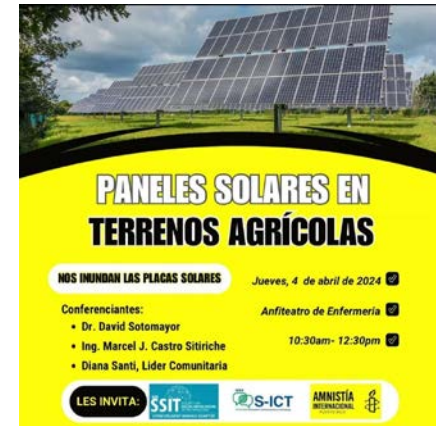


¿Es posible paneles solares en terrenos agrícolas?



David Sotomayor-Ramírez, PhD

Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

Colegio de Ciencias Agrícolas

david.sotomayor@upr.edu; 787-385-8165

- 1- La transición hacia alternativas de **energía** renovable
- 2- Sector **comida-agricultura** en Puerto Rico
- 3- Proyectos de **energía** solar a escala industrial
- 4- ¿Es posible paneles solares en terrenos agrícolas?

Mensajes principales

- Sectores de **energía** y **comida-agricultura**, ambos son esenciales, frágiles y vulnerables
- Perfiles distintos y son valorados en forma desproporcional por nuestra sociedad
- La política de transición de **energía** renovable apuesta a **solar fotovoltaico a escala industrial** e impacatará terrenos agrícolas y áreas naturales
- Organizaciones han creado conciencia y el gobierno ha respondido mediante **Agrivoltaics**



Diesel



Gas natural



Solar a escala industrial



Agricultura

1- La transición hacia alternativas de **energía** renovable

- Reducir dependencia en combustibles de petróleo
- Reducir emisiones GEI
- Reducir costos de electricidad
- Aumentar resiliencia en respuesta a fenómenos climáticos y cambio climático

- *Ley 17-2019 "Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico"*
- Metas de energía renovable
 - 2025- 40%
 - 2040- 60%
 - 2050- 100%
- *Ley 33-2019 "Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico"*

Empuje político a la **energía** removable comenzó cerca del 2010

- Entre 2008 y 2012 PREPA firmó 68 PPOAs
- Se contruyeron 8 proyectos (6 solar y 2 viento)
- Dos se aprobaron pero no se construyeron (X-Zerta and Ciro-One)
- Otros PPOAs fueron renegociados

Privatization Fever with Renewable Energy Fails in Puerto Rico

The Island remains stuck in meeting its goals for generating power with sun and wind, while the high cost of electricity offered by renewable-energy companies clashes with plans to reduce electric bills

by  Eliván Martínez Mercado | Published: March 21, 2018 at 12:01 AM

[f](#) ME GUSTA [TUITAR](#) [CORREO](#) [IMPRIMIR](#) [MÁS](#)



Former Governor Luis Fortuño at the inauguration of AES Illumina in Guayama on October 8, 2012. Photo courtesy of La Fortaleza

INTEGRACIÓN SEGURA DE LOS PROYECTOS DE ENERGÍA RENOVABLE



5/abril/2013

Proyectos de **energía** solar a escala industrial en Puerto Rico

	Area (ha)	Potencia (MW)	Inverso densidad de potencia	Densidad de energía (estimada)
			ha/MW-dc	MWh/ha-yr
AES Ilumina	32.7	20	1.6	
Coto Laurel Solar Farm	12.6	10	1.3	
Fonroche	53.7	20	1.3	
Horizon Solar Farm	16.7	10	1.7	
Oriana Solar Farm	64.6	45	1.4	
San Fermin Solar	33.5	20	1.7	
Total (promedio)	213.7	125	1.7	1,126



~4.4 cda/MW-dc ~444 MWh/ha-yr

¿Hay problemas con la ubicación?

Resumen del Tramo-1

- Tramo 1 es el primero de seis, para eventualmente producir ~4,000 MW de energía
 - 18 proyectos = 845 MW = 5,861 cuerdas = 79.4% SREP
 - Se suman a 543 cuerdas (6 proyectos activos) + 772 cuerdas (2 proyectos aprobados) = 1,315 cuerdas
- Tramo 2 son 16 proyectos con 900 MW
- Tramo 3 son 1,000 MW
- Se esperan hasta 60 proyectos

