

# Enrutamiento en WSNs

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.

# Capa de aplicación en WSN

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.

# Capa de Aplicación

---

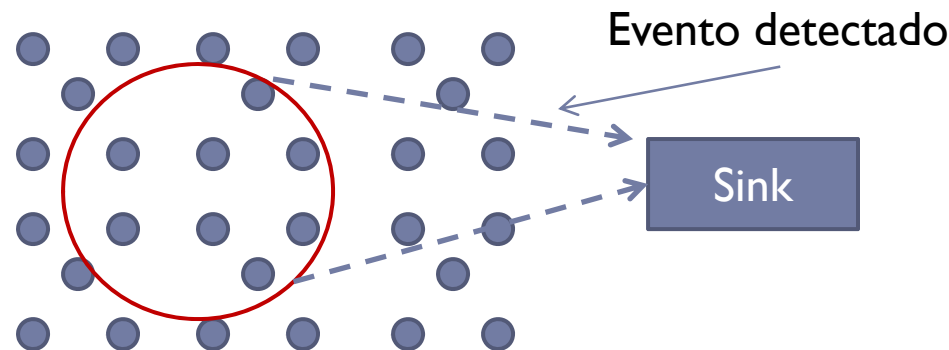
- ▶ Las aplicaciones de las WSNs son diferentes a las típicas de cualquier otra red
- ▶ Las aplicaciones de las WSNs generan tráfico según la forma de operación:
  - ▶ Envío basado en eventos
  - ▶ Envío continuo
  - ▶ Envío basado en solicitudes
  - ▶ Envío híbrido



# Envío basado en eventos

---

- ▶ Los nodos sensores están midiendo periódicamente su entorno
- ▶ Cuando detectan un evento particular, envían un mensaje hacia el sumidero.



# Aplicaciones de Envío continuo

---

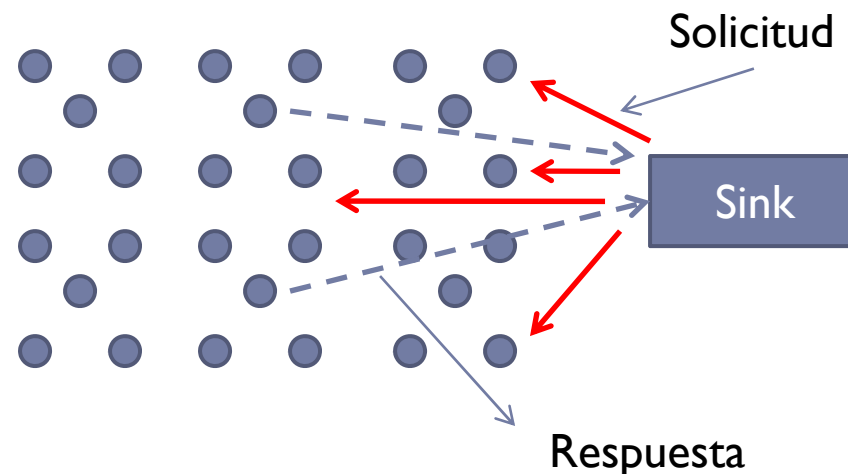
- ▶ En estas aplicaciones se envían periódicamente reportes al sumidero, sin importar el valor de las mediciones realizadas por el nodo sensor.



# Envío basado en solicitudes

---

- ▶ Se usa en casos en que los sumideros requieren una información en particular
- ▶ El sumidero envía un mensaje de solicitud (query message) a los nodos mediante Broadcast.
- ▶ Los nodos sensores contestan enviando los datos solicitados por el sumidero.
- ▶ Los mensajes de solicitud pueden llevar otro tipo de información como la frecuencia de los reportes.



# Envío híbrido

---

- ▶ Los nodos sensores podrían estar enviando reportes periódicos
- ▶ Los sumideros podrían solicitar otro tipo de información extraordinaria mediante solicitudes.



# Capa de transporte en WSN

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.



