



Un problema de cadena de suministro para la producción de biocombustibles con incertidumbre

Yajaira Cardona Valdés

Seminario de cómputo científico del posgrado de matemáticas
Facultad de Ciencias UNAM

Jueves 29 de septiembre de 2016

Desde el cerro de la silla se divisa el panorama



...¿en serio?



+ SÓLO ES SUPERADA POR MEXICALI

Zona metropolitana regia, segunda más contaminada



DIFERENCIA ENTRE UN DÍA LABORAL Y UNO DE ASUETO

Debido a que las industrias no laboran y al uso de menos autos, la concentración de partículas contaminantes (PM10) se reduce.



MARZO 17

Según el reporte del Instituto Mexicano para la Competitividad, al año MUEREN 283 PERSONAS por este fenómeno en la entidad

MJONATHÁN TAPIA / EL HORIZONTE
Monterrey y su zona conurbada es la segunda metrópoli más contaminada del país, solamente superada por Mexicali, Baja California, y también ocupa el segundo lugar en defunciones por enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación.
En este rubro solamente es superada por la zona metropolitana de la Ciudad de México. En lo que se refiere a partículas de polvo menores a 10 micras (PM10), en los últimos

tres años, Mexicali ha presentado una concentración promedio anual de 137.17, mientras que Monterrey, que está en segundo lugar de una total de 34 ciudades, presenta 72.70 PM10.
Le sigue en tercera posición Cuernavaca con 72.27, Tijuana con 67.72 y luego Toluca con 57.57, éstas dentro de las cinco ciudades cuyo aire está más contaminado, de acuerdo al último estudio de monitoreo ambiental realizado por el Instituto Mexicano para la Competitividad.

NO.	POR ZONA METROPOLITANA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PARTICULAS	PRO. DE M. CON.
1	Mexicali	137.17	17
2	Monterrey	72.70	17
3	Cuernavaca	72.27	17
4	Tijuana	67.72	17
5	Toluca	57.57	17
6	Mérida	53.03	17
7	Veracruz	53.03	17
8	Tampico	53.03	17
9	Acapulco	53.03	17
10	Aguascalientes	53.03	17
29	Ciudad de México	50.32	17

FUENTE: MONITOREO AMBIENTAL DEL INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD. MUESTRAS POR ENTIDADES RESPIRATORIAS RELACIONADAS A CONTAMINACIÓN

LAS PRINCIPALES RAZONES

► Aunque pueden existir más de 200 sustancias en el aire, en la capital nuevoleonense existen las partículas micras 2.5 y 10, las cuales son altamente nocivas para el ser humano cuando éste se expone a ellas por un tiempo prolongado.



5 millones
de diesel al día*



5 millones
de gasolina al día*



81 mil
hectáreas de pérdida
de suelo forestal*



Las pedreras



La refinera Pemex

Principales ciudades

Los Ángeles	33
París	24
Londres	22

*Comparación para PM 10

Asia

Delhi	286
Kanpur	212
Beijing	121



<http://www.milenio.com>

¿Qué son los **biocombustibles**?

“El **biocombustible** es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la **biomasa** - organismos recientemente vivos (como plantas) o desechos metabólicos (como estiércol de vaca).

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón.



