

# Underlying strategies of semantic search

Nicolás Duarte

06 enero 2020

# Introducción

'When searching for items in memory, people explore internal representations in much the same the way that animals forage in space' (Hills, Jones, and Todd 2012)

- Esto parece ser resultado de al menos dos elementos:
  - 1 La 'estructura' de la búsqueda es similar
  - 2 Existen 'algoritmos' (o partes de ellos) que parecen ser 'óptimos' para resolver la búsqueda dadas ciertas condiciones típicamente encontradas en la naturaleza. Evolutivamente se seleccionaron organos que pueden ejecutar dicha función.

# La estructura de la búsqueda

## El dilema 'explorar-explotar'

Considerando un ambiente dónde la entrega de recompensa esta ligado de una manera u otra a la acción de un agente. Para que dicho agente obtenga recompensa, este debe preferir acciones que ha realizado en el pasado y le han otorgado recompensa, pero para descubrir tales acciones, debe elegir acciones que no ha elegido previamente.

El agente debe 'explotar' dichas acciones que ya sabe producen recompensa, pero también debe 'explorar' para poder elegir dichas acciones en primer lugar.

# La estructura de la búsqueda

Las condiciones para que un agente este bajo el dilema de explorar-explotar son minimas:

- 1 El agente debe tener conocimiento parcial (o no tener conocimiento) de la acción óptima en cada momento.
  - 2 Explorar opciones implica no explotar.
  - 3 Explorar implica de alguna manera u otra un 'gasto'.
  - 4 Explotar (de ambas opciones) es igualmente o mas recompensada.
- Bajo esas consideraciones, la búsqueda espacial tanto como la búsqueda de representaciones mentales (búsqueda semántica) parecen obedecer a dicho dilema

# La estructura de la búsqueda

## La búsqueda semántica, considerada como búsqueda con 'distancias'

- Para poder considerar la búsqueda semántica dentro de este dilema es necesario aclarar las condiciones bajo las cuales esto sería cierto.
- ① Los contenidos semánticos están organizados en parcelas ('patches')
- ② Entre parcelas existe algún tipo de distancia, en tanto pasar de una a otra incurre en un gasto
- 'Semantic fluency tasks': se le pide a sujetos que nombren la mayor cantidad de animales en un tiempo determinado. Asumiendo categorías de los animales, se observa que los sujetos producen mas animales por segundo dentro de la categoría, y luego, al cambiar de categoría, se produce un retraso en esta producción. La distribución de los tiempos entre producción de animales obedecen patrones tipo 'Levy'

# Búsqueda interna y externa

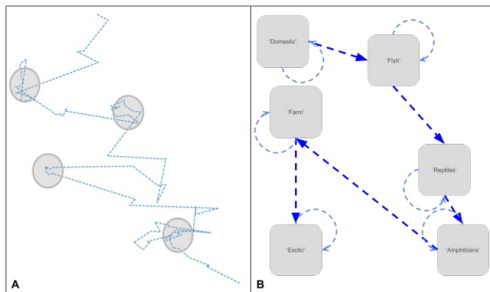


Figure 1: Búsqueda interna y externa

# Estrategias de búsqueda basadas en reglas

Se desprende la teoría de forrajeo óptimo 'optimal foraging theory' (Bartumeus and Catalan 2009) y considera 4 problemas fundamentales que enfrenta el agente en búsqueda de 'alimento':

- 1 qué comer
- 2 qué tipo de parcela buscar
- 3 cuándo salir de una parcela
- 4 cómo moverse entre parcelas

La teoría supone que el agente, en estos 4 aspectos, toma la decisión para optimizar cantidad de energía adquirida por unidad de tiempo usada en el forrajeo. La regla para tomar dichas decisiones se determina por el teorema de valor marginal ('margina value theorem') (Charnov 1976)