# Requerimientos

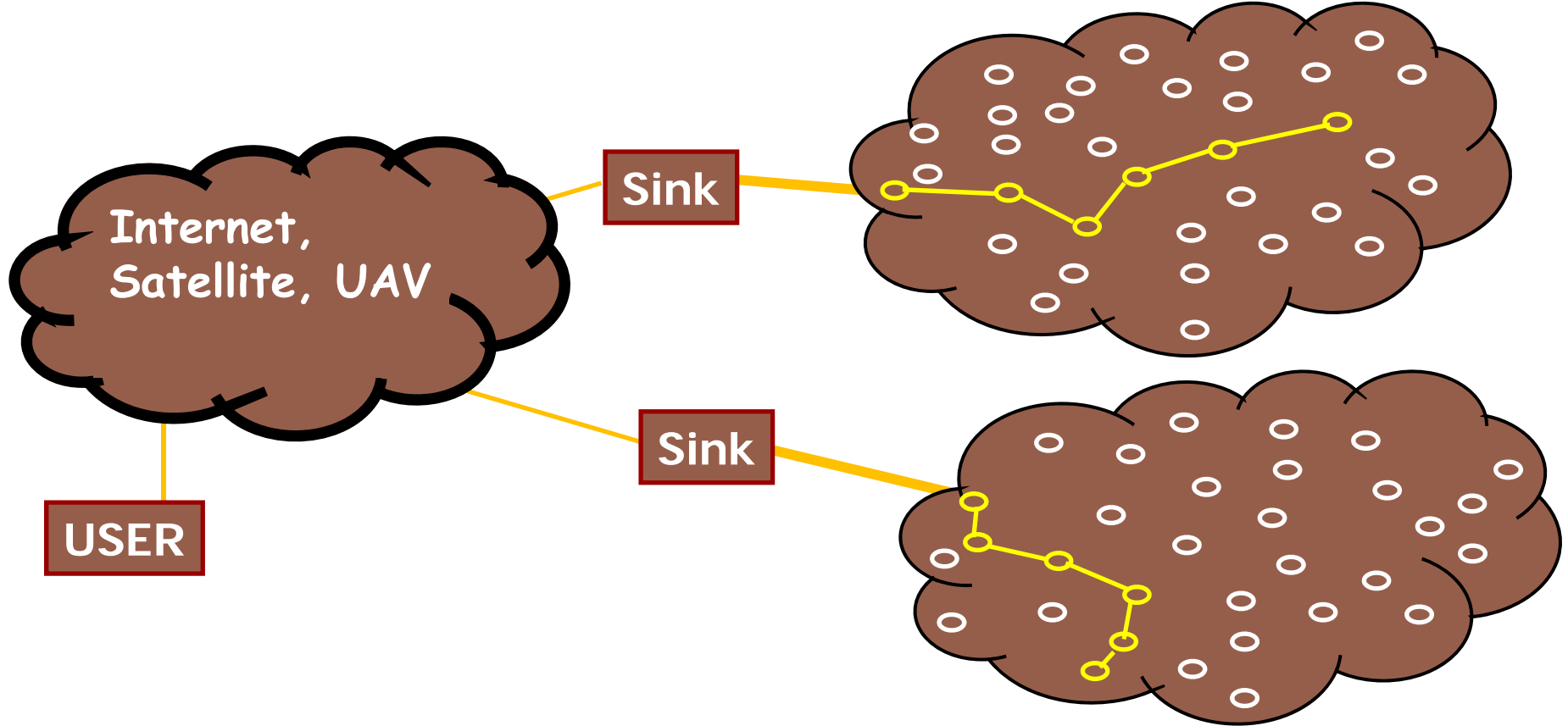
---

- ▶ Qué se espera de un protocolo de transporte?
  - ▶ Fiabilidad E2E (extremo-a-extremo)
  - ▶ Control de Congestión E2E
- ▶ Por qué no se pueden usar los protocolos actuales de Internet?
  - ▶ Recursos limitados (Energía, almacenamiento, complejidad computacional, tasas de datos, etc)



# Comunicación E2E nodo-Usuario

---



# Objetivos y retos para una solución de transporte en una WSN

---

- ▶ **Fiabilidad (Tolerancia a Fallos)**
- ▶ **Control de congestión**
- ▶ **Auto-configuración:**
  - ▶ Debe adaptarse a los cambios dinámicos de la topología causados por movilidad/fallos/caídas de energía y ubicación aleatoria de los nodos



# Objetivos y retos para una solución de transporte en una WSN

---

- ▶ **Uso racional de la energía**
- ▶ **Implementación parcializada:**
  - ▶ Principalmente corre en el sumidero, con mínimas funcionalidades en los nodos sensores
- ▶ **Direccionamiento y enrutamiento restringidos:**
  - ▶ No se asume la existencia de un direccionamiento E2E global



# Algunas soluciones propuestas

---

- ▶ RMST (Reliable Multi-Segment Transport)
- ▶ PSFQ (Pump Slowly Fetch Quickly)
- ▶ ESRT (Event to Sink Reliable Transport)



# Capa de red

Algoritmos de Enrutamiento

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.

# Condiciones de las WSNs para el enrutamiento

---

- ▶ Un nodo sensor podría no tener una identidad (dirección)
- ▶ Se requieren aplicaciones que operen así:
  - ▶ Dónde están los nodos cuyas temperaturas excederán 10 grados los próximos 5 minutos?
  - ▶ Entregar información de localización del objeto con (condición específica) durante los próximos 2 minutos.
- ▶ Múltiples sensores colaboran para obtener un objetivo

# Condiciones de las WSNs para el enrutamiento

---

- ▶ Los nodos intermedios pueden hacer agregación de datos o almacenamiento temporal durante el enrutamiento.
- ▶ No hay conmutación de paquetes nodo a nodo, sino propagación de datos nodo a nodo





# Retos para el enrutamiento en WSNs

---

- ▶ **Nodos limitados en energía**
- ▶ **Procesamiento**
  - ▶ Agregación de datos
  - ▶ Suprimir información de enrutamiento redundante
- ▶ **Comunicación:**
  - ▶ Ancho de banda limitado
  - ▶ Intensiva en energía (ráfagas)
- ▶ **Objetivo: Minimizar el consumo de energía**



# Retos para el enrutamiento en WSNs

---

- ▶ **Escalabilidad:**
  - ▶ Son redes ad-hoc en gran escala
  - ▶ Los nodos están distribuidos completamente y no tienen un conocimiento global de la red
  - ▶ Gran número de fuentes y Sumideros de información
- ▶ **Robustez: Puede haber fallos inesperados de los nodos sensores**
- ▶ **Cambios dinámicos en la topología:**
  - ▶ Movilidad de los nodos
  - ▶ Objetivos en movimiento



# Retos para el enrutamiento en WSNs

---

- ▶ Deben adaptarse a las características geográficas y topológicas
- ▶ Restricciones de tiempo: Datos fuera de tiempo no son útiles
- ▶ El valor de los datos recogidos es función del tiempo de recolección y la ubicación de las fuentes

# Clasificación de los protocolos de enrutamiento para WSNs

---

- ▶ **Protocolos Centrados en los Datos**
- ▶ **Protocolos Jerárquicos**
- ▶ **Protocolos Basados en la ubicación (Geográficos)**



# Enrutamiento centrado en los datos

---

- ▶ Número grande de sensores: Imposible asignar identificaciones a todos
- ▶ Sin identificadores, reunir los datos es un desafío
- ▶ Estos protocolos se basan en la descripción de los datos (Centrados en los datos)



# Enrutamiento centrado en los datos

---

- ▶ Requiere un nombramiento basado en atributos
- ▶ Los usuarios están más interesados en preguntar un atributo del fenómeno en lugar de preguntar por un nodo individual
- ▶ Ejemplo:
  - ▶ Es común: Cuáles son las áreas donde la temperatura está por encima de 35°C?
  - ▶ No se usa: Cuál es la temperatura medida por el nodo 12?