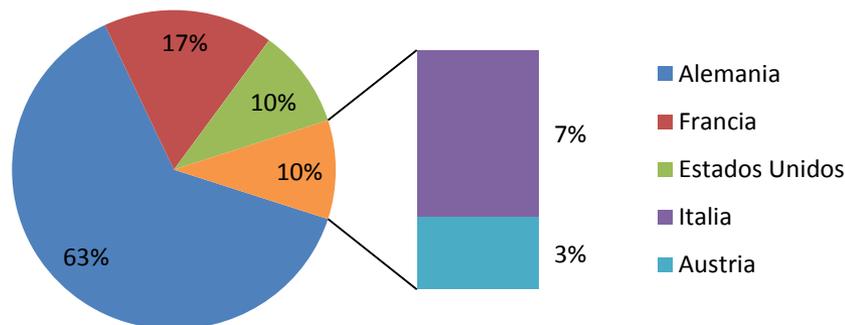
www.the-scientist.com

<http://www.greenpeace.org>

Biodiesel

El **biodiesel** se fabrica a partir de cualquier grasa animal o aceites vegetales, que pueden ser ya usados o sin usar. Se suele utilizar girasol, canola, soja o jatropha, los cuáles, en algunos casos, son cultivados exclusivamente para producirlo. Se puede usar puro o mezclado con gasoil en cualquier proporción en motores diésel.

Productores de biodiésel en el mundo

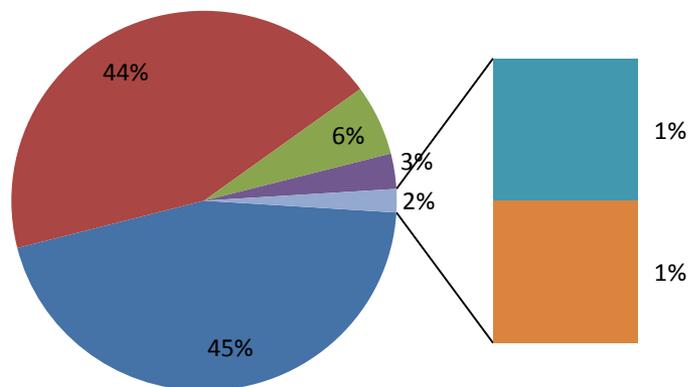


Bioetanol

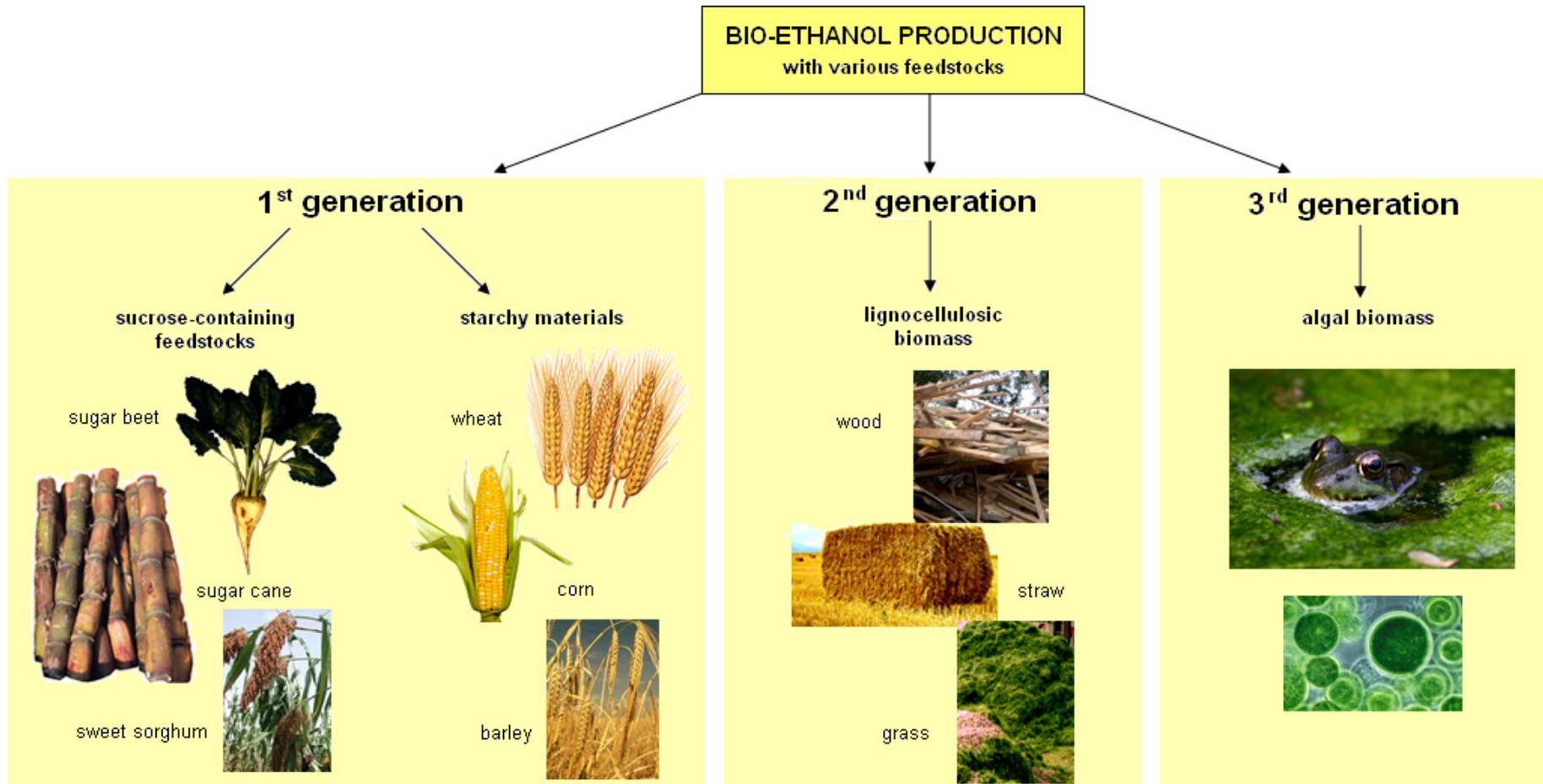
El **bioetanol**, también llamado etanol de biomasa, es un alcohol que se obtiene a partir de maíz, sorgo, caña de azúcar o remolacha. Permite sustituir las gasolinas o naftas en cualquier proporción y que generan contaminación ambiental.

