los estudios fueron realizados mediante la técnica de PET.

En el primero, Perani, Dehaene, Grassi, Cohen, Cappa, Dupoux, Fazio y Mehler (1996) convocaron a nueve hablantes nativos de italiano (diestros, de entre 21 y 32 años) que habían aprendido inglés después de los 7 años y sólo habían alcanzado un nivel de conocimiento moderado en dicho idioma. Les solicitaron que escucharan historias en su L1, en su L2 y en una tercera lengua que les era desconocida (japonés). En la L1, las áreas más fuertemente activadas fueron la circunvolución frontal inferior, las circunvoluciones temporales media y superior, el polo temporal, la circunvolución angular y el cerebelo derecho. En cambio, en la L2 sólo se registraron activaciones significativas en áreas temporales superiores y medias de ambos hemisferios, y activación bilateral de la región parahipocampal. Estos datos son consistentes con la predicción de que, en el caso de bilingües tardíos con baja automatización de su segunda lengua, el procesamiento de la L2 se concentrará más en circuitos propios del sistema de memoria declarativa que la L1 (la cual, efectivamente, involucró áreas frontales que no presentaron activaciones significativas en las tareas en L2).

Dos años más tarde, Perani, Paulesu, Galles, Dupoux, Dehaene, Bettinardi, Cappa, Fazio y Mehler (1998) emplearon un paradigma experimental similar. En este caso, conformaron dos grupos con distinta edad de apropiación de sus L2 pero con igual nivel de desempeño (automatización) en ellas. El primer grupo constaba de bilingües tardíos (hablantes nativos de italiano) con alta competencia en L2 (inglés aprendido formalmente después de los 10 años). El segundo grupo estaba conformado por bilingües tempranos con alta competencia tanto en español como en catalán. Las

áreas activadas por ambas lenguas en el primer grupo se concentraron en el lóbulo temporal izquierdo y en el sistema hipocampal izquierdo (en esta última estructura, las historias en L2 también produjeron activaciones en el otro hemisferio). No se registraron áreas diferenciales entre una y otra lengua. En el segundo grupo, las dos lenguas activaron regiones bilaterales de los polos temporales y de algunas estructuras hipocampales. Además, en el hemisferio izquierdo, se observaron activaciones en el surco temporal superior, el lóbulo parietal inferior y algunas regiones subcorticales. En este grupo de bilingües tempranos no se observó tanta activación en el lóbulo temporal izquierdo como en el grupo de bilingües tardíos. En síntesis, la gran similitud registrada en los patrones de activación en ambas lenguas para ambos grupos demuestra que la práctica extensiva puede lograr que un bilingüe tardío represente y procese su L2 en las mismas áreas macroanatómicas que su L1.

Otro estudio muy citado en la literatura sobre la organización del cerebro bilingüe es el que realizaron Dehaene, Dupoux, Mehler, Cohen, Paulesu, Perani, van de Moortele, Lehericy y Le Bihan (1997) mediante la técnica de fMRI. Del estudio participaron ocho hablantes nativos de francés que no comenzaron a aprender inglés (L2) hasta los 7 años, cuando ingresaron a la escuela. Su conocimiento de la L2 al momento del experimento era moderado. Se les pidió a los sujetos que oyeran fragmentos de relatos en francés, inglés y una lengua desconocida (japonés) reproducida en reverso. Las historias en L1 activaron regiones izquierdas cercanas al área de Wernicke en todos los participantes. Específicamente, los ocho sujetos presentaron activación en el surco temporal superior izquierdo y en las circunvoluciones temporales media y superior. Además, en la mayoría de los sujetos también se registraron activaciones en el polo temporal y en la circunvolución angular, además de patrones más débiles en regiones del hemisferio derecho para sólo algunos sujetos (lóbulo temporal, surco frontal inferior).

En contraposición a este patrón consistente para la L1, el procesamiento de los relatos en L2 activó redes muy variadas, según el sujeto, en regiones frontales izquierdas y derechas. Seis de los participantes presentaron, además, activación del lóbulo temporal izquierdo, si bien fue más dispersa que la registrada para la L1. Curiosamente, en los dos participantes restantes el procesamiento de las historias en L2 produjo activaciones en el lóbulo temporal derecho sin actividad en el lóbulo temporal izquierdo. Este estudio demuestra que la representación de una L1, siempre adquirida incidentalmente y representada de modo implícito, es mucho más consistente que la de una L2 adquirida tardíamente. Tal situación puede explicarse en virtud de las múltiples variaciones que puede haber en los procesos de enseñanza y aprendizaje formales de una L2, en contraposición a la uniformidad de los modos de adquisición de una L1.

4. Conclusiones

En síntesis, los datos clínicos y neuro-experimentales presentados avalan las siguientes conclusiones respecto de la organización cerebral del sistema bilingüe.