# Protocolos centrados en los datos

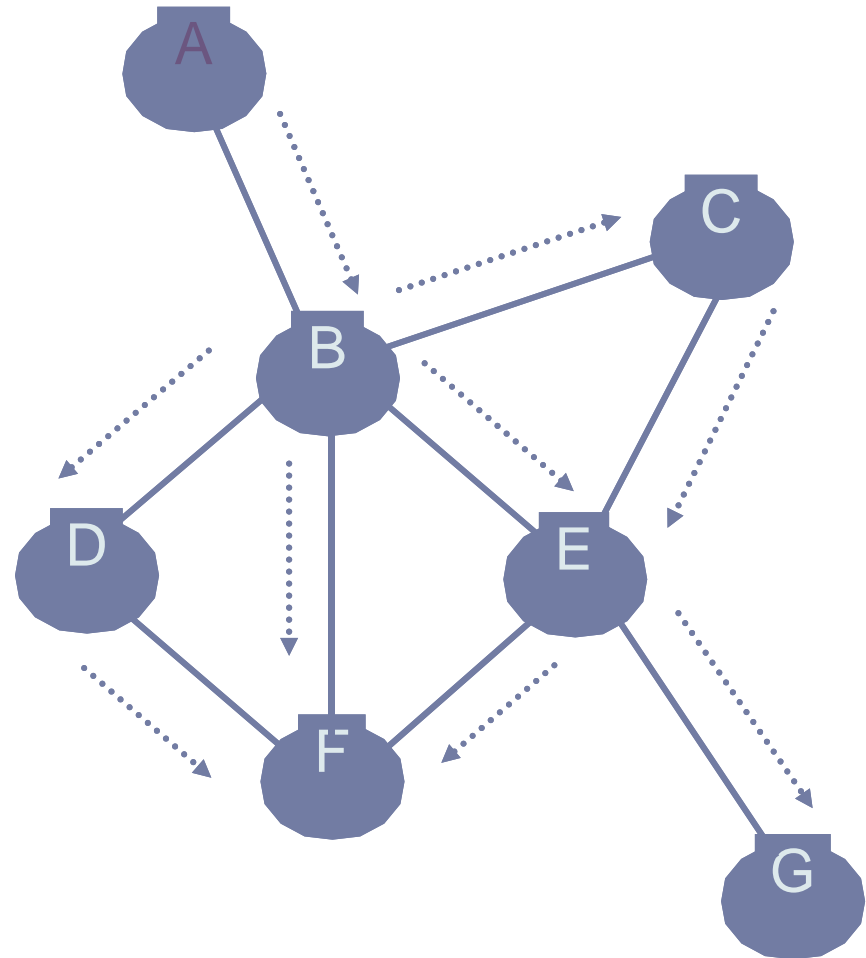
---

- ▶ **Flooding (Inundaciones):**

- ▶ Cada nodo hace un broadcast a todos sus vecinos

- ▶ **Gossiping (encaminamiento aleatorio):**

- ▶ Se escoge aleatoriamente uno de los nodos vecinos



# Características

---

## Flooding

- ▶ Congestionan la red
- ▶ Un paquete pasa y es retransmitido muchas veces por el mismo nodo
- ▶ gasta mucha energía y lo hace de forma ineficiente
- ▶ Seguridad en la llegada de los mensajes
- ▶ Pueden llegar varias copias de un mismo mensaje

## Gossiping

- ▶ No congestiona la red
- ▶ El retardo de los paquetes puede ser muy alto y es aleatorio (depende del camino que sigan).
- ▶ Un paquete podría pasar varias veces por el mismo nodo
- ▶ Uso ineficiente de los recursos (tiempo, energía)

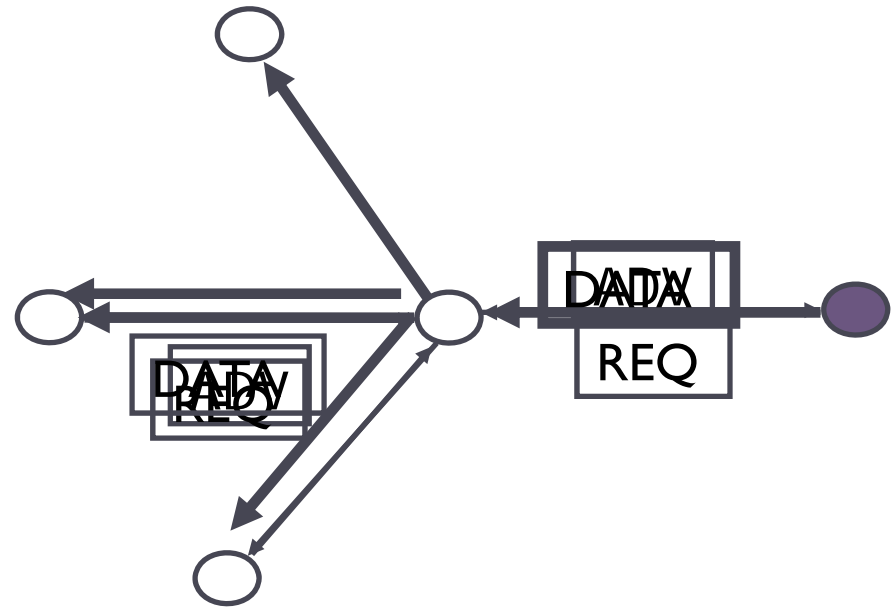




# SPIN: Sensor Protocol for Information Via Negotiation

---

- ▶ Usa 3 tipos de mensajes: ADV, REQ y DATA
- ▶ Cuando un nodo sensor tiene algo nuevo que notificar, envía un mensaje de advertencia ADV indicando que tiene un dato nuevo.
- ▶ Los nodos interesados envían un mensaje REQ de solicitud
- ▶ El nodo origen envía mensajes DATA con el nuevo dato a todos los nodos interesados.



# Familia de Protocolos SPIN

---

Protocolo	Características
SPIN-PP	Diseñado para comunicación punto a punto
SPIN-EC	Similar a SPIN-PP pero con reglas adicionales para reducir el consumo de energía
SPIN-BC	Diseñado para redes de Broadcast. Los nodos utilizan temporizadores después de recibir un mensaje ADV y antes de enviar un REQ para esperar a que alguien más envíe un REQ
SPIN-RL	Similar al SPIN-BC, pero con funciones que agregan mayor fiabilidad en la entrega de datos. Si no se recibe el dato en un tiempo límite, se solicita nuevamente el dato con otro mensaje REQ.

