

Ciudades Inteligentes Vistas como un Juego: Control, Energía y Agua

Nicanor Quijano

Universidad de los Andes

Septiembre 2016



A.Einstein

“La vida es peligrosa, no por los hombres que hacen el mal, sino por los que se sientan a ver qué pasa”



Agenda

- ▶ Qué significa el título?
 - ▶ Personajes
 - ▶ Smart Cities
 - ▶ Teoría de Juegos
- ▶ Distributed Network Optimization Control
 - ▶ Energía
 - ▶ Agua
- ▶ Conclusiones
- ▶ Agradecimientos

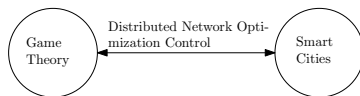


Figure: Agenda.



J.Nash

“I would not dare to say that there is a direct relation between mathematics and madness, but there is no doubt that great mathematicians suffer from maniacal characteristics, delirium and symptoms of schizophrenia.”



János Lajos Neumann¹

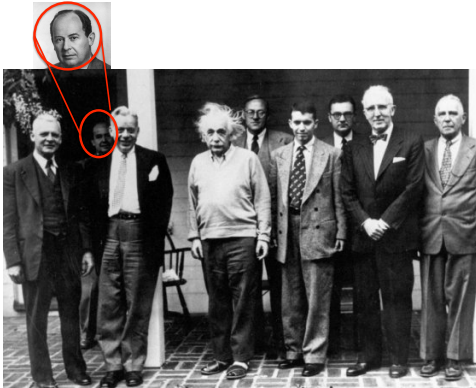


Figure: D.Munro; J.Von Neumann; W.Oats; A.Einstein;
O.Morgenstern; M.Laserna; S.Wilkes; M.Morse; S.Lefschetz.

¹ Foto tomada y adaptada del diario El Espectador

- ▶ Nació en diciembre 28 de 1903 en Budapest (judío), y murió de cáncer en Washington en febrero 8 de 1957 (católico).
- ▶ Hizo aportes en matemáticas, física, economía, tecnología de armamento nuclear y ciencias de la computación.



Conceptos Básicos²

- ▶ La teoría de juegos es el nombre que se le da a la metodología que utiliza herramientas matemáticas para modelar y analizar situaciones en las que interactivamente se toman decisiones.
- ▶ En estas situaciones se involucran varios actores que toman las decisiones (jugadores), los cuales tienen diferentes objetivos.
- ▶ Cada una de las decisiones que se toman afectan directamente a los demás.
- ▶ La teoría de juegos trata de predecir el comportamiento de los jugadores y algunas veces sugiere a los jugadores cómo deberían ser sus acciones para maximizar algún objetivo.



²Game Theory, M.Maschler, E.Solan, Z.Zamir.

Fundamentos y Aplicabilidad

- ▶ Los fundamentos de la teoría de juegos se cimentaron en el libro “The Theory of Games and Economic Behavior” de J. von Neumann y O.Morgenstern en 1944.
- ▶ La aplicabilidad de la teoría de juegos se debe al hecho de ser una herramienta matemática que no necesita un contexto preciso, la cual puede ser utilizada en cualquier situación en la que existan tomas de decisiones interactivas.
- ▶ Campos de Acción: economía, redes, ciencias políticas, aplicaciones militares, y **biología**.



Tipos de Juegos

- ▶ Matrix games: tienen un número finito de estrategias. Una vez un jugador ha tomado una decisión, el pago que se obtiene se da por medio de una matriz de pago. En juegos de dos jugadores, las filas corresponden a las estrategias de un jugador, mientras que las columnas corresponden a las estrategias del otro jugador.
- ▶ Continuous-static games: en este caso las estrategias no necesitan ser discretas y las estrategias y los pagos se dan en tiempo continuo. El juego es estático ya que la estrategia del individuo es constante.
- ▶ **Differential/Dynamic games:** se caracterizan por la variación temporal que se tiene en las estrategias y en los pagos. Por lo general estas dinámicas están dadas por ecuaciones diferenciales o de diferencias.



Clases de Juegos Dinámicos⁴

1. Stackelberg
2. Standard Repeated Games
3. Stochastic Games
4. Juegos Diferenciales
5. Evolutionary Games



⁴ Game Theory and Learning for Wireless Networks, S.Lasauce and H.Tembine. < > < > < > < >

Le Corbusier, 1950

“Bogotá seguirá pateando en su mediocre destino”



Charles-Edouard Jeanneret Gris⁵



Fernando Mazuera
Alcalde de Bogotá

Le Corbusier

Figure: Le Corbusier y el alcalde F.Mazuera.

- ▶ Nació en Chaux-des-Fonds (Suiza) en 1886 y muere en París en 1965.
- ▶ Cuando propone la construcción del edificio de las Naciones Unidas en NYC, conoce al delegado colombiano Eduardo Zuleta.



⁵ Foto tomada de la Revista Semana

Plan Director Bogotá 1950⁶

- ▶ Bogotá 1947: no más de 600.000 habitantes.
- ▶ El informe técnico explica la propuesta en cuatro escalas de intervención: regional, metropolitana, urbana y de sector (centro cívico y sector residencial), ordenados a partir de las cuatro actividades que regían el urbanismo después del CIAM de Bérgamo de 1949 y de la Carta de Atenas: habitar, trabajar, recrear el cuerpo y el espíritu y circular.
- ▶ La puesta en marcha del plan se desvaneció ante la falta de respuesta de las autoridades de la ciudad, el rechazo que en ciertos medios produjo la propuesta y porque los propietarios del suelo, que se apresuraron a edificar cuando corrió la voz de las vías del plan.