# Marginal value theorem

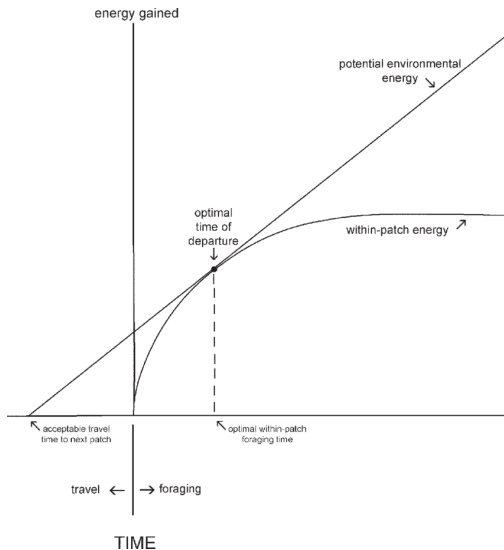


Figure 2: Tiempo óptimo de salida



# Marginal value theorem

## Determinación del tiempo en la parcela

- $h_i \leftarrow$  tiempo de permanencia óptimo en la parcela  $i$
- $S_i \leftarrow$  nivel de recursos en la parcela  $i$
- $t_s \leftarrow$  tiempo de viaje promedio entre dos parcelas
- $S_a \leftarrow$  nivel de recursos a través de las parcelas
- $K \leftarrow$  constante que representa que tan pronunciada es la pendiente de consumo al tiempo 0 en cada parcela

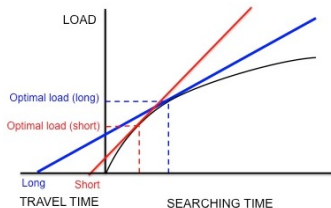


Figure 3:  $h_i^* = S_i \sqrt{\frac{t_s}{S_a K}}$

# Estrategias de búsqueda basadas en 'random walks'

Las principales dificultades con los modelos basados en reglas son principalmente las siguientes:

- ❶ Asumen pasividad del recurso a consumir
- ❷ Asumen un conocimiento del agente bastante elevado y de largo alcance
- ❸ Evidencia empirica contra las predecciones del modelo (Jesmer et al. 2017) a alternativa a esto son modelos estocasticos que recaen, principalmente, en las propiedades inherentes del ambiente

# Modelos estocásticos

- Uno de los modelos mas populares es el de 'Lévy Walks'. Estos parten del punto de vista que a nivel evolutivo las estrategias de búsqueda se adaptaron a escasas de información y a parcelas alejadas de recursos.
- Lévy Walks se definen por 3 propiedades:
  - 1 El largo del 'paso' obedece una distribución con cola ancha
  - 2 La orientación del 'paso' obedece una distribución uniforme para todas las direcciones
  - 3 Es un proceso que satisface la propiedad de Markov, 1 y 2 no se ven afectados por el 'pasado'

# Modelos estocásticos

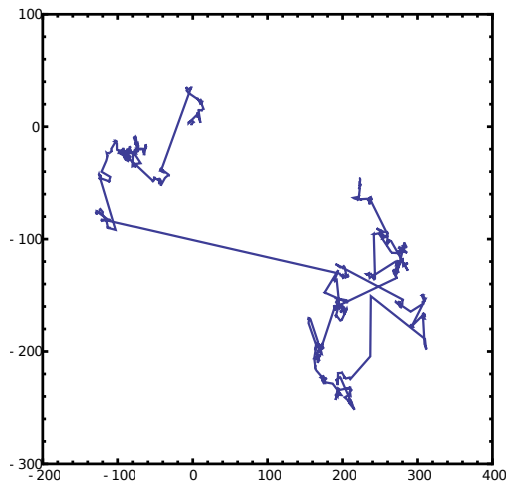


Figure 4: Levy Walk

# Modelos estocásticos

- Un proceso 'sin memoria' y que no considera ciertas habilidades cognitivas superiores, puede tener una ventaja en ambientes dónde:
  - 1 La escala dónde se puede buscar es básicamente infinita
  - 2 La interacción producida por la misma búsqueda altera el ambiente
  - 3 El ambiente se modifica, también, en función del tiempo