# Características del SPIN-PP

---

## ▶ Ventajas:

- ▶ Simple
- ▶ Evita inundaciones
- ▶ Mínimo costo inicial

## ▶ Desventajas:

- ▶ No puede aislar los nodos que no quieren recibir información
- ▶ Consume energía innecesariamente



# SPIN-EC

---

- ▶ **Regla de conservación de energía:**
  - ▶ Cuando hay suficiente energía, se comporta como SPIN-PP
  - ▶ Cuando la energía se acerca a un umbral mínimo, el nodo reduce su participación (Dormant Mode): Sólo participa si tiene suficiente energía para terminar las fases restantes de la comunicación.

# Comparación SPIN con Flooding

---

- ▶ Flooding converge primero (llegan más rápido los datos, menos retardos)
- ▶ SPIN-PP reduce el consumo de energía del Flooding en un 70%
- ▶ No hay mensajes de datos redundantes (mayor eficiencia)
- ▶ SPIN-EC envía:
  - ▶ 10% más datos por unidad de energía que el SPIN-PP
  - ▶ 60% más datos por unidad de energía que el Flooding

# Direct Diffusion (DD)

---

- ▶ Los sumideros (SINK) solicitan información a los nodos sensores mediante mensajes INTEREST
- ▶ El mensaje INTEREST se compone de:
  - ▶ Evento objetivo
  - ▶ Intervalo
  - ▶ Duración
  - ▶ Ubicación geográfica
- ▶ El nodo sensor que tiene este tipo de evento contesta con un mensaje REPLY (con los mismos campos de INTEREST)



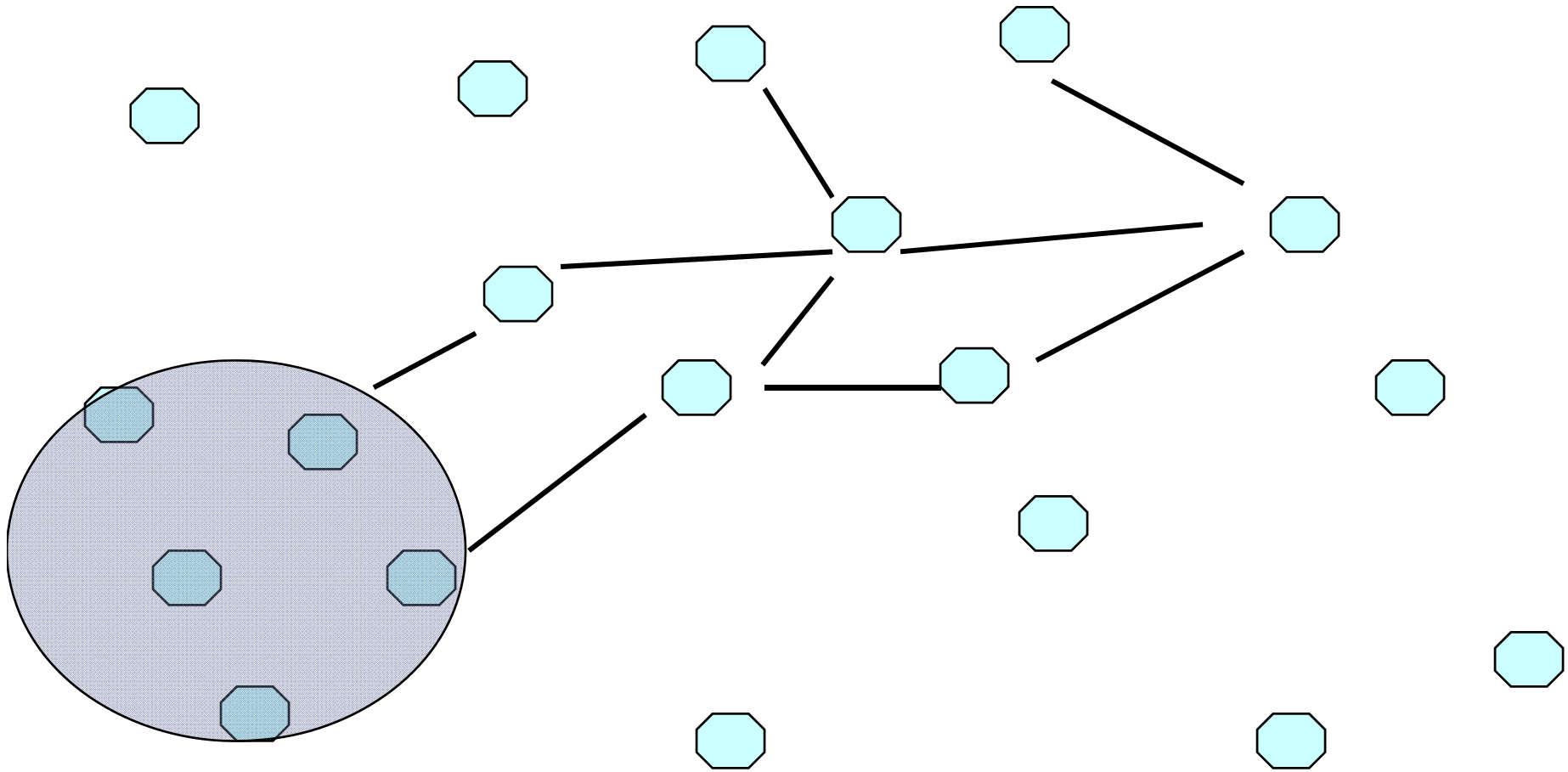
## DD: Direct Diffusion

---

- ▶ El Sink envía mensajes INTEREST periódicamente a los nodos sensores preguntando por alguna situación en particular
- ▶ Los nodos sensores pueden almacenar varios INTEREST. Ante una solicitud del Sink, pueden revisar su caché y enviárselo si lo tienen.
- ▶ Los nodos sensores también pueden agregar datos de otros (Tipo idéntico, zona idéntica), así no tienen que transmitir lo de los otros nodos y con uno basta.
- ▶ El Sink puede solicitar un refuerzo (retransmisión) del dato para mayor confiabilidad.