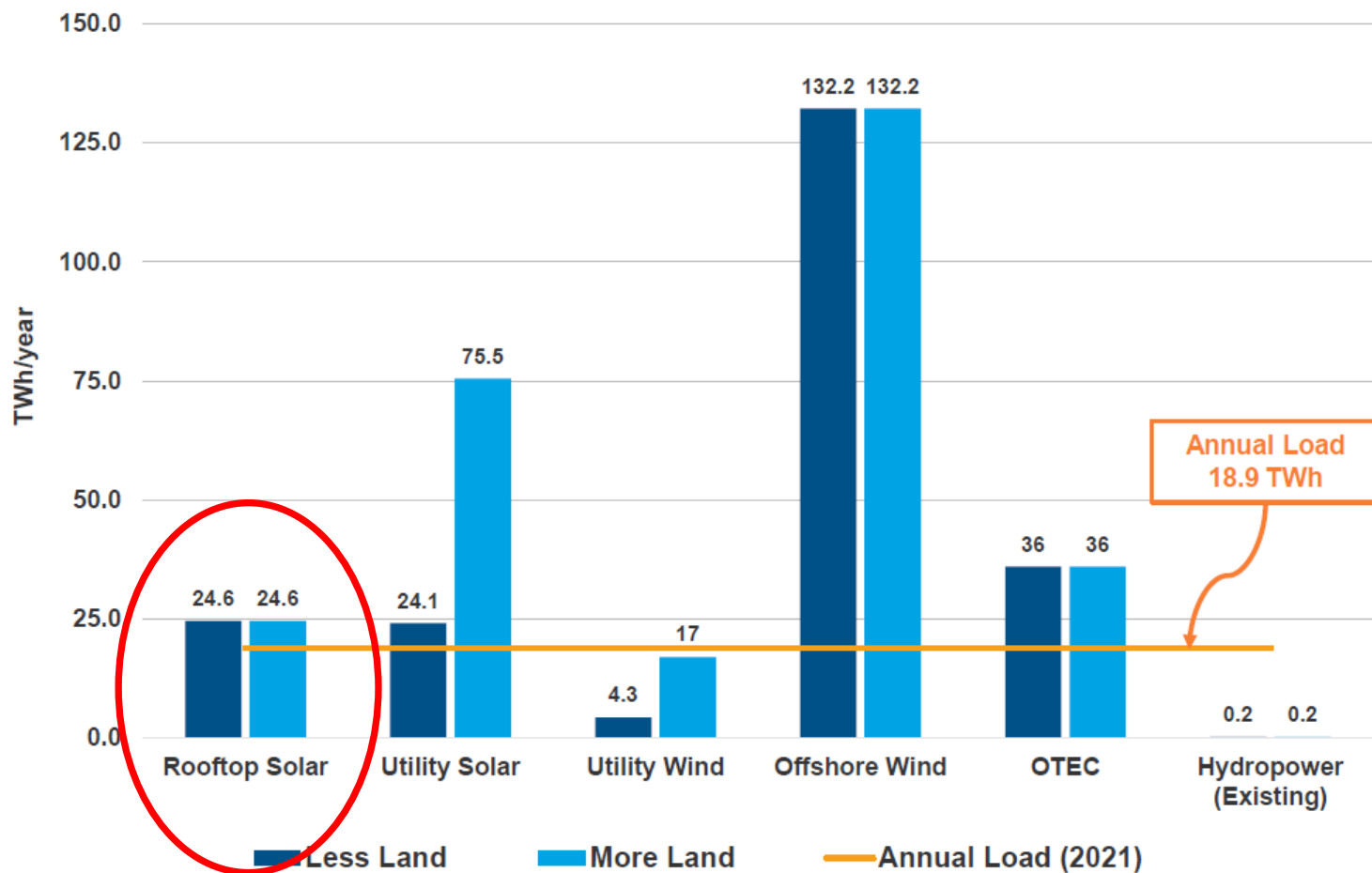
¿Cuál sería el área ocupada por paneles solares para satisfacer la demand energética de PR?

% del total	cuerdas	% del territorio	% del área agrícola
100	35,100	1.5%	7.2
75	26,325	1.1	5.4
50	17,550	0.76	3.6
25	8,775	0.38	1.8

...de los mejores terrenos de Puerto Rico (llano, fértil, mecanizable, con riego)

* Estimado basado en una capacidad de potencia de 4.2 acre/MW (direct array) and 8 acre/MW (parcela)

Generación potencial de energía de distintas fuentes



Article

Land Use, Conservation, Forestry, and Agriculture in Puerto Rico

William A. Gould ^{1,*}, Frank H. Wadsworth ¹, Maya Quiñones ¹, Stephen J. Fain ² and Nora L. Álvarez-Berrios ¹

Areas desarrolladas (*urban built-up lands*) son 292,800 cuerdas (115,310 ha) o 13% del territorio

(PR100, NREL, 2023)