⁶ <http://www.lecorbusierenbogota.com/>

Chandigarh, India: Ciudad del Siglo XX⁷

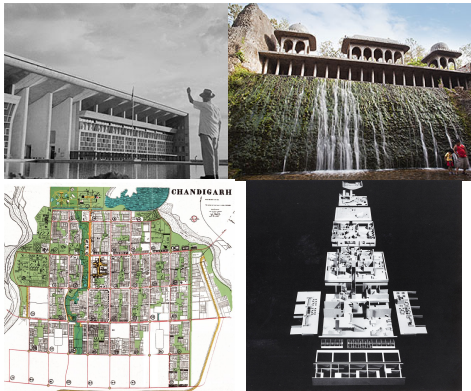


Figure: Ciudad funcional a 240kms de ND, con 56 sectores independientes que forman mini-ciudades. El sector 17 es el corazón de la ciudad y ahí hay zonas de ocio, comercio y bancos.



Ciudades del Siglo XXI: Smart Cities



Figure: De acuerdo a la empresa Schneider esta es una visión general de una ciudad inteligente.

- Una ciudad inteligente será aquella que combine de manera óptima la movilidad, los recursos energéticos y de agua, todo ello combinado con una alta calidad de vida en la que el gobierno local y su gente interactúe con el fin de buscar el bienestar colectivo.



Smart Cities (1)⁸

- ▶ Según las Naciones Unidas, el número de personas que vivirán en ciudades pasará de 3,6 billones a 6,3 billones entre 2010-2050. \Rightarrow para 2050 el 70% de la población será urbana con las necesidades que todas estas personas requieren (energía, agua, movilidad).
- ▶ En otras palabras, en 4 décadas tendremos la misma cantidad de personas que hemos tenido en 21 siglos.

⁸

<http://theinstitute.ieee.org/technology-focus/technology-topic/an-urban-reality-smart-cities>



Smart Cities (2)⁹

- ▶ Cuando se habla del concepto de Smart cities se tiende a dividir en “energy-focused”, “transportation-focused”, “building-focused”, “water-resources-focused”, y ‘governance-focused’.
- ▶ La región de Asia-Pacífico posee la mayor cantidad de planes de desarrollo para Smart cities (51% del total mundial). La mayoría de las iniciativas en esta región son en energía tratando de disminuir la presión que hay en la cantidad de recursos energéticos debido a la rápida urbanización de ciertas zonas. Otros casos en esta región son a nivel de gobierno, los cuales enfatizan la mejora en la seguridad pública, la reducción en la incidencia que hay de la urbanización, y en promover la salud de los ciudadanos.



⁹ CHEN, C.. The Trend towards “Smart Cities”. International Journal of Automation and Smart Technology, North America, 4, jun. 2014.

Smart Cities (3)¹⁰

- ▶ En USA se centran en Smart meters y Smart grids integrados con ICT con el fin de reemplazar la obsoleta estructura actual.
- ▶ En EU el foco está en promover las energías alternativas, aunque también hay proyectos en transporte (eléctrico) con el fin de reducir las emisiones de efecto invernadero.
- ▶ Lo primero que debe hacer una ciudad para volverse “inteligente” es automatizarla y computarizarla.

¹⁰ CHEN, C.. The Trend towards “Smart Cities”. International Journal of Automation and Smart Technology, North America, 4, jun. 2014.



En Qué Concentrarse?

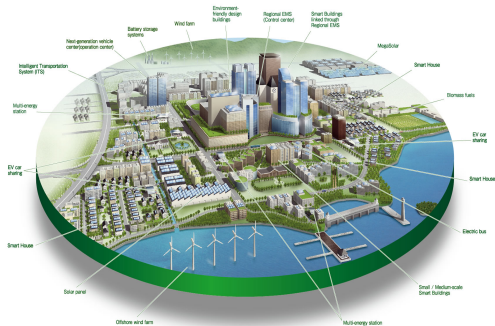


Figure: De acuerdo a la empresa Axedra esta es una visión general de una microred de energía inteligente.

► Vamos a atacar dos problemas generales de infraestructura: **energía y agua**, los cuales poseen problemas en **asignación dinámica de recursos**.



J.C.Willems

“The art in control theory is to shape new questions, to introduce new concepts, to build new paradigms”



Definición Microred¹²

Una microred se puede definir como la interconexión a la red de distribución en bajo voltaje de cargas, fuentes distribuidas de energía (renovables o convencionales) con capacidad de almacenamiento (e.g., baterías, capacitores, flywheels), que puede operar o no en modo isla.

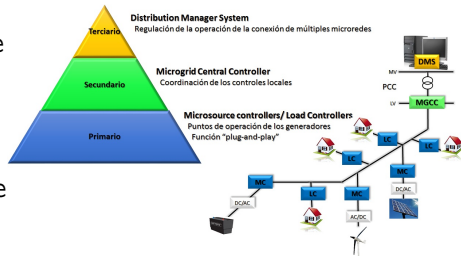


Figure: Niveles jerárquicos de una microred.

¹²Lasseter R, Akhil A, Marnay C, Stephens J, Dagle J, Guttromson R, et al. White paper on integration of distributed energy resources. The CERTS microgrid concept; 2002.
Dimeas AL, Member S, Hatzigiargyriou ND, Member S. Operation of a Multiagent System for Microgrid Control. IEEE Trans Power Syst 2005;20:1447–55.



Características de una Microred

- ▶ Arquitectura está ligada directamente a la ubicación geográfica de las cargas y a la concentración de la misma \Rightarrow está asociada con la disponibilidad y el tipo del recurso para la generación.
- ▶ Al tener generación totalmente distribuida o en clusters existe la posibilidad de utilizar interruptores o seccionadores para aislar posibles fallas y alimentar las cargas con otra fuente de alimentación.
- ▶ Una de las ventajas de las microredes es que su expansión puede hacerse gradualmente a través de módulos de generación, lo cual reduce los costos de capital inicial.