En primer lugar, el sistema lingüístico del bilingüe, más allá de su edad, modo y nivel de apropiación de la L2, se representa principalmente en el hemisferio izquierdo (en especial, en la región perisilviana). Además, en el sistema lingüístico del bilingüe, más allá de su edad, modo y nivel de apropiación de la L2, determinados componentes del sistema lingüístico se correlacionan siempre del mismo modo con los sistemas de memoria declarativa y procedural. En este sentido, la evidencia sugiere que: (i) los sistemas léxico y semántico de ambas lenguas se representan principalmente en sustratos implicados en el sistema de memoria declarativa; (ii) las formas morfológicamente irregulares de ambas lenguas se representan como unidades completas en el sistema léxico correspondiente (es decir, en circuitos propios del sistema de memoria declarativa); (iii) los sistemas morfológico y sintáctico de la L1 se representan en sustratos implicados en el sistema de memoria procedural; y (iv) el procesamiento de la morfología regular de la L1 depende de sustratos implicados en el sistema de memoria procedural.

Sin embargo, según la edad, el modo y el nivel de apropiación de la L2, el sistema morfológico y el sintáctico de la segunda lengua pueden correlacionarse de modos diferentes con los sistemas de memoria (y, por consiguiente, representarse en distintas áreas cerebrales). Específicamente, hay datos empíricos significativos que indican que: (i) en el bilingüe temprano y/o con alto grado de automatización de la L2, el sistema morfológico y el sintáctico de la segunda lengua dependen críticamente de sustratos implicados en el sistema de memoria procedural; (ii) en el bilingüe temprano y/o con alto grado de automatización de su L2, la morfología regular de la L2 se procesa principalmente en circuitos implicados en el sistema de memoria procedural; (iii) en el bilingüe tardío y/o con bajo nivel de automatización de su L2, el sistema morfológico y el sintáctico de la segunda lengua se representan en sustratos implicados en el sistema de memoria declarativa; y (iv) en el bilingüe tardío y/o con bajo nivel de automatización de su L2, aun la morfología regular de la L2 se procesa en circuitos involucrados en el sistema de memoria declarativa.

La presente revisión, en definitiva, sugiere que el modelo DP ofrece una caracterización plausible de la organización neurocognitiva del cerebro bilingüe. La realización y el análisis de nuevos casos clínicos y estudios de neuroimágenes permitirán refinar estas hipótesis generales.

Bibliografía

Adrover-Roig, D., Galparsoro Izagirre, N., Marcotte, K., Ferré, P., Wilson, M. y Ansaldo, A. (2011). Impaired L1 and executive control after left basal ganglia damage in bilingual Basque-Spanish aphasia. *Journal of Clinical Linguistics and Phonetics*, 25(6-7), 480–498.

Aglioti, S. y Fabbro, F. (1993). Paradoxical selective recovery in a bilingual aphasic following subcortical lesions. *NeuroReport*, 4, 1359-1362.

Aladdin, Y., Snyder T. J. y Ahmed, N. S. (2008). Pearls & oysters: Selective postictal aphasia: Cerebral language organization in bilingual patients. *Neurology*, 71, 14-17.

Álvarez, P. y Squire, L. R. (1994). Memory consolidation and the medial temporal lobe: A simple network model. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91(15), 7041-7045.

Beeman, M. (1998). Coarse semantic coding and discourse comprehension. En M. Beeman y C. Chiarello (Eds.), *Right Hemisphere Language Comprehension: Perspectives from Cognitive Neuroscience* (pp. 255-284). Mahwah y Londres: Lawrence Erlbaum Associates.

Birdsong, D. (Ed.) (1999). *Second Language Acquisition and the Critical Period Hypothesis*. Mahwah, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Birdsong, D. (2006). Age and second language acquisition and processing: A selective overview. En M. Gullberg y P. Indefrey (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Second Language Acquisition* (pp. 9-49). Oxford: Blackwell.

Cameli, L., Phillips, N.A., Kousaie, S. y Panisset, M. (2004). Memory and language in bilingual Alzheimer and Parkinson patients: Insights from verb inflection. En J. Cohen, K. T. McAlister, K. Rolstad y J. MacSwan (Eds.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Bilingualism* (pp. 452-476). Somerville, MA: Cascadilla Press.

Chee, M. W.L., Caplan, D., Soon, C. S., Sriram, N., Tan, E. W. L., Thiel, T. y Weekes, B. (1999). Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron*, 23, 127-137.

Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., van de Moortele, P-F., Lehericy, S. y Le Bihan, D. (1997). Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *NeuroReport*, 8, 3809-3815.

Desmond, J. E. y Fiez, J. A. (1998). Neuroimaging studies of the cerebellum: language, learning, and memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(9), 355-362.