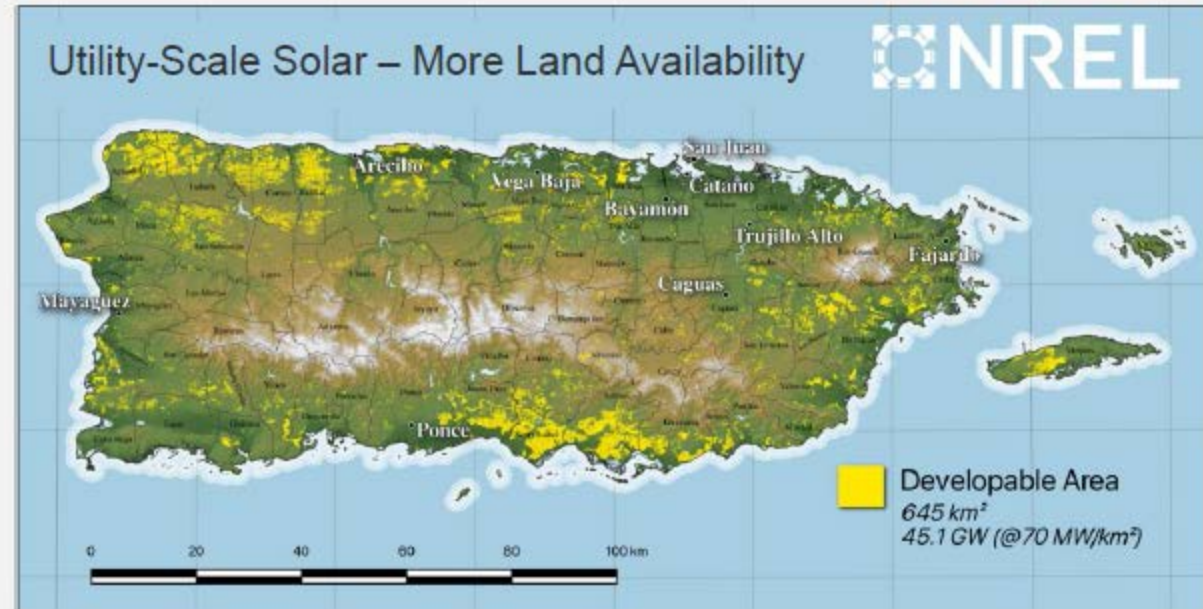
Area potencial desarrollable para energía solar

- Tierras no-agrícolas, SRC
20,990 ha = 53,315 cuerdas; 14,700 MW

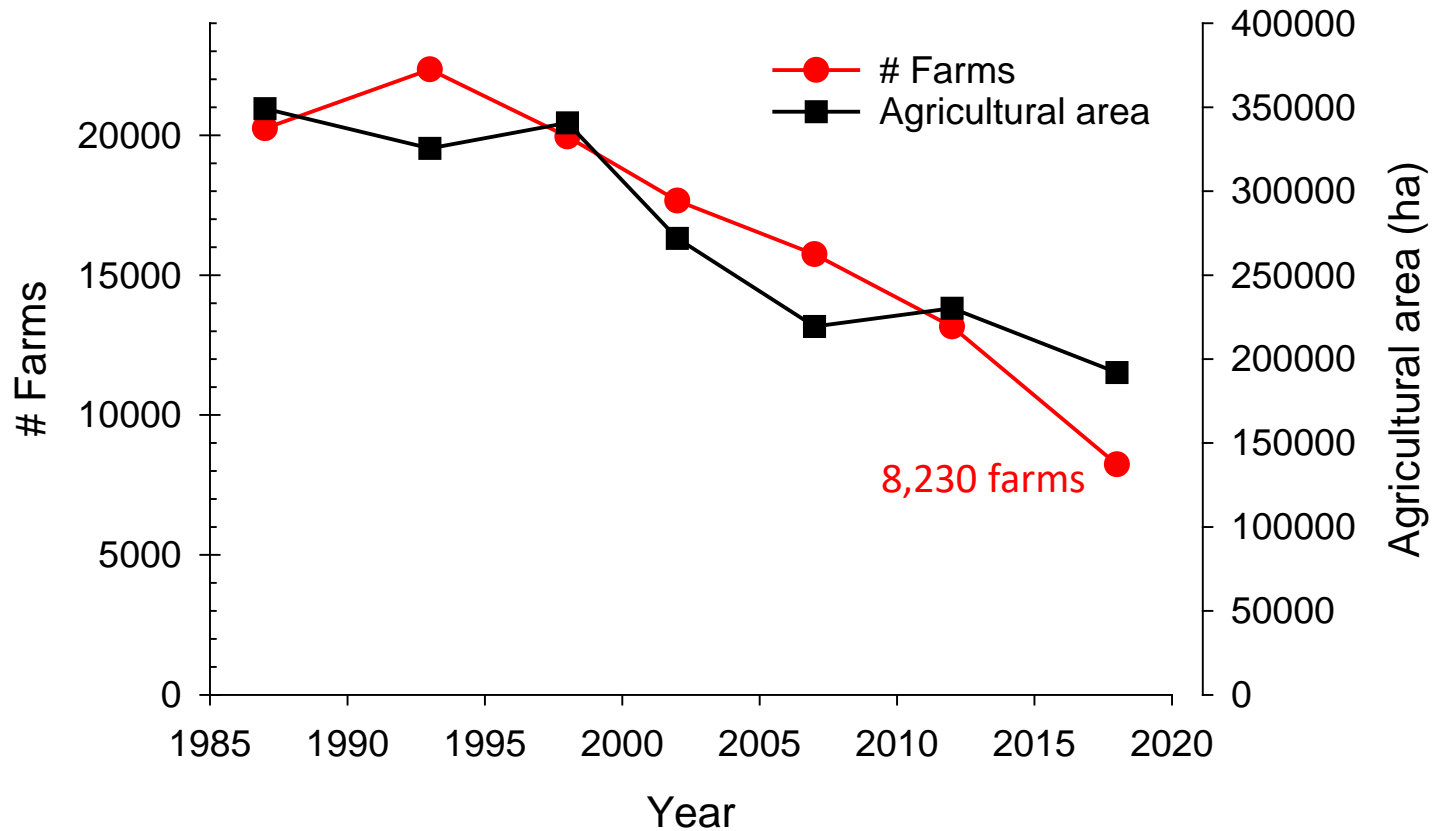
- Tierras agrícolas y no-agrícolas,
SRC + SREP
64,500 ha = 163,830 cuerdas; 45,000 MW