# Propagación de mensajes INTEREST

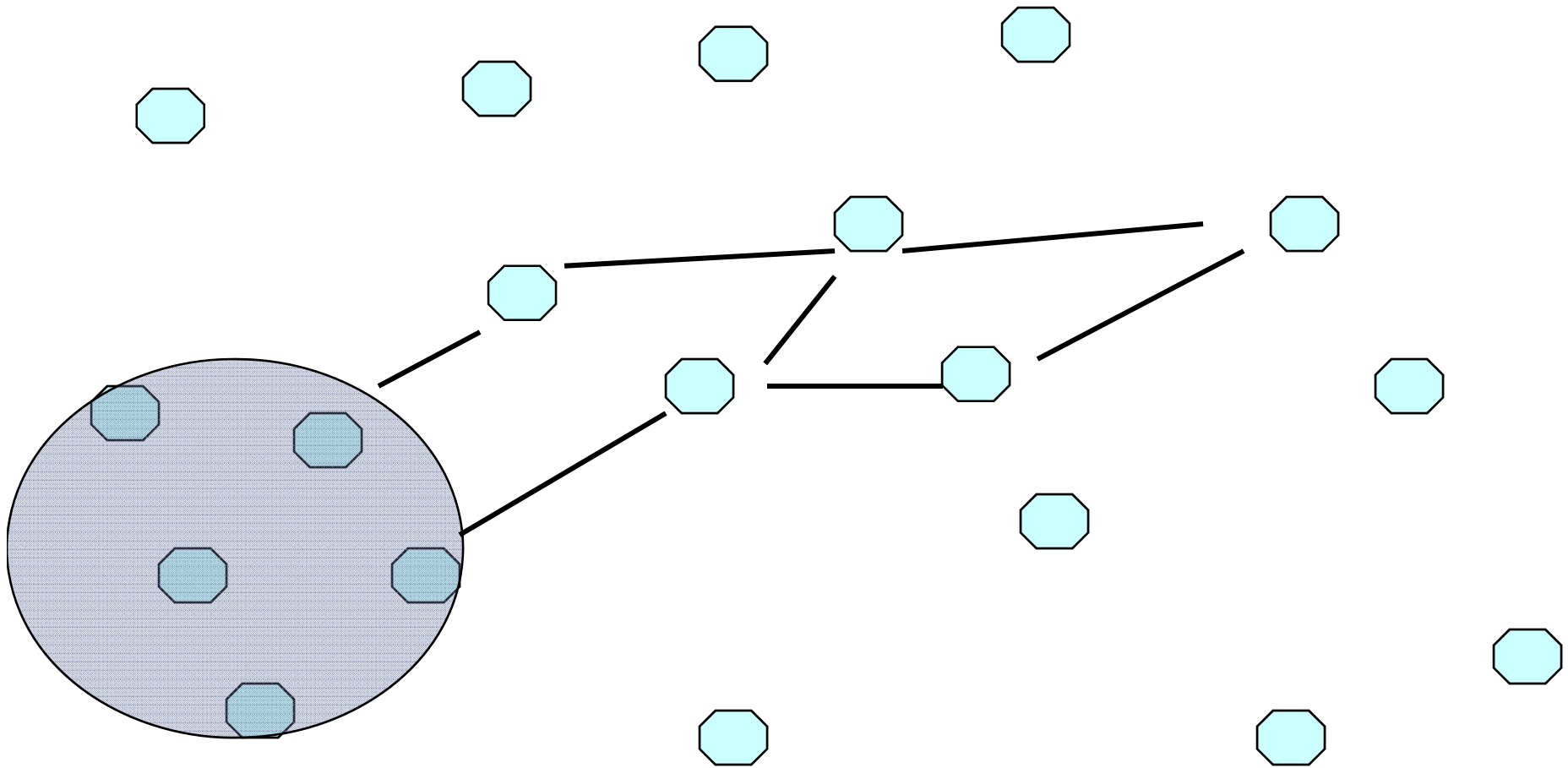
---





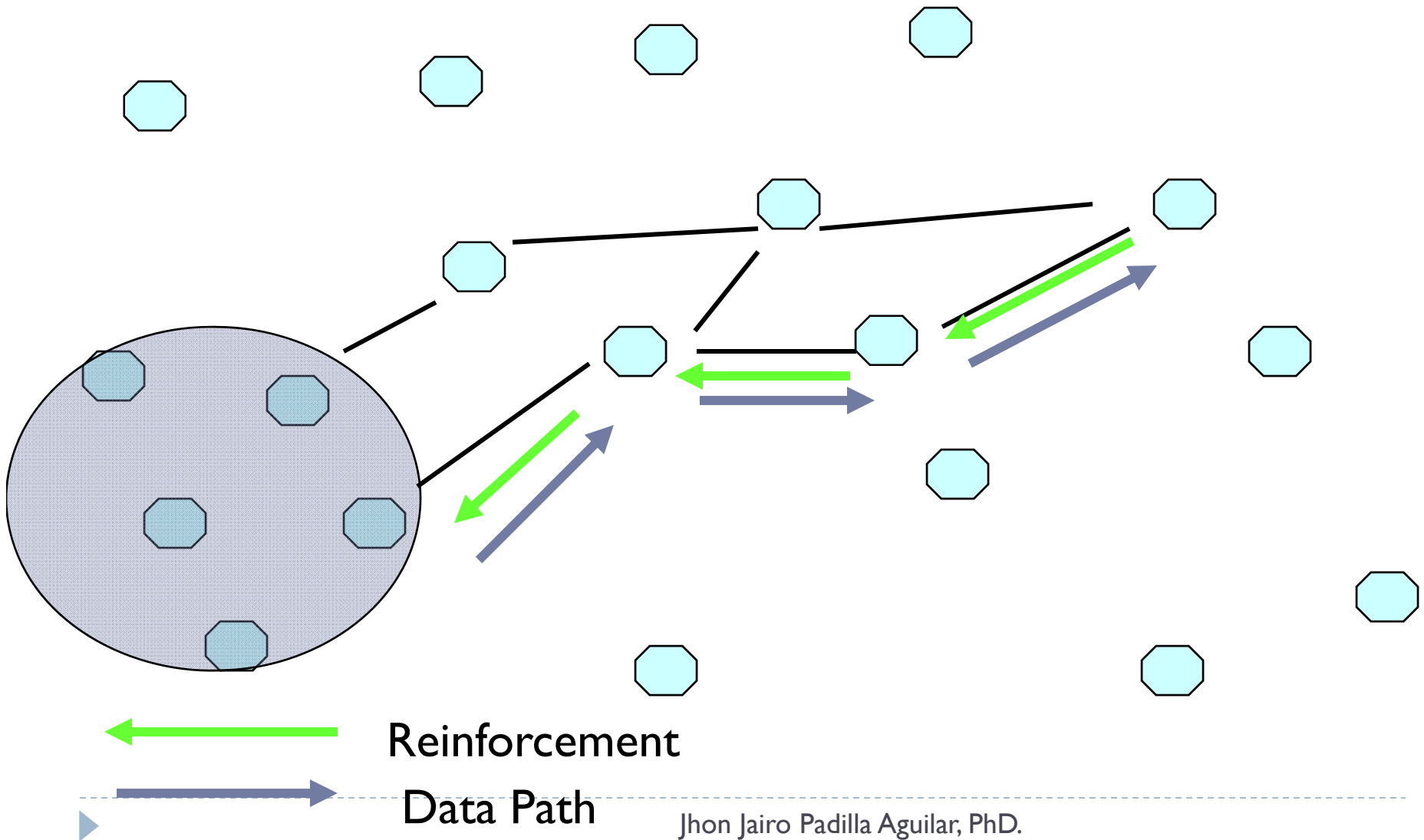
# Propagación de mensajes REPLY

---



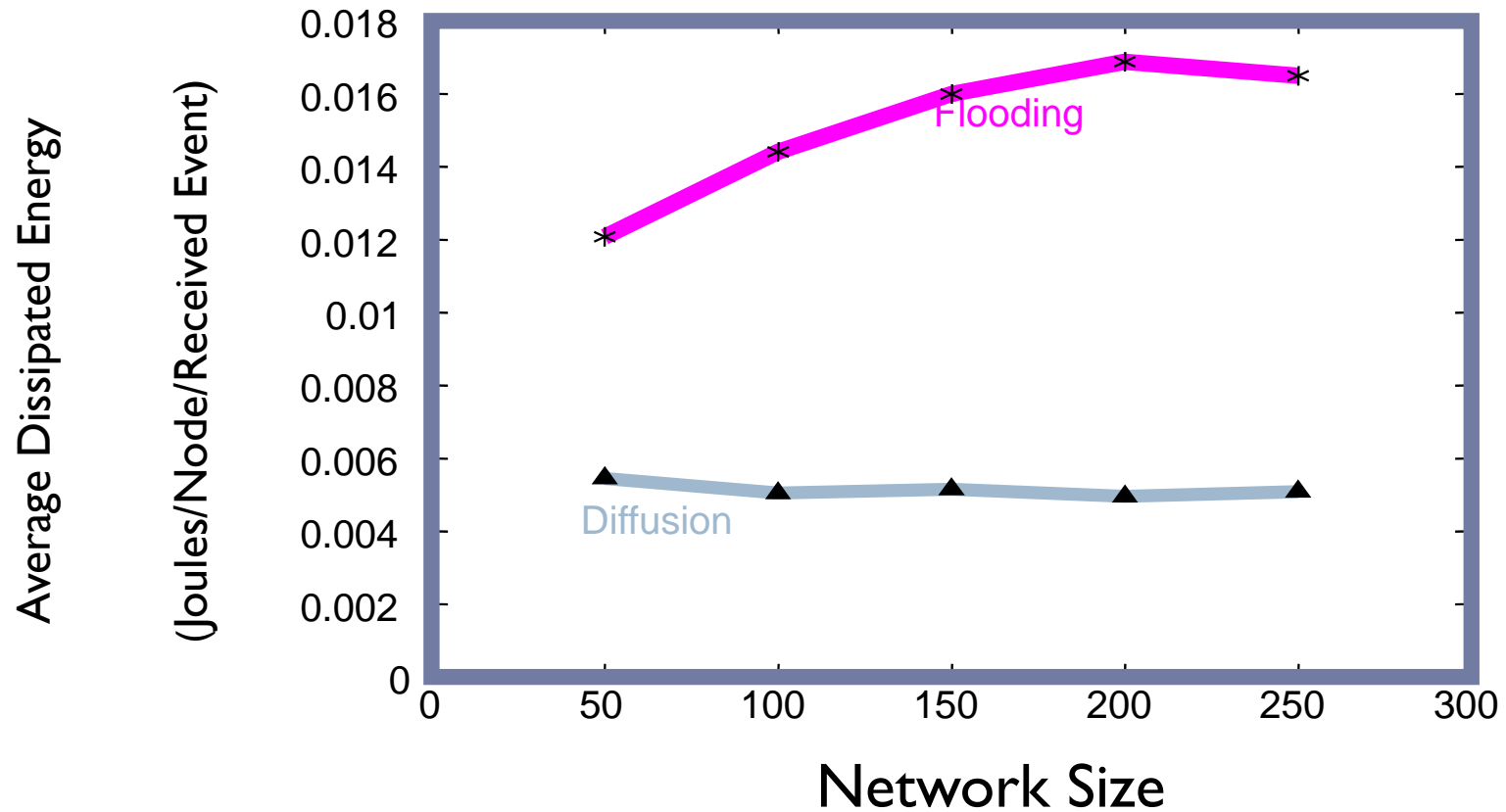
# REFUERZOS del SINK

---



# Energía media disipada en los nodos

---



# DD vs SPIN

---

- ▶ **DD:**

- ▶ Los sumideros hacen solicitudes a los nodos sensores acerca de una condición en especial

- ▶ **SPIN:**

- ▶ Los nodos sensores advierten sobre eventos nuevos para que los Sumideros les soliciten la información.