Visión Jerárquica¹³

En una arquitectura distribuida se requiere una mayor infraestructura del sistema de comunicaciones, y el sistema de control puede ser más complejo al coordinar distintos elementos de la red.

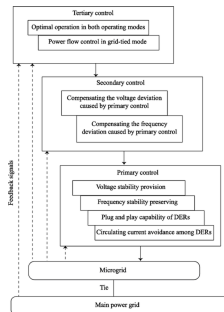


Fig. 1. Hierarchical control levels of a microgrid.

Figure: Niveles jerárquicos.

¹³ Hierarchical Structure of Microgrids Control System, A.Bidram, A.Davoudi, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.3, No. 4, 2012.



Proyecto ALTERNAR (1)¹⁴

- ▶ Con el fin de modernizar el sistema eléctrico de la UdeNar, se propone el diseño de una microrred.
- ▶ UdeNar cuenta con 20 edificios en un área aproximada de 100.000 mt².
- ▶ Levantamiento de la red eléctrica actual de la Universidad de Nariño.
- ▶ La red que alimenta el campus en total cuenta con ocho subestaciones (transformadores) tipo poste y una tipo interior.



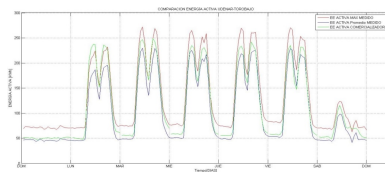
Figure: Red Eléctrica Media Tensión UdeNar.

¹⁴ Proyecto ALTERNAR, BPIN 20130001000089, Acuerdo 005 de 2013, OCAD - Fondo de CTel SGR, Colombia.

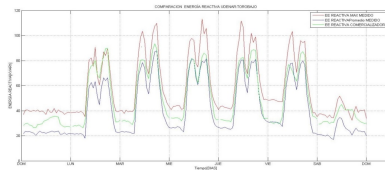


Caracterización de la Demanda

- ▶ Para caracterizar la demanda se utilizó el analizador de redes HIOKI 3197 en el lado de baja tensión de cada uno de los transformadores del campus. Para hacer mediciones de carácter local en los tableros eléctricos más relevantes, se utilizaron dataloggers DL160.
- ▶ Se validan resultados con los datos oficiales suministrados por ASC.



a) Comparación energía Activa



b) Comparación energía Reactiva

Figure: Comparación del consumo de energía medido vs. oficial.



Generación

- ▶ Se contará con 3 tipos de generadores: un grupo electrógeno diésel, 3 sistemas fotovoltaicos, un aerogenerador.
- ▶ Para que la microred pueda operar aislada de la red eléctrica principal, se eligió el grupo electrógeno Modasa MD-410, el cual tiene una potencia nominal de 410kW-465kVA.

Generador	S [kVA]	P [kW]	Q [kVar]
G1-Diesel	513.00	410.00	308.33
G2-Fotovoltaico	40.63	32.50	24.38
G3-Fotovoltaico	11.88	9.50	7.13
G4-Fotovoltaico	20.00	16.00	12.00
G6-Fotovoltaico	8.13	6.50	4.88
G7-Biomasa	22.50	18.00	13.50

Figure: Capacidad de los generadores.



Fotovoltaico

- ▶ Por el área disponible, se decidió implementar 3 sistemas fotovoltaicos (todos de 12.4 kWp). Dos en la terraza del Bloque T (bloque se actualmente se encuentra en construcción y que albergará buena parte de los laboratorios especializados de la universidad) y uno de 12.4 kWp en la terraza del Bloque de Laboratorios de Ingeniería.
- ▶ Cada uno de los sistemas está compuesto por 40 paneles de 310 Wp, un inversor híbrido y 8 baterías de 250 Ah.

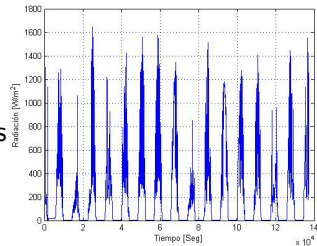


Figure: Irradiancia por 17 días de febrero 2015.



Eólico

- ▶ La ubicación se estableció teniendo en cuenta que la altura de este bloque, una vez terminada su construcción, estará alrededor de los 20 m.
- ▶ El aerogenerador seleccionado es el ENAIR 30 (pnominal: 3500 W) dadas sus características técnicas, eléctricas y de funcionamiento como su velocidad de arranque baja, no necesidad de fuente eléctrica externa para el arranque, y su sistema de orientación pasivo.

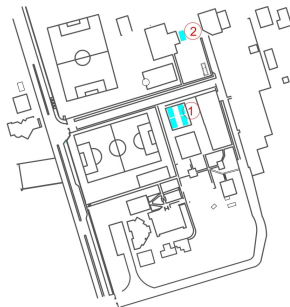


Figure: Ubicación de los sistemas fotovoltaicos (1 y 2) y eólico (2).



Comunicaciones

- ▶ Para la implementación de la topología en estrella extendida se utilizan enlaces de radiofrecuencia que requieren de un nodo central que se encarga de la comunicación con el resto de nodos. La longitud máxima de los enlaces no sobrepasa los 250 metros.
- ▶ Se instalarán 23 medidores inteligentes (Satec EM133) para monitorear puntos clave de la universidad como laboratorios, generadores distribuidos y transformadores.

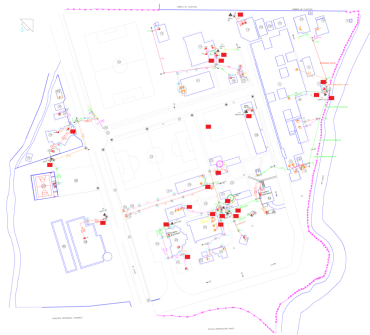


Figure: Ubicación de los medidores.