(PR100, NREL, 2023)

Land-Use Variations



2- Sector **comida-agricultura** en Puerto Rico



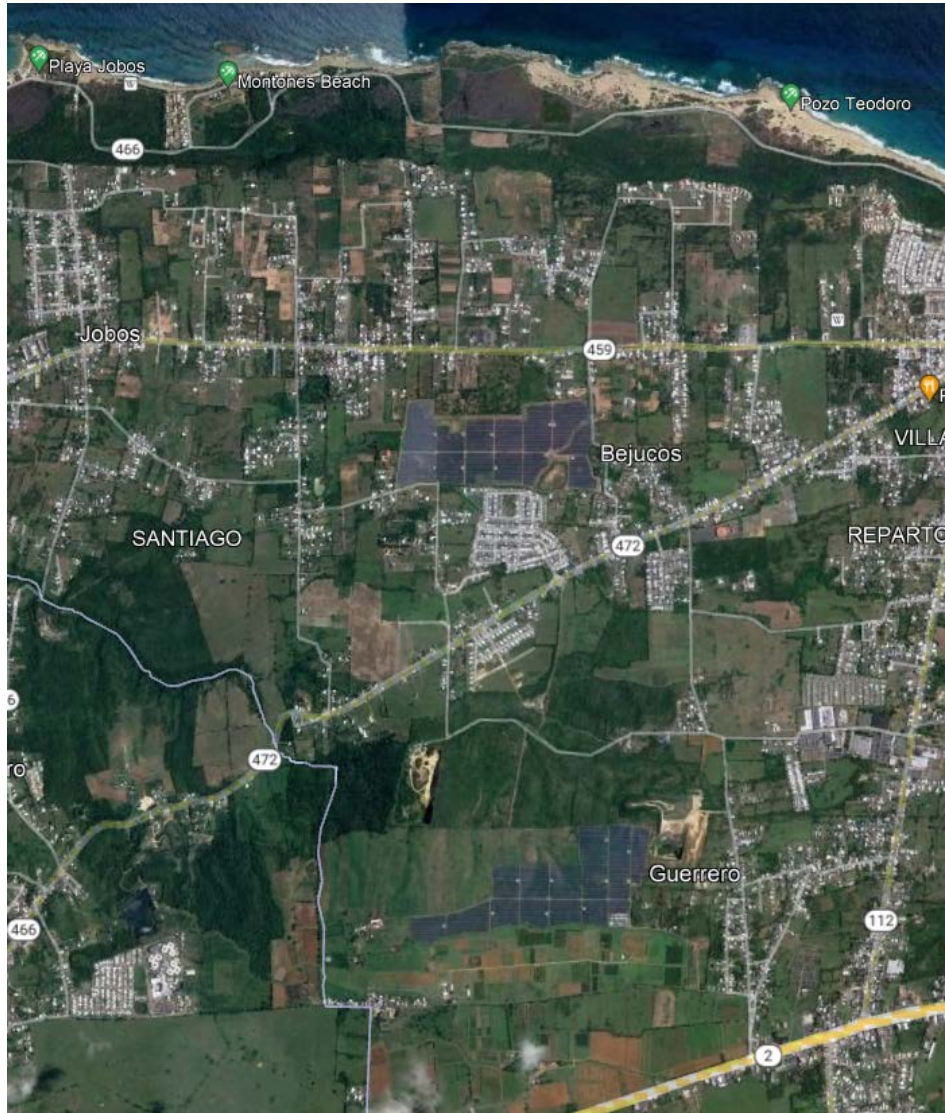
Cultivos cosechados	Area agrícola	Cultivos	Pasturas
81,674	487,775	168,442	261,206
32,155	192,037	66,316	102,837

- Pérdida anual de área en fincas (agrícola) de 1,532 ha
- Pérdida anual de (1.3%) trabajadores agrícolas
- Agricultura IBA (2010-2017)- **\$831 a 894 M (< 1% of del total PNB)**
- Capacidad de carga muy alta

¿Por qué preocuparse por el **área agrícola** en Puerto Rico?