# Características de DD

---

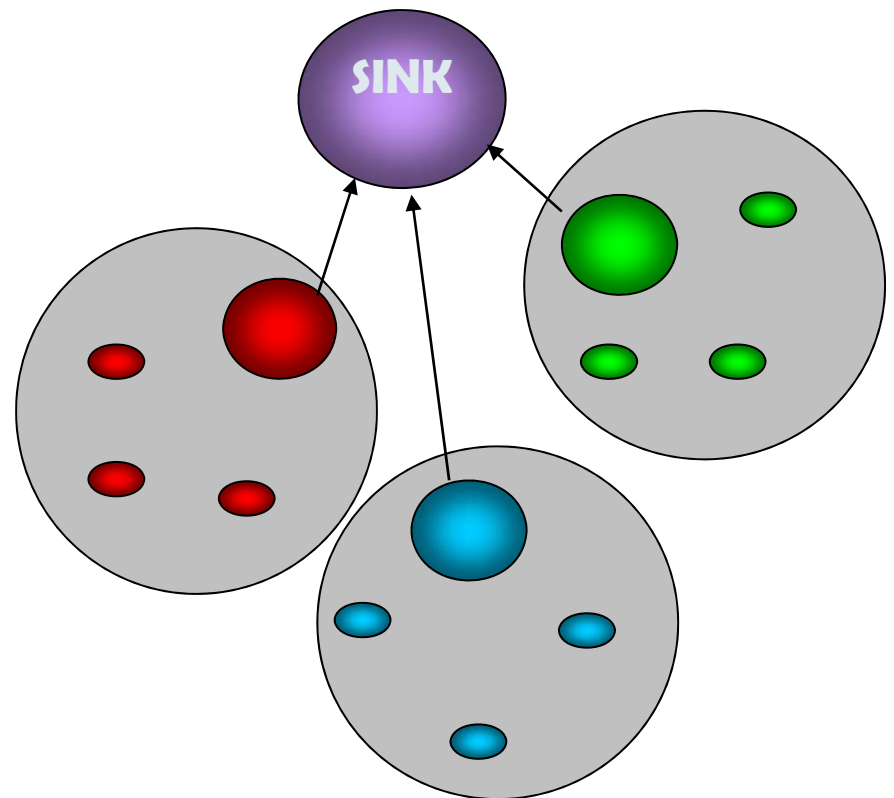
Ventajas	Desventajas
Es centrado en datos: No necesita direccionamiento	No es aplicable en todas las situaciones (orientado a solicitudes para su operación)
Cada nodo hace caché, agregación y sensado	No es una buena opción para aplicaciones que requieren envío continuo de datos (Ej: monitoreo ambiental)
No necesita mantener la topología global de la red	El método de nombramiento es dependiente de la aplicación y debe ser establecido a-priori
Es eficiente en energía ya que opera bajo demanda	Procesos de búsqueda en tablas causa sobrecarga de trabajo en los sensores



# Protocolos Jerárquicos

---

- ▶ Reducen el consumo de energía
- ▶ Aumentan la escalabilidad de la red
- ▶ Los nodos sensores conforman clusters
- ▶ Los nodos cabecera de los clusters agregan y fusionan datos para conservar energía
- ▶ Puede haber varias capas de clusters (clusters dentro de clusters)



# LEACH: Low Energy Adapting Clustering Hierarchy

---

- ▶ Los nodos cabeza de los clusters son seleccionados aleatoriamente
- ▶ Los clusters se organizan según el nivel de señal recibida
- ▶ Las cabezas de los clusters sirven como re-transmisores (routers) de los nodos sensores hacia el sumidero.



# Fases del LEACH

---

## ▶ Establecimiento:

- ▶ Se selecciona aleatoriamente el nodo principal del cluster
- ▶ Los nodos principales advierten a los demás de su presencia
- ▶ Cada nodo sensor decide a cuál nodo principal se adhiere para formar un cluster según la intensidad de señal
- ▶ Los nodos sensores informan a su nodo principal su decisión





# Fases del LEACH

---

- ▶ **Estado Estable:**

- ▶ Los nodos sensores envían los datos hacia los nodos cabeza de su cluster
- ▶ Los nodos cabeza retransmiten hacia el SINK

- ▶ **Re-INICIO:**

- ▶ Cada cierto tiempo, la red vuelve a conformar los clusters y sus nodos principales