Productores de bioetanol en el mundo

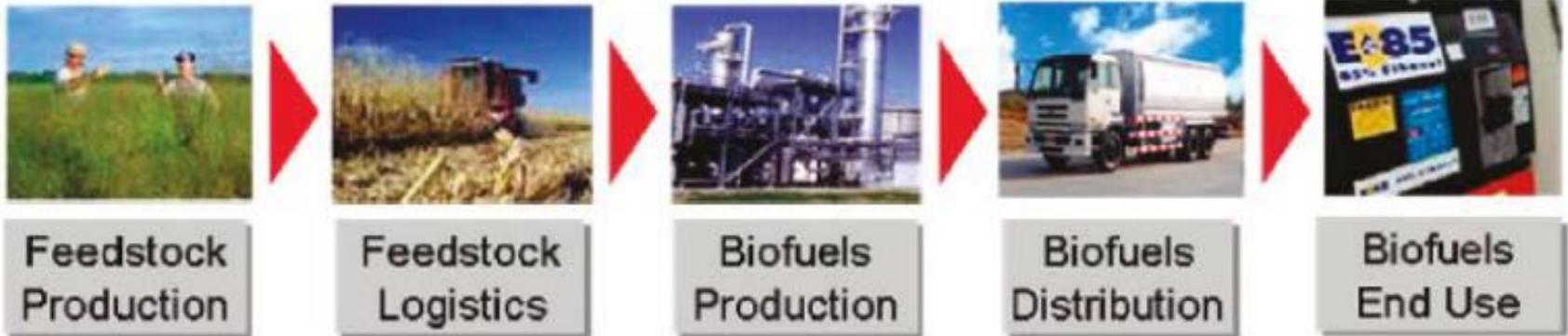
■ Brasil ■ Estados Unidos ■ China ■ Unión europea ■ India ■ Otros Países



Tipos de producción



Cadena de suministro



Relevancia

“It is estimated that about 20–40% of the cost of ethanol is due to **biomass supply**, and about 90% of the costs of supplying biomass are **logistics** related costs...”