- Tierras agrícolas son un 22% del área total (promedio mundial es 44%)
- >85% de la comida es importada
- Hay poca área en agricultura
- Agricultura
 - Es parte de nuestra cultura y forma de vida
 - Mejorar actividad económica
 - Aumentar empleos en la ruralía
 - Fuente de comida segura luego de fenómenos naturales
 - Mejorar nuestra salud

3- Proyectos de **energía** solar a escala industrial



Escala industrial | CIRO One Municipio de Salinas

77 MW; 560 cds; 90% tierras agrícolas





Características de proyectos industriales de energía solar (resumen)

- Ocupan área en proporción a la densidad de potencia (actualmente 4.2 ac/MW-dc)
- Construcción impacta
 - Propiedades del suelo y su salud
 - Remoción de vegetación, remoción y reubicación capa arable, compactación del suelo
- Crecimiento de vegetación limitada por la proximidad de paneles al suelo y < 3m entre filas de paneles
- Al menos 2% del área se ocupa con pilares para apoyar la estructura
- ↑ volumen de escorrentía, ↑ pico de volumen, ↓ tiempo de concentración (↑ erosión)

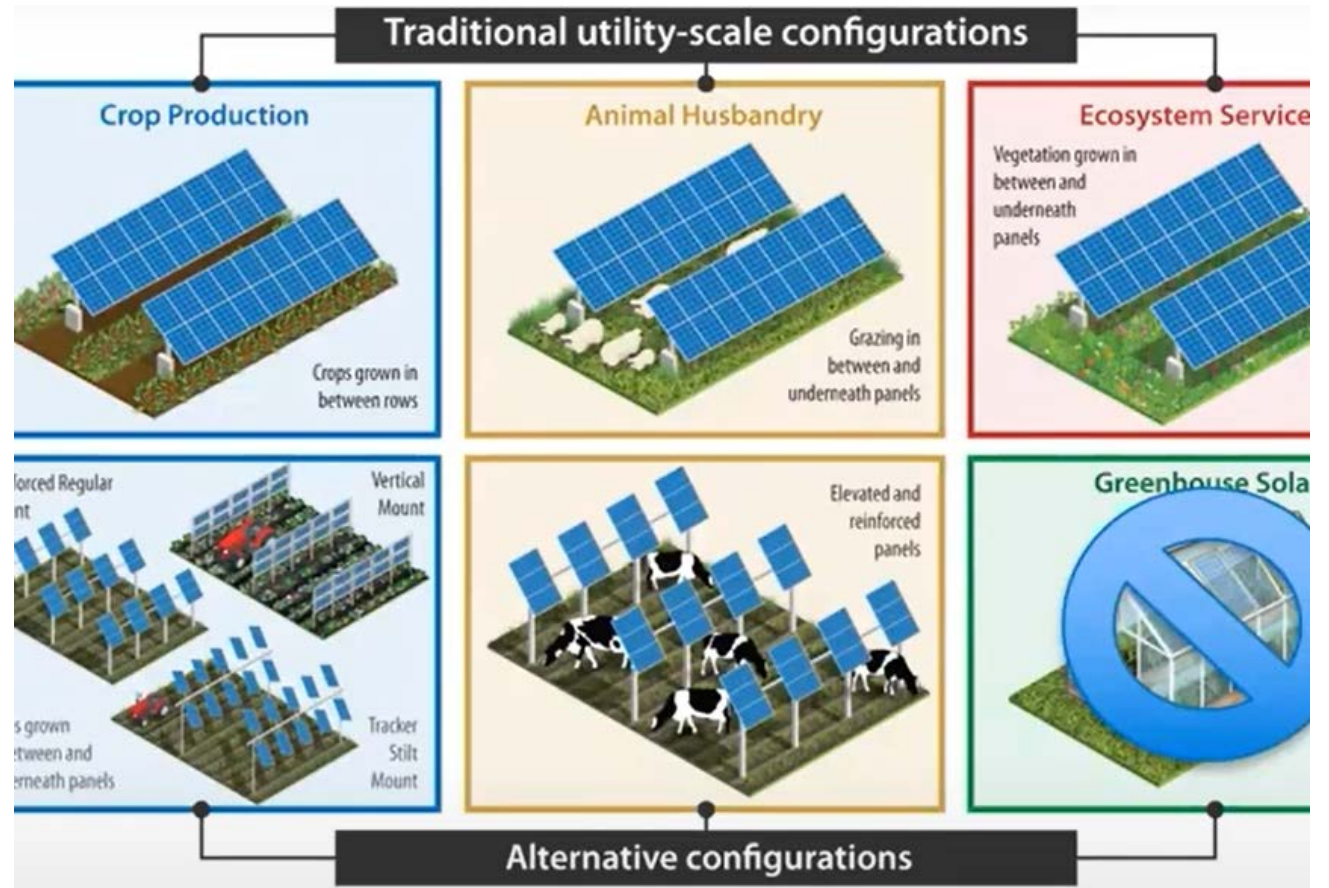
¿Por qué proyectos industriales de energía solar en terrenos agrícolas?