Di Giulio, D. V., Seidenberg, M., O'Leary, D. S. y Raz, N. (1994). Procedural and declarative memory: A developmental study. *Brain and Cognition*, 25(1), 79-91.

Eichenbaum, H. y Cohen, N. J. (2001). *From Conditioning to Conscious Recollection: Memory Systems of the Brain*. Nueva York: Oxford University Press.

Fabbro, F. (1999). *The Neurolinguistics of Bilingualism: An Introduction*. Hove, Sussex: Psychology Press.

Fabbro, F. (2001). The bilingual brain: Cerebral representation of languages. *Brain and Language*, 79, 211-222.

Fabbro, F. y Paradis, M. (1995). Differential impairments in four multilingual patients with subcortical lesions. En M. Paradis (Ed.), *Aspects of Bilingual Aphasia* (pp. 139-176). Oxford: Pergamon.

Fabbro, F., Pesenti, S., Facoetti, A., Bonanomi, M., Libera, L. y Lorusso, M. L. (2001). Callosal transfer in different subtypes of developmental dyslexia. *Cortex*, 37, 65-73.

- Fredriksson, A., Schroder, N., Eriksson, P., Izquierdo, I. y Archer, T. (2000). Maze learning and motor activity deficits in adult mice induced by iron exposure during a critical postnatal period. *Developmental Brain Research*, 119(1), 65-74.
- García-Caballero, A., García-Lado, I., González-Hermida, J., Area, R., Recimil, M. J., Juncos Rabadán, O., Lamas, S., Ozaita, G. y Jorge, F. J. (2007). Paradoxical recovery in a bilingual patient with aphasia after right capsuloputamina infarction. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 78, 89-91.
- Goral, M., Levy, E. S. y Obler, L. K. (2002). Neurolinguistic aspects of bilingualism. *International Journal of Bilingualism*, 6(4), 411-440.
- Grosjean, F. (1994). Individual bilingualism. En R. E. Asher (Ed.), *The Encyclopaedia of Language and Linguistics* (pp. 1656-1660). Oxford: Pergamon Press.
- Hécaen, H. y Albert, M.L. (1978). *Human Neuropsychology*. Nueva York: Wiley.
- Hull, R. y Vaid, J. (2007). Bilingual language lateralization: A meta-analytic tale of two hemispheres. *Neuropsychologia*, 45, 1987-2008.
- Ibrahim, R. (2009). Selective deficit of second language: A case study of a brain-damaged Arabic-Hebrew bilingual patient. *Behavioral and Brain Functions*, 5(17).
- Illes, J., Francis, W. S., Desmond, J. E., Gabriel, J. D. E., Glover, G. H., Poldrack, R., Lee, C. J. y Wagne, A. D. (1999). Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, 70, 347-363.
- Kim, K. S., Relkin, N. R., Lee, K-M. y Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388, 171-174.
- Kirasic, K. C., Allen, G. L., Dobson, S. H. y Binder, K. S. (1996). Aging, cognitive resources, and declarative learning. *Psychology and Aging*, 11(4), 658-670.
- Ku, A., Lachmann, E. A. y Nagler, W. (1996). Selective language aphasia from herpes simplex encephalitis. *Pediatric Neurology*, 15, 169-171.
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological Foundations of Language*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Martin, A., Ungerleider, L. G. y Haxby, J. V. (2000). Category specificity and the brain: The sensory/motor model of semantic representations of objects. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 1023-1036). Cambridge, MA: MIT Press.
- Middleton, F. A. y Strick, P. L. (2000). Basal ganglia output and cognition: Evidence from anatomical, behavioral, and clinical studies. *Brain and Cognition*, 42(2), 183-200.
- Möhring, A. (2001). The acquisition of French by German pre-school children: An empirical investigation of gender assignment and gender agreement. En S. H. Foster-Cohen y A. Nizegorodcew (Eds.), *EUROSLA Yearbook* (pp. 171-193). Amsterdam: John Benjamins.
- Neville, H. J., Coffey, S. A., Lawson, D. S., Fischer, A., Emmorey, K. y Bellugi, U. (1997). Neural systems mediating American sign language: Effects of sensory experience and age of acquisition. *Brain and Language*, 57(3), 285-308.
- Opitz, B. y Friederici, A. D. (2003). Interactions of the hippocampal system and the prefrontal cortex in learning language-like rules. *NeuroImage*, 19(4), 1730-1737.