Eksioglu et. al. (2009)

Investigación de operaciones

“The biofuel industry is on the verge of growing explosively due to **environmental regulations and renewable, sustainable energy needs...**

Operations Research (OR) can play a pivotal role in providing **decision support** to optimize the biofuel supply chain and to predict how relevant parameters affect system performance and economic viability.

The transition from pilot plant to a **largescale commercial system** will give rise to new issues that OR models can address to enhance **economic viability**.

Therefore, studies of the biofuel SC are indispensable and future research ... will contribute to the growth and viability of the biofuel industry.”

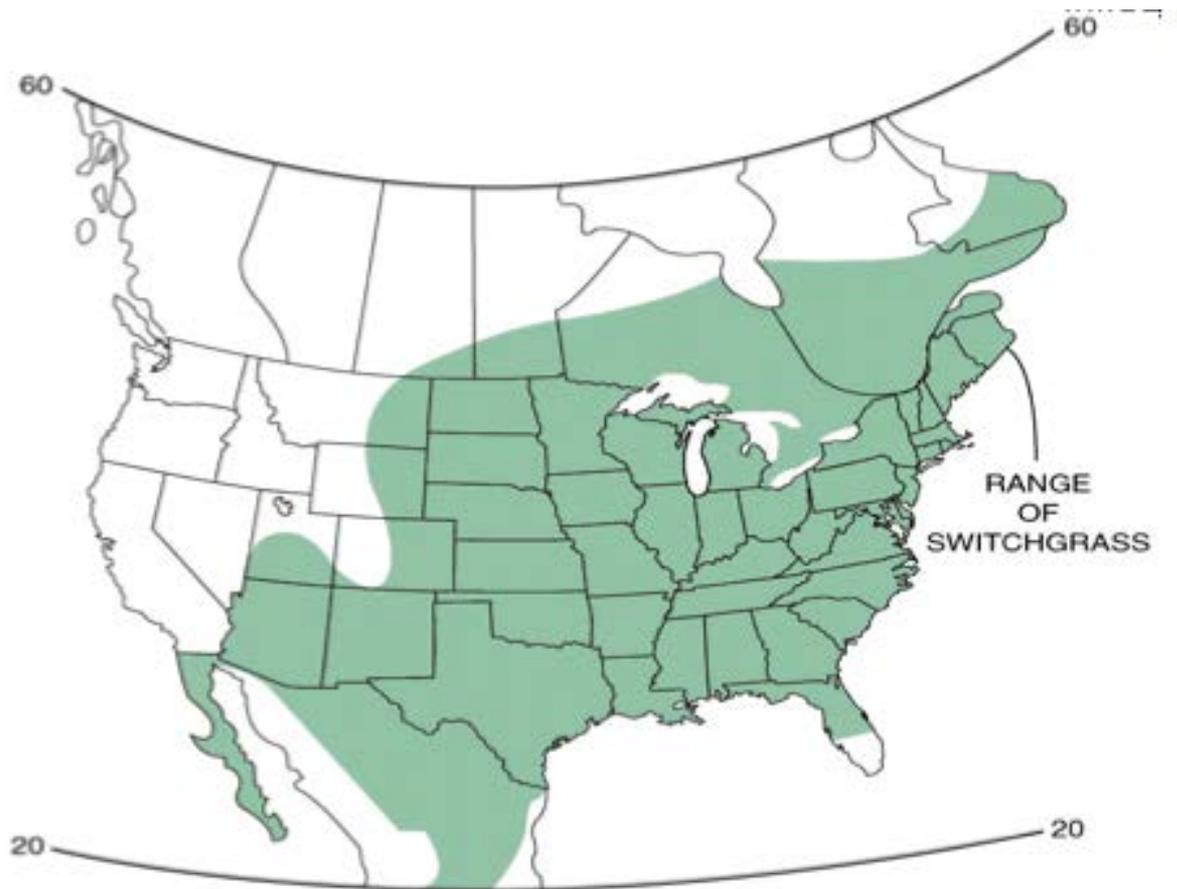
(An et al. 2011)

Biomasa a partir de césped de pradera o pastos altos (*switchgrass*)



www.preferredseed.com

¿Dónde crece el *switchgrass*?