- Desarrolladores pueden lograr altos ingresos (depende de densidad de potencia)- \$30,000 to \$44,000/acre
- Proximidad para interconectarse (algunas áreas)
- Características de los sitios
 - Areas no-ocupadas
 - Espacios abiertos y llanos
- Perspectivas del agricultor
 - Envejecimiento de agricultores
 - Posibles deudas
 - Promesa de ingreso adicional



4- ...co-localización entre la agricultura y la energía

- No hay definición universalmente aceptada
- Uso simultáneo para energía y agricultura
- Aumentar **altura** paneles (> 2 m) para facilitar pase de maquinaria
- Aumentar **espacio** entre paneles
- Paneles **Fixed-axis** or 1-axis orientable tracking (se mueven en respuesta de la dirección e intensidad de radiación solar)

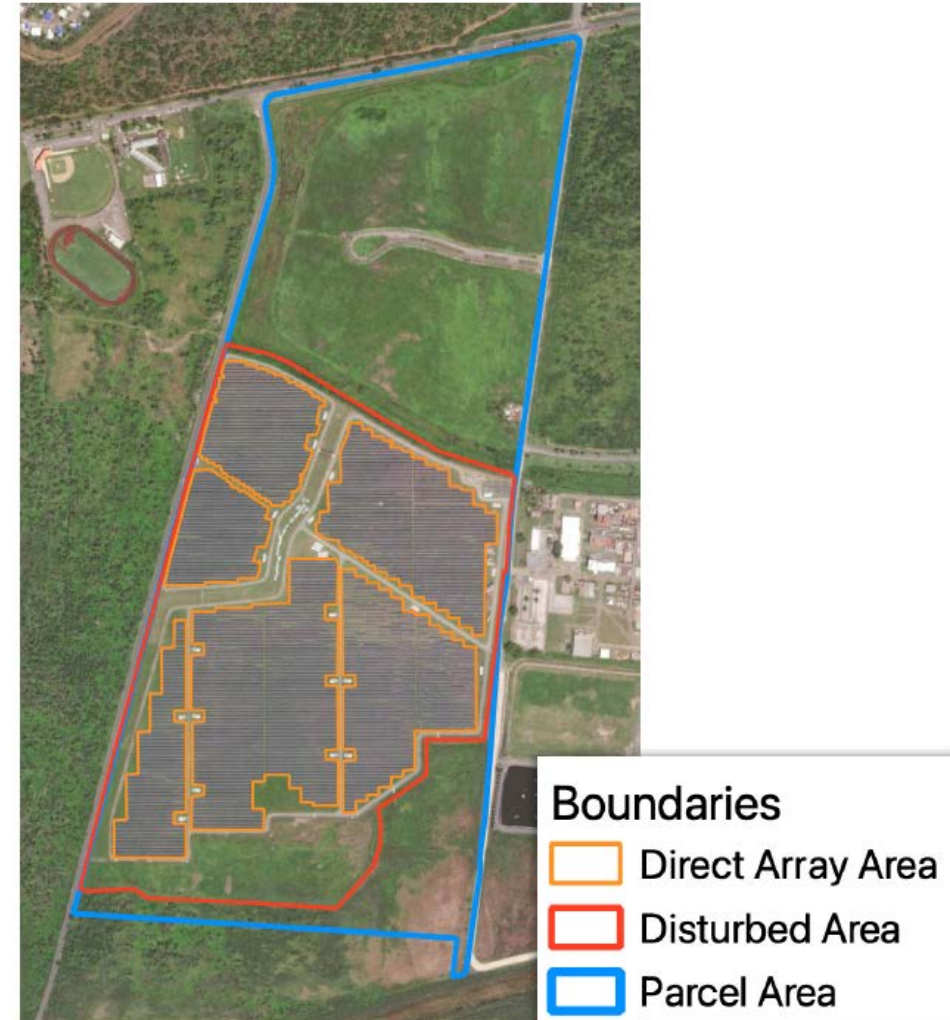


Criteria para solar escala industrial* versus co-localización solar & agricultura