# Problemas con los modelos estocásticos y estrategias emergentes

- 1 Patrones similares se pueden dar con procesos no Markovianos influenciados por memoria (Gautestad and Mysterud 2013)
- 2 Puede tratarse de una coincidencia a nivel fenomenológico y no estar dando cuenta de un mecanismo de producción interno
- 3 Estos patrones se pueden generar debido a la interacción del agente con el ambiente, sin embargo hay escasa evidencia de que patrones tipo 'Lévy' pueden ser producidos de manera independiente a la interacción con el ambiente (Maye et al. 2007)

# Implementaciones neurales de las estrategias de búsqueda

Para que a lo largo de la evolución la estrategia de búsqueda usada en el forrajeo haya sido co-optada para la búsqueda semántica, se debe contar con una o varias estructuras considerablemente 'antiguas' capaces de:

- 1 Cambiar de un estado de explotación a uno de exploración, sea mediante la elección aleatoria del largo del paso u otra
- 2 De alguna manera asignar una distribución de probabilidad para explorar





## Adaptive gain-theory

LC tendría entonces la capacidad de modificar la 'ganancia' en la activación de inputs excitatorios/inhibitorios

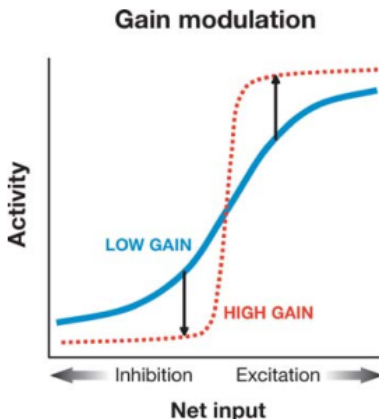


Figure 6: Ganancia

# Adaptive gain-theory

Tendría dos 'modos' fásico y tónico

- El fásico supone un nivel de actividad bajo en las neuronas del LC, pero tiene una clara ganancia (temporal) asociada a un estímulo saliente.

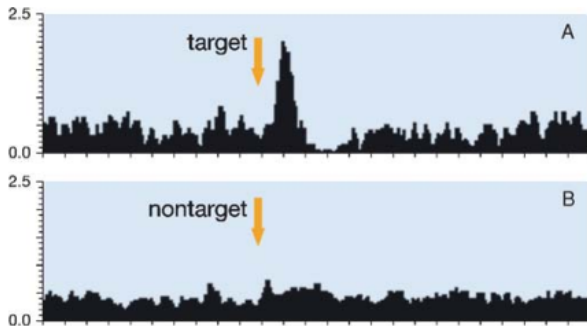


Figure 7: Modo fásico

# Adaptive gain-theory

- El tónico por otro lado estaría asociado a un mayor nivel de actividad global, sin embargo dicha actividad no esta relacionada temporalmente con el estímulo
- En conjunto con la corteza orbito frontal, pre-frontal y corteza cingulada anterior, se determinaría el modo para lidiar con el cambio de explotación (fásico) a exploración (tónico)