Descripción del problema

La cadena de suministro se compone de proveedores de materia prima y un conjunto potencial de biorefinerías.

- Materia orgánica (*switchgrass*)
- Parámetros inciertos : **humedad** y **ceniza**.
- Las biorefinerías tienen una capacidad de producción y debe especificarse la **tecnología** con la que trabajarán.
- Debe satisfacerse la demanda.

Descripción del problema...

Se envía biomasa (% humedad y % de ceniza) de los proveedores hacia las biorefinerías (con una tecnología instalada), si la biomasa no cumple las especificaciones, deberá preprocesarse hasta alcanzar los niveles adecuados.

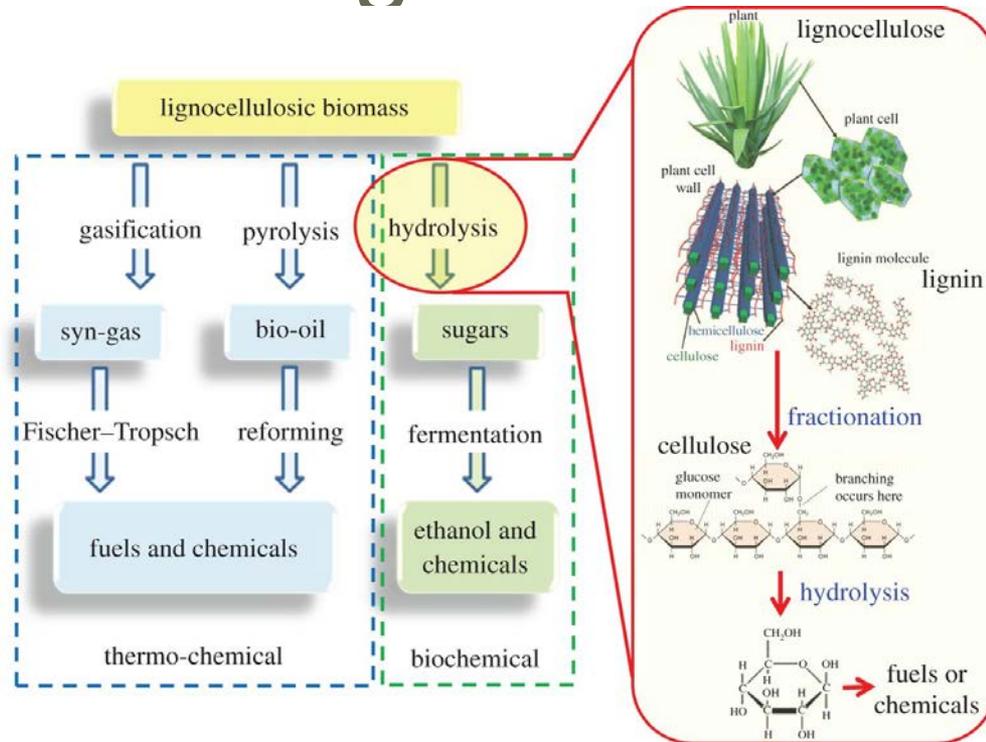


Proveedores de *switchgrass*

<http://www.iowaenergycenter.org/>
http://lter.kbs.msu.edu/ngg_tag/switchgrass/

Biorefinerías

Tecnologías



<http://rsta.royalsocietypublishing.org>

	Termoquímica	Bioquímica
Contenido de Ceniza (δ)	< 1%	< 5%
Contenido de Humedad (ϵ)	< 10%	< 20%

Modelación matemática del problema

La **incertidumbre** de los parámetros se modela a través de un conjunto de **escenarios** con probabilidad conocida.