Criteria	Utility-scale solar*	Co-location of solar & agriculture
• Power density (fixed-tilt, direct array)**	0.4 MW-dc/acre	Much lower
• Area occupied by panels (direct array)	3 acre/MW-dc	Need more land
• Area occupied by parcels	Up to 8 acre/MW-dc	Unknown
• Maximum slope	10%	Unknown
• Minimum contiguous area	70 ha	Unknown
• Land classification	non-agricultural	agricultural land


* PR100, NREL, 2023;

** Bolinger & Bolinger 2022)




¿La co-localización de solar & agricultura es bueno para la agricultura? (Google Search)

Research in the drylands of Arizona found that farming under solar panels can decrease evaporation of water from the soil and potentially reduce irrigation requirements. Agrivoltaics can also improve crop yield and crop resistance in extreme weather, such as droughts. Apr 17, 2023


 Department of Energy (.gov)
<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/potenti...>

[The Potential of Agrivoltaics for the U.S. Solar Industry ...](#)

 Oregon State University
<https://agsci.oregonstate.edu/newsroom/sustainable...>

[Sustainable Farm Agrivoltaic | College of Agricultural Sciences](#)

Agrivoltaics is a symbiotic relationship where **both the solar panels and the crops benefit because they help each other perform better**. The electricity can ...

 USDA Climate Hubs (.gov)
<http://www.climatehubs.usda.gov/northeast/topic>


[Agrivoltaics: Coming Soon to a Farm Near You?](#)

The idea is called: Agrivoltaics ... Agrivoltaics is **the use of land for both agriculture and solar photovoltaic energy generation**. It's also sometimes referred ...

 Enel Green Power
<https://www.enelgreenpower.com/stories/benefits-a...>

[Agrivoltaics: benefits of agriculture and solar energy](#)

Agrivoltaic: photovoltaics and agriculture, a virtuous combination **to protect biodiversity and a new frontier for renewables**.

 SolarReviews
<https://www.solarreviews.com/blog>


[Agrivoltaics: How Solar and Farmland can Fight Climate ...](#)

Jun 20, 2023 — **Some crops produce better under solar panels than they do in conventional settings**. Plants like lettuce, chard, spinach, peppers, and carrots, ...

 World Economic Forum
<https://www.weforum.org/agenda/2022/07/agriv...>

[What's agrivoltaic farming? Growing crops under solar panels](#)

Jul 26, 2022 — With agrivoltaic farming, growing vegetables under **solar panels could help feed the world's growing population and meet net-zero targets** at ...

 Vector Renewables
<https://www.vectorenrenewables.com/media-en/blog>

[Agrivoltaics, the advantages of combining renewables and ...](#)

Apr 26, 2022 — 1. It maximizes the potential of solar energy. · 2. **It improves certain crops**. · 3. Solar farms have higher yields. · 4. It increases land ...

Muchos diseños

Commercial facilities:



1
Monticelli D'Ongina, Italy
(source: www.remtec.energy)



2
Castelvetro, Italy
(source: www.remtec.energy)



3
Virgilio, Italy
(source: www.remtec.energy)



4
Campo D'eco, Abruzzo, Italy
(source: www.corditec.it)



5
Jinzhai plant, Anhui province, China
(source: www.remtec.energy)



6
Changshan plant, Zhejiang province, China
(source: www.tonkingtech.com)

Research facilities:



7
Biosphere 2, Arizona, USA
(source: Kinney et al., 2016)



8
Montpellier, France
(source: www.agrophotovoltaik.de)



9
Heggelbach, Germany
(source: University of Hohenheim)



10
Santiago de Chile, Chile
(source: Fraunhofer ISE)



11
Chiba Prefecture, Japan
(source: www.renewableenergyworld.com)

Land equivalent ratio, explicado

$$LER = \left(\frac{P_{crop\ AV}}{P_{monocrop}} \right) + \left(\frac{Y_{electricity\ AV}}{Y_{electricity\ PV}} \right)$$

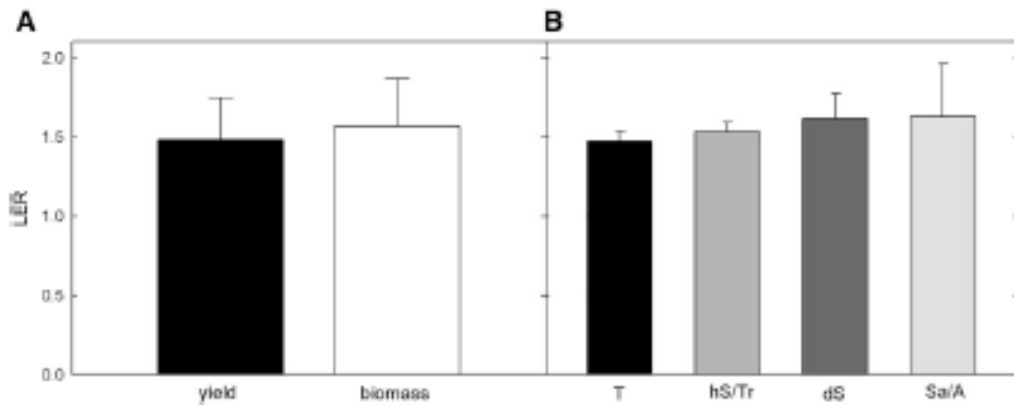


Figure 1. Impact of agrivoltaics (AV) on land equivalent ratio (LER) in agricultural land and within climate category