# Adaptive gain-theory

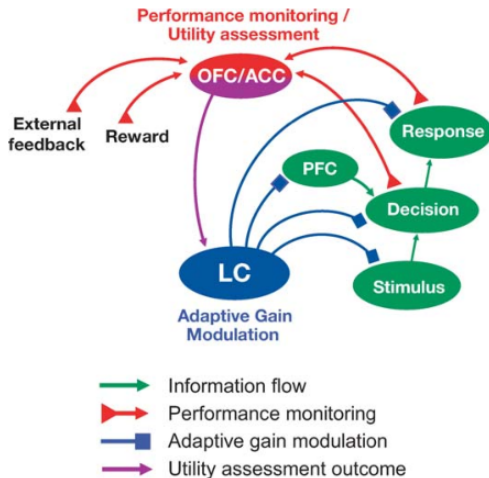


Figure 8: Estimación utilidad

# Adaptive gain-theory

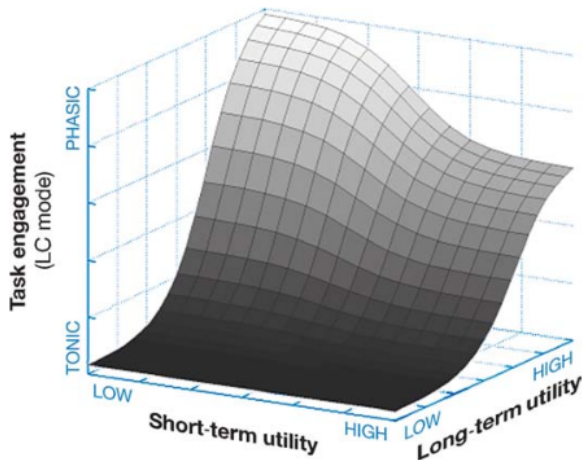


Figure 9: Cambio adaptativo

# Co-opción de las estrategias de búsqueda

De momento, y relajando ciertos supuestos, podemos determinar que:

- 1 Búsqueda semántica y espacial se sitúan en el dilema de exploración-explotación
- 2 Ambos tienden a seguir patrones tipo 'Lévy' (Hills, Todd, and Jones 2015)

# Co-opción de las estrategias de búsqueda

- Existe una gran presencia de este tipo de estrategia a lo largo de muchas especies (Hills et al. 2015)
- Esta estrategia parece ser óptima e independiente de la escala (Wosniack et al. 2017)
- Su implementación a nivel neural parece estar soportado, en parte, por estructuras 'antiguas' o bien con funciones primitivas (Hills 2006)
- En humanos la actividad del LC (medida a través de diametro pupilar) predice cambios entre exploración explotación (Jepma and Nieuwenhuis 2011)
- Finalmente, humanos utilizan mismas estrategias en búsqueda internas como externas (Wilke et al. 2009)

# Conclusiones

- Búsquedas internas y externas parecen seguir los mismos patrones
- Existen ciertos patrones (Lévy) que parecen ser óptimos en condiciones típicamente encontradas y por ello, por selección natural, estructuras que la soporten podrían haber sido seleccionados
- Dichas estructuras que soportaban el forrajeo, podrían por co-opción, también soportar la búsqueda semántica
- Evidencia empírica mínima
- Dificultad en trazar el camino evolutivo en nuestra especie



## Referencias

Aston-Jones, Gary, and Jonathan D. Cohen. 2005. "Adaptive Gain and the Role of the Locus Coeruleus-Norepinephrine System in Optimal Performance." *The Journal of Comparative Neurology* 493 (1): 99–110.  
<https://doi.org/10.1002/cne.20723>.

Bartumeus, F., and J. Catalan. 2009. "Optimal Search Behavior and Classic Foraging Theory." *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 42 (43): 434002. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/42/43/434002>.

Charnov, Eric L. 1976. "Optimal Foraging the Marginal Value Theorem." *Theoretical Population Biology* 9 (2): 129–36.  
[https://doi.org/10.1016/0040-5809\(76\)90040-x](https://doi.org/10.1016/0040-5809(76)90040-x).

Gautestad, Arild O., and Atle Mysterud. 2013. "The Lévy Flight Foraging Hypothesis: Forgetting About Memory May Lead to False Verification of Brownian Motion." *Movement Ecology* 1 (1): 9.  
<https://doi.org/10.1186/2051-3933-1-9>.

Hills, Thomas T. 2006. "Animal Foraging and the Evolution of Goal Directed Cognition." *Cognitive Science* 30 (1): 3–41.