Problema del Despacho¹⁵

Problema de coordinación de alto nivel.

$$\begin{aligned} \min \quad & H_{tot}(p) = \sum_{j=1}^N h_j(p_j) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^N p_j = P_d, \\ & h_i(p_i) = a_i + b_i p_i + c_i p_i^2, \\ & P_{min_i} \leq p_i \leq P_{max_i}, \quad \text{for } i = 1, \dots, N, \end{aligned}$$

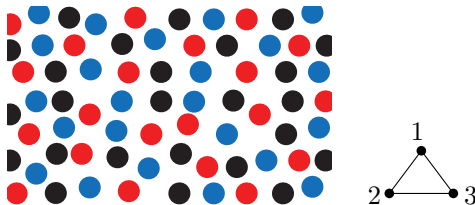
- ▶ Se supone que todos los generados son ctrb (si disponibles).
- ▶ Cada generador tiene controladores de bajo nivel.
- ▶ Las restricciones de las líneas de distribución se respetan.



¹⁵J. Zhu, Optimization of Power System Operation. vol. 49. Wiley-IEEE Press. 2009.

Dinámicas poblacionales

A partir de poblaciones bien mezcladas.



$$\dot{x}_i = \sum_{j \in S} x_j \rho_{ji}(F(x), x) - x_i \sum_{j \in S} \rho_{ij}(F(x), x)$$



$$\dot{x}_i = \sum_{j \in S} x_j \rho_{ji}(F(x), x) - x_i \sum_{j \in S} \rho_{ij}(F(x), x)$$

Replicator Dynamics

$$\rho_{ij}(F(x), x) = x_j [F_j - F_i]_+,$$

$$\dot{x}_i = x_i \left(F_i - \sum_{j \in S} x_j F_j \right)$$

La evolución (proceso de selección natural) es un juego evolutivo:

- ▶ Los jugadores son cada uno de los organismos y las estrategias son fenotipos heredables.
- ▶ Un conjunto de estrategias corresponde a todas las estrategias posibles desde el punto de vista evolutivo.
- ▶ Los pagos se expresan por medio de las fitness individuales, donde la fitness se define como el valor esperado de la tasa de crecimiento per capita para una estrategia y circunstancias dadas.



Analogías

- ▶ Los replicator dynamics se pueden utilizar como un método eficiente para resolver problemas en sistemas distribuidos que tengan que hacer asignación dinámica de los recursos.
- ▶ Los recursos de los hábitats están correlacionados con las variables (controlables) del proceso (e.g., temperatura en un sistema térmico).
- ▶ La distribución de los agentes (frecuencia relativa) está relacionada con los recursos del proceso o con las variables de control (e.g., potencia en sistemas térmicos, o potencia en generadores distribuidos de una microgrid).
- ▶ La escogencia de la función de fitness es primordial. La fitness debe respetar el comportamiento del proceso.



Replicator Dynamics

Analogía con el proceso de despacho

- ▶ La microgrid tiene N DGs (que corresponden a los hábitats).
- ▶ Sea p_i la potencia despachada por el i^{th} DG (población en cada hábitat).
- ▶ Si P_d es la potencia fija demandada por la microgrid (la población total), se tiene $\sum_{i=1}^N p_i = P_d$.
- ▶ La fitness de cada generador depende de las características de los DGs. Para este caso, se utiliza la función logística

$$f_i(p_i) = \frac{1}{c_i} \left(1 - \frac{p_i}{P_{nom_i}} \right)$$



Punto de Equilibrio y Optimalidad¹⁶

El punto de equilibrio para los replicator dynamics viene dado por

$$\dot{p}_i = p_i (f_i - \bar{f}) \quad \text{para todo } i = 1, \dots, N$$

con $f_i = \frac{1}{c_i} \left(1 - \frac{p_i}{P_{nom_i}} \right)$. Por lo tanto, se tiene que el punto de equilibrio es

$$p_i^* = P_{nom_i} - \frac{c_i P_{nom_i}}{\sum_{j=1}^N c_j P_{nom_j}} (P_{max} - P_d)$$

Mismo que se tiene al maximizar la función de utilidad en el problema de despacho óptimo!!

¹⁶

A.Pantoja and N. Quijano. A population dynamics approach for the dispatch of distributed generators, IEEE

Transactions on Industrial Electronics, 2011.



Resultados Despacho Activa y Reactiva (1)

- ▶ Capacidad instalada de 930 kW, con 25 tableros generales y 41 de distribución, un total de 9 transformadores y alrededor de 70 nodos.
- ▶ Planta diesel es el generador que especifica la referencia dada su capacidad de generación y para su instalación se hace necesario el uso de un transformador adicional y un punto de conexión a media tensión, mientras PV se conectan a baja tensión.

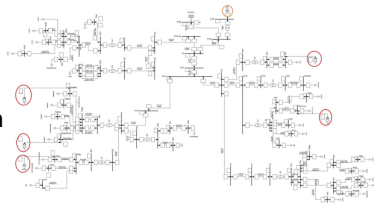
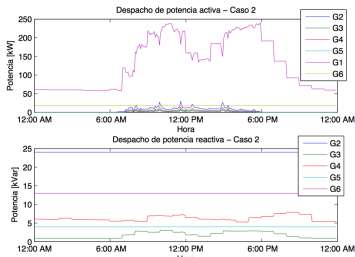


Figure: Diagrama de la red y ubicación DG.



Resultados Despacho Activa y Reactiva (2)



Tipo de generador	c_i [\$ / kW ² h]	b_i [\$ / kWh]	a_i [\$ / h]
Diesel	1.53	1150.50	104.44
Fotovoltaico	0.00	903.00	28.77
Biomasa	1.15	838.10	190.92

Figure: Coeficientes de costo por tipo de generador.

Figure: Despacho de potencia activa y reactiva.