Se emplea la **programación estocástica** para formular el problema como un **modelo estocástico de dos estados**.

Decisiones

Primer estado (*independientes del escenario*)

- Cuántas y cuáles biorefinerías abrir, la capacidad y la tecnología que se instalará.

Segundo estado (*dependientes del escenario*)

- Cantidad de biomasa húmeda enviada desde los proveedores a las biorefinerías
- Cantidad de biomasa a preprocesar

Modelo matemático

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} f_{jlk} \cdot Z_{jlk} \\ & + p_s \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} c_{iks} \cdot X_{ijks} \\ & + p_s \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} c_k \cdot Y_{ijks} \end{aligned}$$

Se minimiza

- el costo fijo por la apertura de biorefinerías,
- el costo de transporte,
- el costo de preprocesamiento y
- el costo operativo

Costos de preprocesamiento...

$$c_{iks} = \begin{cases} 2.46 + .163(\epsilon_{is} - \epsilon_k) & \text{for } \epsilon_{is} > \epsilon_k \text{ and } \delta_{is} < \delta_k \\ 1.35(\delta_{ik} - \delta_k) & \text{for } \epsilon_{is} < \epsilon_k \text{ and } \delta_{is} > \delta_k \\ 2.46 + .163(\epsilon_{is} - \epsilon_k) + 1.35(\delta_{ik} - \delta_k) & \text{for } \epsilon_{is} > \epsilon_k \text{ and } \delta_{is} > \delta_k \end{cases}$$

Sujeto a las siguientes restricciones ...

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{ijks} \leq q_{is}; \quad \forall i \in I, s \in S \quad (2)$$

$$w_{iks} X_{ijks} = Y_{ijks}; \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} g_{ik} Y_{ijks} \leq \sum_{l \in L} v_{jlk} Z_{jlk}; \quad \forall j \in J, k \in K, s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} g_{ik} Y_{ijks} \geq d; \quad \forall s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K} Z_{jlk} \leq 1; \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$X_{ijks}, Y_{ijks} \geq 0; \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, s \in S \quad (7)$$