- Packard, M. y Knowlton, B. (2002). Learning and memory functions of the basal ganglia. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 563-593.
- Paradis, M. (1984). Aphasie et traduction. *Meta: International Translators' Journal*, 29, 57-67.
- Paradis, M. (1992). The Loch Ness monster approach to bilingual language lateralization: A response to Berquier and Ashton. *Brain and Language*, 43, 534-537.
- Paradis, M. (1994). Neurolinguistic aspects of implicit and explicit memory: Implications for bilingualism. En N. Ellis (Ed.), *Implicit and Explicit Learning of Second Languages* (pp. 393-419). Londres: Academic Press.
- Paradis, M. (1995). Another sighting of differential language laterality in multilinguals, this time in Loch Tok Pisin: Comments on Wullemmin, Richardson, and Lynch (1994). *Brain and Language*, 49, 173-186.
- Paradis, M. (2003). The bilingual Loch Ness monster raises its non-asymmetric head again – or, why bother with such cumbersome notions as validity and reliability? Comments on Evans et al. (2002). *Brain and Language*, 87, 441-448.
- Paradis, M. (2004). *A Neurolinguistic Theory of Bilingualism*. Amsterdam: John Benjamins.
- Paradis, M. (2009). *Declarative and Procedural Determinants of Second Languages*. Amsterdam: John Benjamins.
- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, S. F., Dupoux, E., Fazio, F. y Mehler, J. (1996). Brain processing of native and foreign languages. *NeuroReport*, 7, 2439-2444.
- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N. S., Dupoux, E., Dehaene, S., Bettinardi, V., Cappa, S. F., Fazio, F. y Mehler, J. (1998). The bilingual brain: Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, 121, 1841-1852.
- Poldrack, R. A., Clark, J., Pare-Blagoev, J., Shohamy, D., Moyano, J. C., Myers, C. y Gluck, M. A. (2001). Interactive memory systems in the human brain. *Nature*, 414, 546-550.
- Rapport, R. L., Tan, C. T. y Whitaker, H. A. (1983). Language function and dysfunction among Chinese- and English-speaking polyglots: Cortical stimulation, Wada testing, and clinical studies. *Brain and Language*, 18, 342-366.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. y Gallese, V. (2000). Cortical mechanisms subserving object grasping and action recognition: A new view on the cortical motor functions. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (pp. 539-552). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schlaug, G. (2001). The brain of musicians: A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930(1), 281-299.
- Springer, J. A., Binder, J. R., Hammeke, T. A., Swanson, S. J., Frost, J. A., Bellgowan, P. S. F., Brewer, C. C., Perry, H. M., Morris, G. L. y Mueller, W. M. (1999). Language dominance in neurologically normal and epilepsy subjects: A functional MRI study. *Brain*, 122, 2033-2046.

Squire, L. R. y Knowlton, B. J. (2000). The medial temporal lobe, the hippocampus, and the memory systems of the brain. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (pp. 765-780). Cambridge, MA: MIT Press.

Squire, L. R., Clark, R. E. y Knowlton, B. J. (2001). Retrograde amnesia. *Hippocampus*, 11(1), 50-55.

Trudeau, N., Colozzo, P., Sylvestre, V. y Ska, B. (2003). Language following functional left hemispherectomy in a bilingual teenager. *Brain and Cognition*, 53, 384-388.

Ullman, M. T. (2001a). The declarative/procedural model of lexicon and grammar. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(1), 37-69.

Ullman, M. T. (2001b). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(1), 105-122.

Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92, 231-270.

Ullman, M. T. (2005). A cognitive neuroscience perspective on second language acquisition: The declarative/procedural model. En C. Sanz (Ed.), *Mind and Context in Adult Second Language Acquisition: Methods, Theory, and Practice* (pp. 141-178). Washington, DC: Georgetown University Press.

Ullman, M. T., Corkin, S., Coppola, M., Hickok, G., Growdon, J. H., Koroshetz, W. J. y Pinker, S. (1997). A neural dissociation within language: Evidence that the mental dictionary is part of declarative memory, and that grammatical rules are processed by the procedural system. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(2), 266-276.

Vaid, J. y Hull, R. (2002). Re-envisioning the bilingual brain using functional neuroimaging: Methodological and interpretive issues. En F. Fabbro (Ed.), *Advances in the Neurolinguistics of Bilingualism: Essays in Honor of Michel Paradis* (315-355). Udine Forum: Udine University Press.

Walraff, B. (2000). What global language?. *Atlantic Monthly*, 286, 52-63.

Wuillemin, D., Richardson, B. y Lynch, J. (1994). Right hemisphere involvement in processing later-learned languages in multilinguals. *Brain and Language*, 46, 620-636.

Zanini, S., Tavano, A., Vorano, L., Schiavo, F. L., Gigli, G. L., Aglioti, S. y Fabbro, F. (2004). Greater syntactic impairments in native language in bilingual Parkinsonian patients. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 75(12), 1678-1681.

Agradecimientos

Agradezco especialmente al Profesor Michel Paradis por los comentarios vertidos sobre versiones preliminares de este trabajo y por facilitarme buena parte de la bibliografía citada.