Resultados Despacho Activa y Reactiva (3)¹⁷

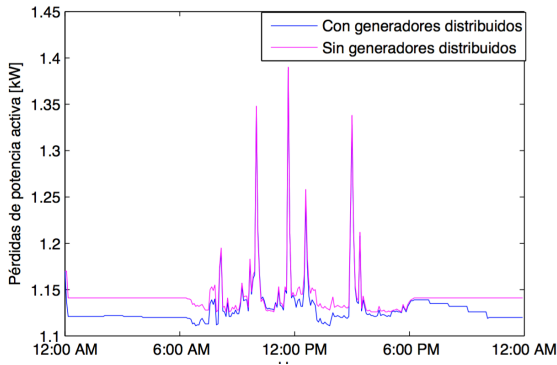


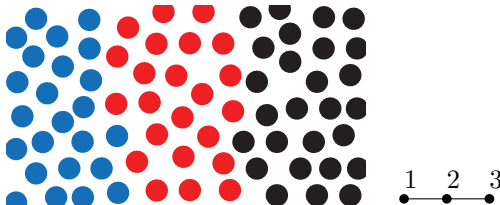
Figure: Comparación del valor de pérdidas.

¹⁷ N.España, A.Pantoja, N.Quijano, Compensación óptima de reactivos usando dinámicas poblacionales para una microrred en modo isla, Tesis de MS, 2016.



Y si no conozco todo??¹⁸

A partir de una población que no está bien mezclada.



$$\dot{x}_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_j \rho_{ji}(F(x), x) - x_i \sum_{j \in \mathcal{N}_i} \rho_{ij}(F(x), x)$$

¹⁸ J.Barreiro, G.Obando, N.Quijano, Distributed Population Dynamics: Optimization and Control Applications,

To appear IEEE Transactions Systems, Man, and Cybernetics, 2016.



Y si no conozco todo??¹⁹

$$\dot{x}_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_j \rho_{ji}(F(x), x) - x_i \sum_{j \in \mathcal{N}_i} \rho_{ij}(F(x), x)$$

Dinámicas de replicador distribuidas:

$$\rho_{ij}(F(x), x) = x_j [F_j - F_i]_+,$$

$$\dot{x}_i = x_i \left(F_i \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_j - \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_j F_j \right)$$

$$\dot{x}_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_i x_j (F_i - F_j)$$

¹⁹Dispatch of distributed generators under local-information constraints, A.Pantoja, N.Quijano, K.Passino, American Control Conference (ACC), 2014.



Ray Loriga

“La memoria es el perro más tonto, le tiras un palo y te devuelve cualquier cosa”



Problemática²⁰

Control de sistemas de drenaje urbano

Eventos de Inundación:

- ▶ *Urbanización*
- ▶ *Complejidad en infraestructura*
- ▶ *Cambio climático*



²⁰

J.Barreiro, G.Obando, G.Riaño, N.Quijano, C.Ocampo, Decentralized Control for Urban Drainage Systems
Via Population Dynamics: Bogotá Case Study, European Control Conference 2015.



Problemática²⁰

Control de sistemas de drenaje urbano

Eventos de Inundación:

- ▶ *Urbanización*
- ▶ *Complejidad en infraestructura*
- ▶ *Cambio climático*

Soluciones:

- ▶ *En la etapa de diseño* → *no es útil para sistemas que ya existen (e.g., caso Bogotá)*
- ▶ *Control distribuido para el manejo óptimo*



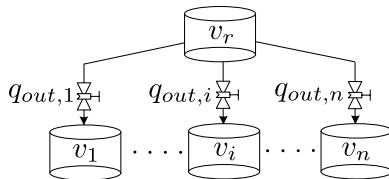
²⁰

J.Barreiro, G.Obando, G.Riaño, N.Quijano, C.Ocampo, Decentralized Control for Urban Drainage Systems
Via Population Dynamics: Bogotá Case Study, European Control Conference 2015.

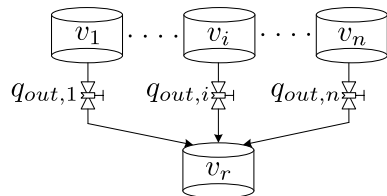


Esquemas Generales²¹

Flujo divergiendo de diversos
tanques: **red de distribución
de agua**



Flujo convergiendo de diversos
tanques: **Red de drenaje**



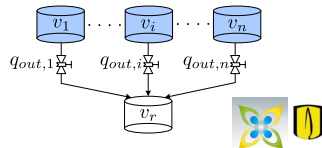
²¹E. Ramírez-Llanos and N. Quijano, A population dynamics approach for the water distribution problem, International Journal of Control, 2010

M. Fox and J. Shamma, Population games, stable games, and passivity, Games, 2013.



Control Basado en Dinámicas Poblacionales

\mathcal{S} : conjunto de n reservorios, i.e., $\mathcal{S} = \{1, \dots, n\}$ (estrategias)



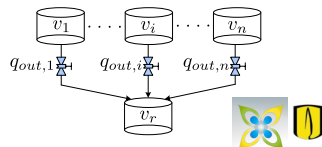
Control Basado en Dinámicas Poblacionales

\mathcal{S} : conjunto de n reservorios, i.e., $\mathcal{S} = \{1, \dots, n\}$ (estrategias)

$x_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: prop agentes seleccionan reservorio $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: population state o distribución a lo largo de los reservorios

$\Delta = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n : \mathbf{x}^\top \mathbf{1}_n = 1\}$: conjunto de posibles estados



Control Basado en Dinámicas Poblacionales

\mathcal{S} : conjunto de n reservorios, i.e., $\mathcal{S} = \{1, \dots, n\}$ (estrategias)