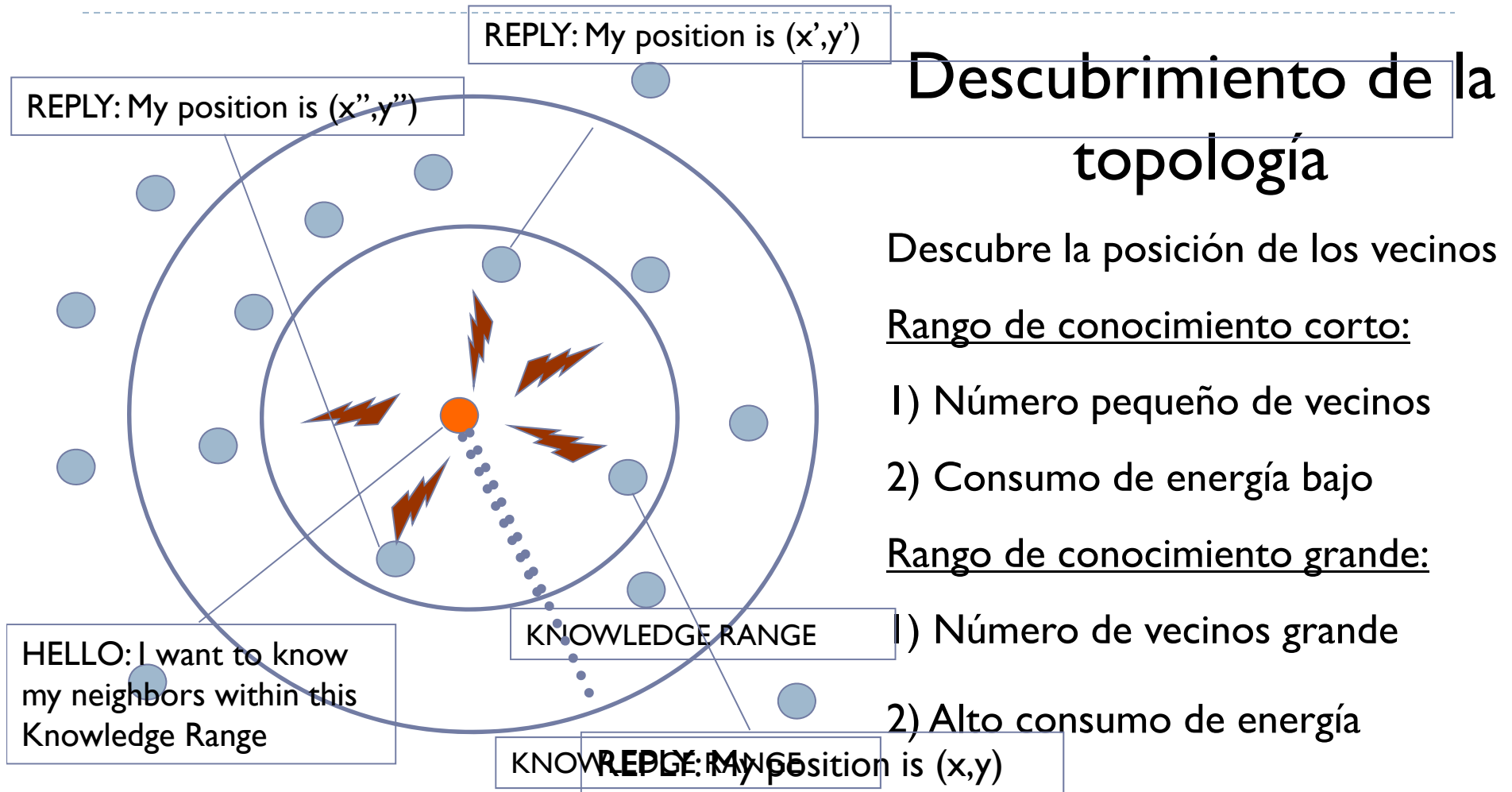
# Características de LEACH

---

Ventajas	Desventajas
Reduce alrededor de 7 veces el consumo de energía de las redes planas	No es aplicable a redes desplegadas en regiones muy extensas
Los cambios dinámicos de los clusters incrementan el tiempo de vida del sistema	Los cambios dinámicos de los clusters agregan una sobrecarga en el envío de mensajes de señalización
Es completamente distribuido y no requiere del conocimiento global de la red	



# Enrutamiento Geográfico



## Descubrimiento de la topología

Descubre la posición de los vecinos

Rango de conocimiento corto:

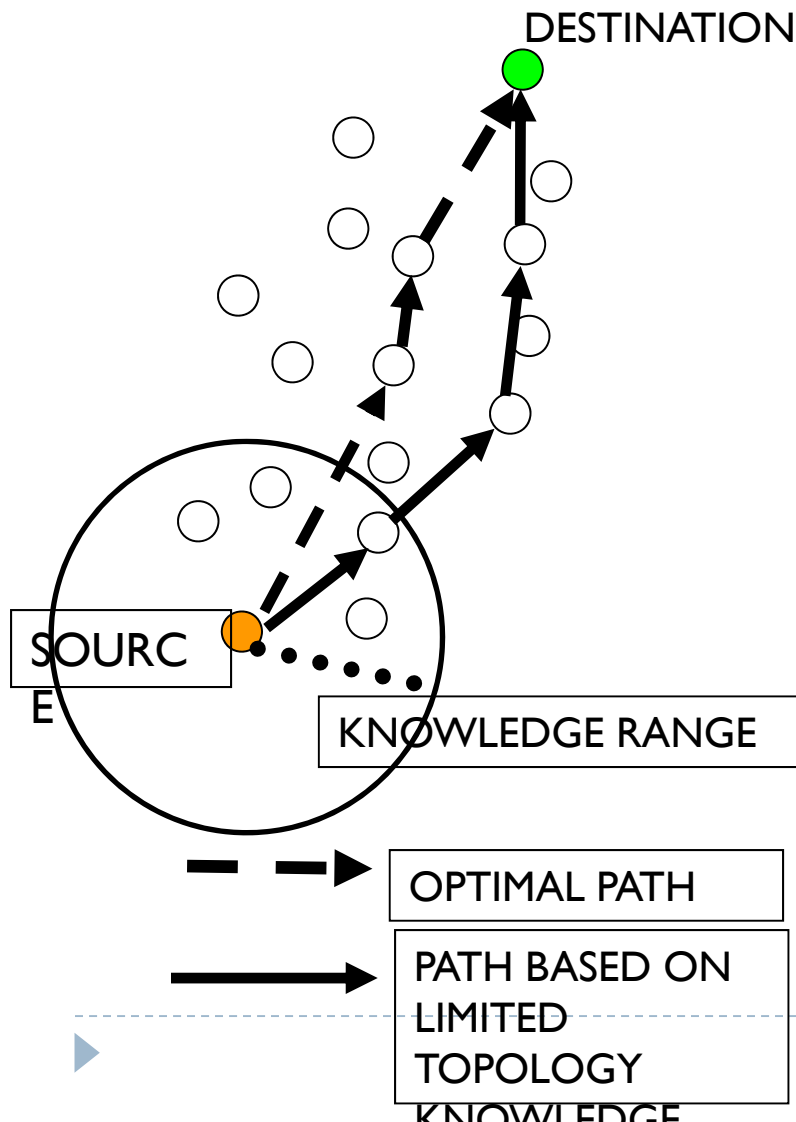
- 1) Número pequeño de vecinos
- 2) Consumo de energía bajo

Rango de conocimiento grande:

- 1) Número de vecinos grande
- 2) Alto consumo de energía

- ▶ Los dispositivos retransmiten los paquetes basados en la información de los vecinos

# Costo de la comunicación vs Costo de la Información



- ▶ **Conocimiento de la topología completo**
  - ▶ Cada dispositivo puede calcular el camino óptimo globalmente
  - ▶ Alto costo para adquirir el conocimiento de la topología (señalización)
- ▶ **Conocimiento limitado de la topología**
  - ▶ Puede llevar a caminos sub-óptimos
  - ▶ El costo de la información de la topología depende del Rango de Conocimiento