$$Z_{jlk} \in \{0, 1\}; \quad \forall j \in J, l \in L, k \in K \quad (8)$$

Factor de conversión de biomasa seca a biomasa húmeda

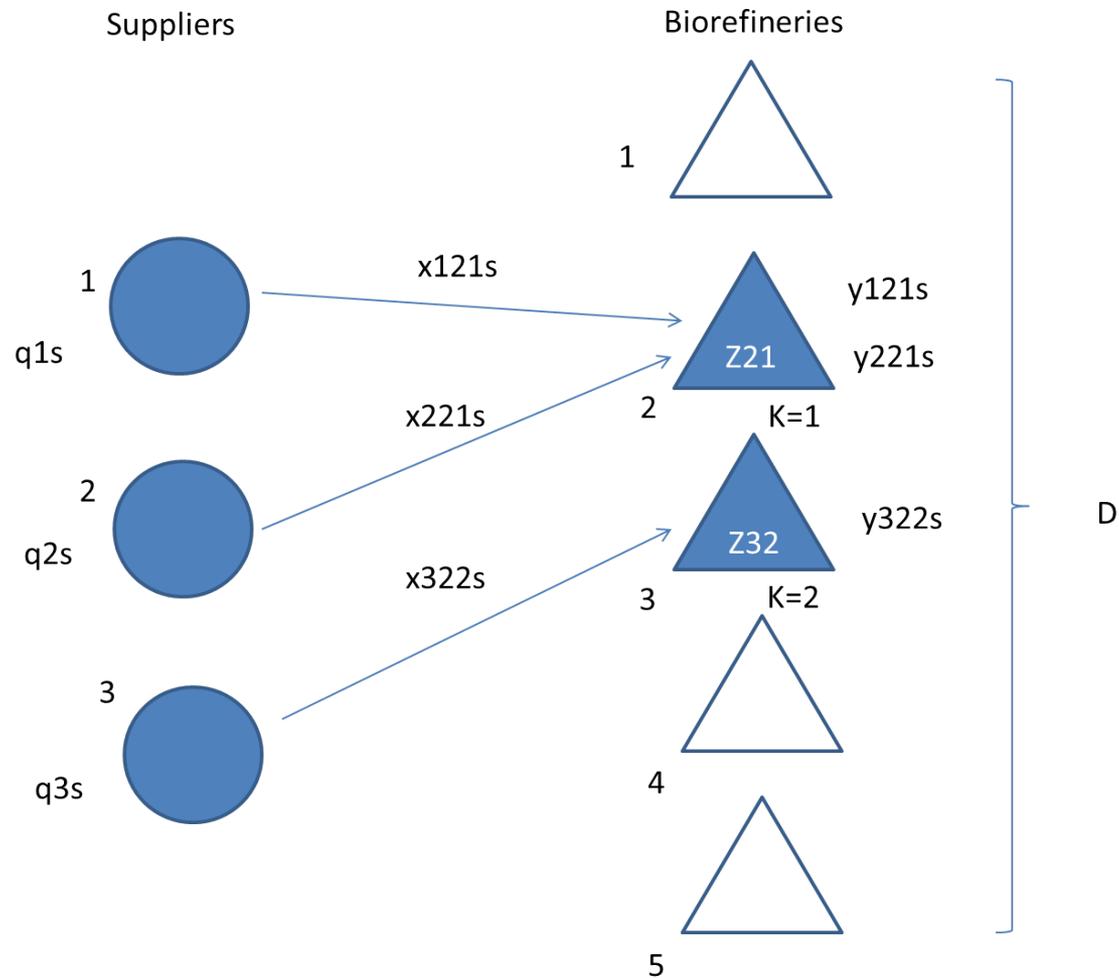
La cantidad de biomasa disponible en cada “*county*” en Tennessee se adquirió de *Bioenergy Knowledge Discovery Framework* (KDF).

Las cantidades reportadas están en toneladas secas (S_{idry}).

La conversión de biomasa seca a biomasa con “cierta” cantidad de humedad a través de la siguiente relación:

$$S_i = \frac{S_{idry}}{(1 - \epsilon_i)}$$

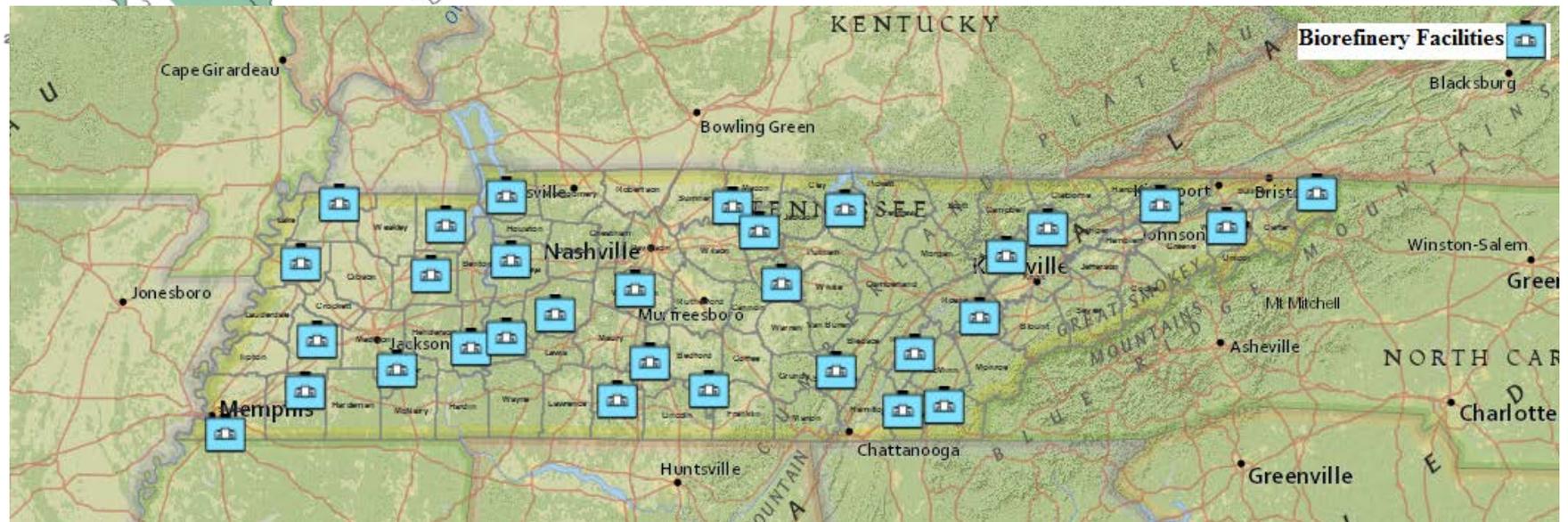
Ejemplificación de una solución



Caso de estudio



- 94** proveedores de biomasa
- 31** sitios potenciales para las biorefinerías
- 5** capacidad de las biorefinerías A,B,C,D y E
- 2** tecnologías (1: termoquímica y 2: bioquímica)



Parámetros

- El factor de conversión de *switchgrass* a etanol a través del proceso termoquímico es de: 226.8 lts por tonelada seca.
- El factor de conversión de *switchgrass* a etanol a través del proceso bioquímico es de 378 litros por tonelada seca.
- La demanda total de bioetanol es de **850 millones** de litros por año para el estado de Tennessee.

Datos para los contenidos de ceniza y humedad en la biomasa

Yu et al. (2015) coleccionó muestras de bales durante 75, 150 y 225 días en el estado de Tennessee. Las muestras se analizaron para caracterizar el contenido de ceniza y humedad en la biomasa.

Además se tomó en cuenta la *Idaho National Laboratory Biomass* para estimar los límites del contenido de ceniza y humedad en la biomasa.

Regions	Moisture content %	Ash content %
South East	[26 29]	[1.33 4.53]
North East	[5.5 8]	[2.44 3.79]
Mid North	[3.6 6]	[2.18 3.49]
Mid South	[17 20]	[4.5 7 .00]
South West	[16 23]	[0.82 2.18]
North West	[9 29]	[0.71 2.49]

Implementación computacional

Visual C++ & CPLEX 12.60

Intel Core i3, 2.13GHz, 4 GB de RAM

Restricciones	$94*2+31*3+2*2+11*4 = \mathbf{329}$	
	Binarias	Continuas
Variables	$31*5*2=\mathbf{310}$	$2*(94*31*2*11)= \mathbf{128\ 216}$

Solución

Tiempo de cómputo: 3331.90 sec (out of memory), mejor solución entera encontrada con un GAP de .76%.

Decisiones estratégicas:

- Abrir 4 biorefinerías
- 3 de capacidad D y 1 con capacidad E
- Tecnología a instalar en las 4 biorefinerías: termoquímica

	Fijo	Transporte	Preprocesamiento	Operativo	Total
Costo (miles)	1 201 650	83 675.1	12 932.7	169 348	1 46 705.8

Trabajo en proceso

➤ **Corto plazo**

- Considerar dos escenarios para la demanda.
- Proponer un modelo estocástico robusto (aversión al riesgo).
- Determinar el beneficio por incorporar incertidumbre con las métricas del EVPI y el VSS.

➤ **Largo plazo**

- Proyección: considerar otros estados de EE.UU.
- Desarrollo de técnicas metaheurísticas.

¿México?



<https://energialimpiaparatodos.com>

GRACIAS

yaja.carval@gmail.com

UTSA[®]

En colaboración con: Dra. Krystel Castillo
UTSA
Estancia de verano FUMEC-AMC