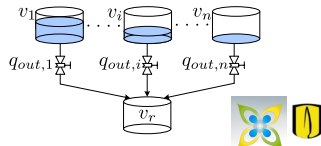
$x_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: prop agentes seleccionan reservorio $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: population state o distribución a lo largo de los reservorios

$\Delta = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n : \mathbf{x}^\top \mathbf{1}_n = 1\}$: conjunto de posibles estados

$f_i(\mathbf{x})$: fitness function $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{F}^\top = [f_1 \quad \dots \quad f_n]$: campo vectorial de las fitness



Control Basado en Dinámicas Poblacionales

\mathcal{S} : conjunto de n reservorios, i.e., $\mathcal{S} = \{1, \dots, n\}$ (estrategias)

$x_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: prop agentes seleccionan reservorio $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: population state o distribución a lo largo de los reservorios

$\Delta = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n : \mathbf{x}^\top \mathbf{1}_n = 1\}$: conjunto de posibles estados

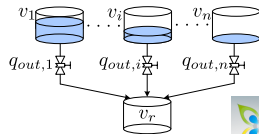
$f_i(\mathbf{x})$: fitness function $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{F}^\top = [f_1 \quad \dots \quad f_n]$: campo vectorial de las fitness

$v_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: volumen del reservorio i

$\bar{v}_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: max vol

$\mathbf{v} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: vector de volúmenes



Control Basado en Dinámicas Poblacionales

\mathcal{S} : conjunto de n reservorios, i.e., $\mathcal{S} = \{1, \dots, n\}$ (estrategias)

$x_i \in \mathbb{R}_{\geq 0}$: prop agentes seleccionan reservorio $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: population state o distribución a lo largo de los reservorios

$\Delta = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n : \mathbf{x}^\top \mathbf{1}_n = 1\}$: conjunto de posibles estados

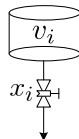
$f_i(\mathbf{x})$: fitness function $i \in \mathcal{S}$

$\mathbf{F}^\top = [f_1 \ \dots \ f_n]$: campo vectorial de las fitness

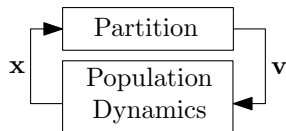
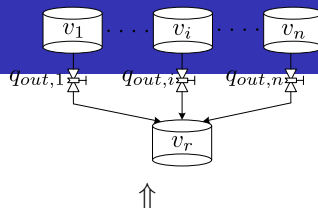
Diseño de Control \rightarrow Selección de \mathbf{F} para un juego estable

Por ejemplo, para el *caso de convergencia de flujo*:

$$f_i = - \left(\frac{1}{A \frac{v_i}{\bar{v}_i} + \epsilon} \right) x_i$$



Population-dynamics-based control



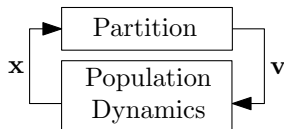
Population-dynamics-based control²²

Replicator dynamics

$$\dot{\mathbf{x}} = \text{diag}(\mathbf{x}) \left(\mathbf{F} - \mathbf{1}_n \mathbf{x}^\top \mathbf{F} \right)$$

Projection dynamics

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F} - \frac{1}{n} \mathbf{1}_n \mathbf{F}^\top \mathbf{1}_n$$

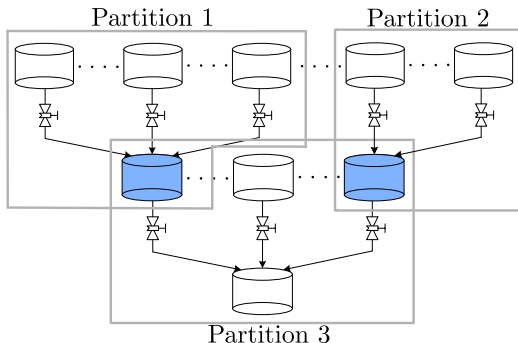


²²

P.Taylor and L.Jonker, Evolutionary stable strategies and game dynamics, Math. biosciences, 1978.
 W. Sandholm, E. Dokumaci, and R. Lahkar, The projection dynamic and the replicator dynamic, Games and Economic Behavior, 2008.



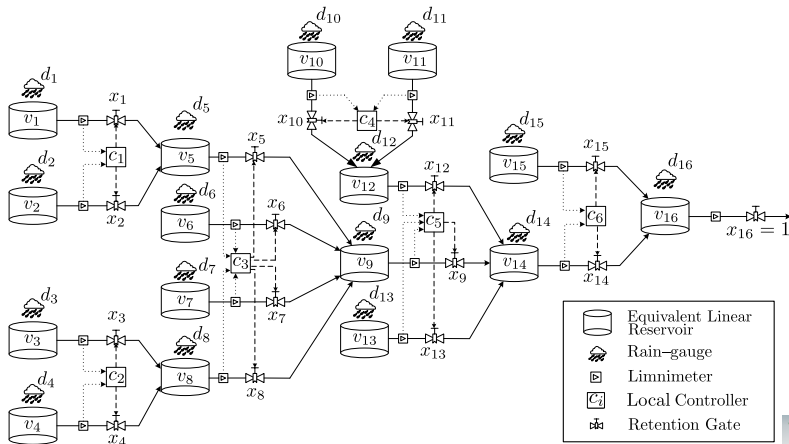
Particionado



Un reservorio puede ser una fuente o un receptor en cada una de las particiones

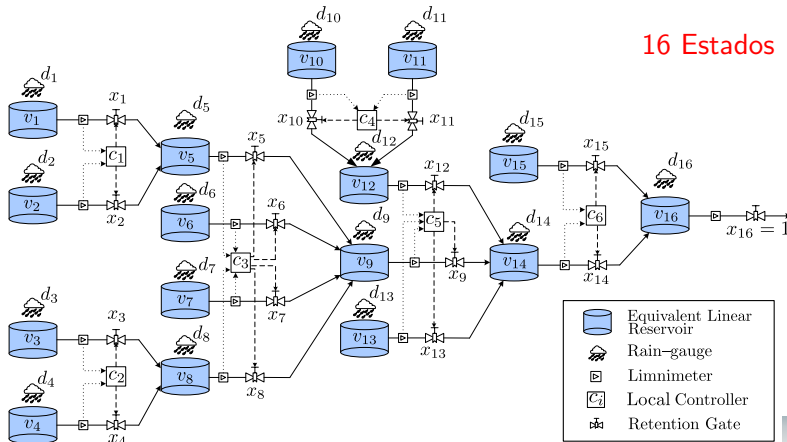


Caso de Estudio Bogotá



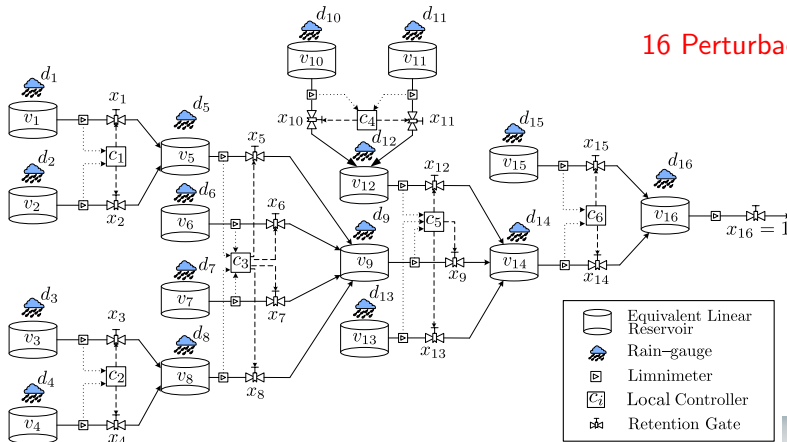
Caso de Estudio Bogotá

16 Estados

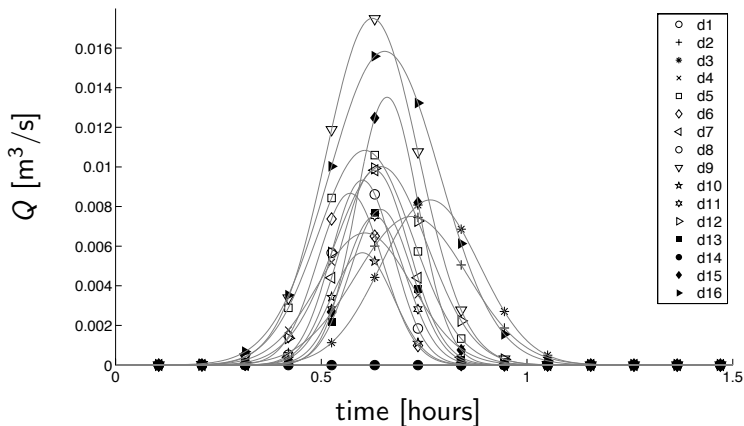


Caso de Estudio Bogotá

16 Perturbaciones

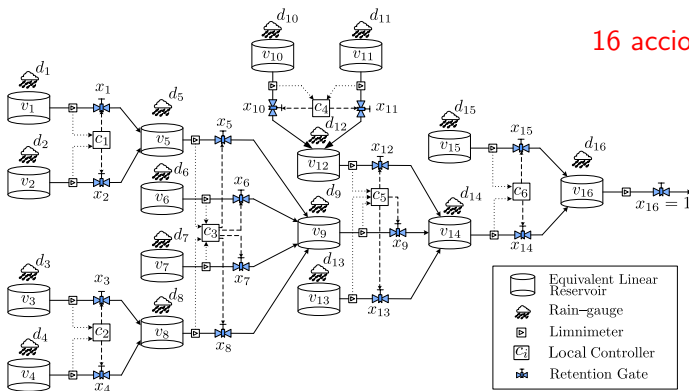


Perturbaciones



Caso de Estudio Bogotá²³

16 acciones de ctrl

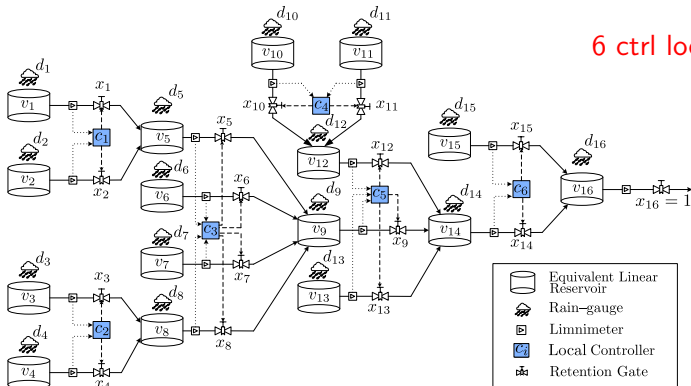


²³ Modeling and real-time control of urban drainage systems: A review, L. García, J. Barreiro-Gomez, E. Escobar,

D. Téllez, N. Quijano, C. Ocampo-Martínez, Advances in Water Resources, 2015.



Caso de Estudio Bogotá²⁴

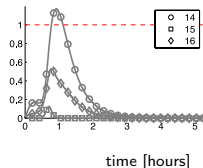
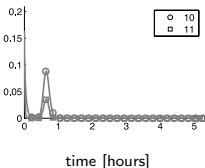
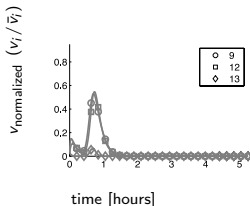
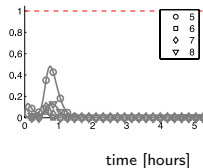
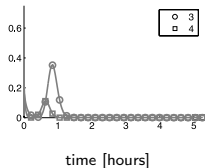
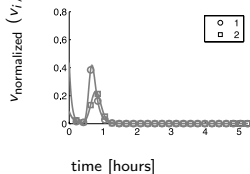


²⁴ MatSWMM—An open-source toolbox for designing real-time control of urban drainage systems, G Riaño-Briceño, J Barreiro-Gomez, A Ramirez-Jaime, N Quijano, C. Ocampo-Martínez, Environmental Modelling & Software, 2016.

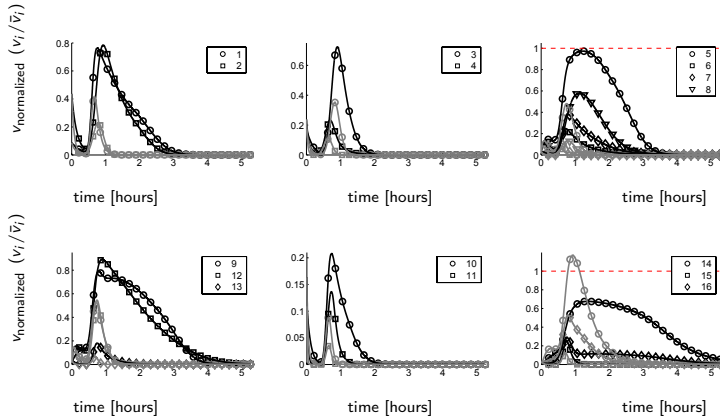


Sin Control

Objetivo: evitar overflows independientemente de las perturbaciones utilizando los volúmenes de los reservorios disponibles



Con Control



Resultados

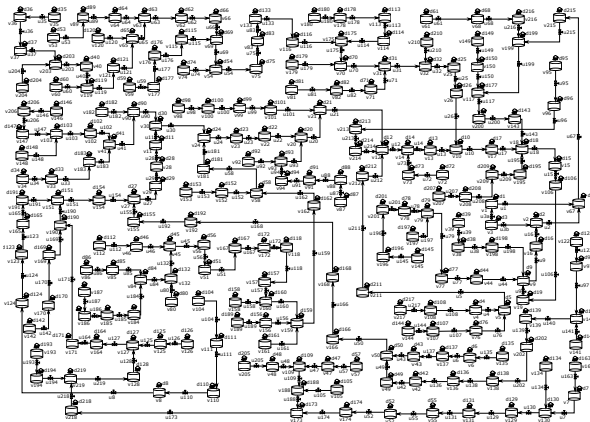
Control case	Overflows [l]
Without Control	1165.28
Decentralized with Population Dynamics	0

- ▶ Reducción de overflows gracias a los volúmenes disponibles.
- ▶ Controlador local centralizado → controlador descentralizado
- ▶ Es una aproximación libre de modelos



Qué estamos haciendo?

Probando en un caso de estudio en Bogotá



R.Piglia

“La ética es como el amor-dijo Renzi-. Se vive en presente, las consecuencias no importan. Si uno piensa en el pasado es porque ya perdió la pasión...”



Conclusiones

- ▶ La asignación dinámica de recursos es un problema abierto, que puede atacarse por medio de técnicas basadas en juegos dinámicos.
- ▶ Se presentaron trabajos asociados con la parte de energía (microgrids), así como aplicaciones en aguas.
- ▶ Se tienen aportes en otras áreas de las smart cities (e.g., respuesta de la demanda, dinámicas de opinión, sincronización, cyber-security, protecciones, planeamiento, despacho a varios niveles, tráfico urbano, simuladores).



Agradecimientos

- ▶ Quisiera agradecer a A.Garcés y los miembros de la Rama IEEE por la invitación.



Agradecimientos

- ▶ Quisiera agradecer a A.Garcés y los miembros de la Rama IEEE por la invitación.
- ▶ Quisiera también agradecer al grupo de trabajo entre los que están: A.Pantoja, E.Mojica-Nava, G.Obando, J.Barreiro, C.Ocampo, J.Giraldo, L.F.Giraldo, C.Barreto, J.Barco, J.Poveda, A.M.Ospina, S.Amaya, D.Mahecha, I.Muñoz, D.Téllez, E.Escobar, G.Riaño, J.L.Morillo, M.Velásquez, J.Rojas, A.Betancur, C.Macana, D.Díaz, E.Ramírez, A.Cortés, M.Parra, J.Cristancho, A.Sierra, C.Caro, S.Jiménez, Y.Chacón, C.García, A.Ramírez, D.de la Torre, A.Castro, P.Ñañez, D.Villa, A.Rengifo y L.F.Cómbita.



Agradecimientos

- ▶ Quisiera agradecer a A.Garcés y los miembros de la Rama IEEE por la invitación.
- ▶ Quisiera también agradecer al grupo de trabajo entre los que están: A.Pantoja, E.Mojica-Nava, G.Obando, J.Barreiro, C.Ocampo, J.Giraldo, L.F.Giraldo, C.Barreto, J.Barco, J.Poveda, A.M.Ospina, S.Amaya, D.Mahecha, I.Muñoz, D.Téllez, E.Escobar, G.Riaño, J.L.Morillo, M.Velásquez, J.Rojas, A.Betancur, C.Macana, D.Díaz, E.Ramírez, A.Cortés, M.Parra, J.Cristancho, A.Sierra, C.Caro, S.Jiménez, Y.Chacón, C.García, A.Ramírez, D.de la Torre, A.Castro, P.Ñañez, D.Villa, A.Rengifo y L.F.Cómbita.
- ▶ Y finalmente, agradecer a Colciencias, SGR, ISAGEN, IMATIC, Codensa, Pavco-Mexichem y UAndes quienes han contribuido/contribuyen con su apoyo económico.