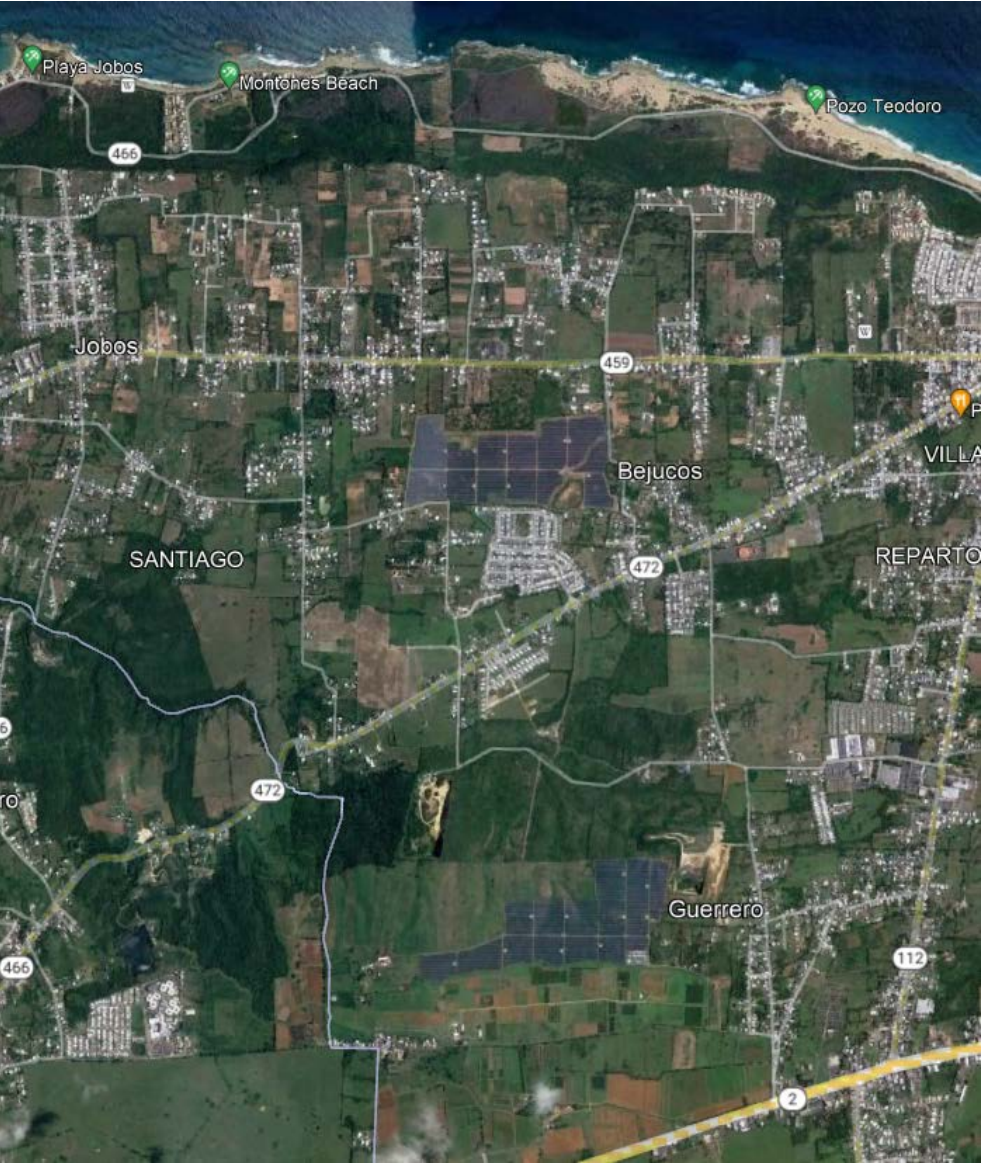
Gomez-Casnovas et al. 2023.

- Asumir rendimiento de trigo es de 2.5 t/ha
 - Agricultura- 2 ha producen 5 t
- Asumir energy de 1,000 MWh/ha
 - Energía- 2 ha produce 2,000 MWh
- Co-localización solar & agricultura es 80% del potencial
 - 4 t trigo & 1,600 MWh de energy
 - $LER = 0.8 + 0.8 = 1.6$
- Ahora se necesitan 2.5 ha para producir la misma cantidad de trigo

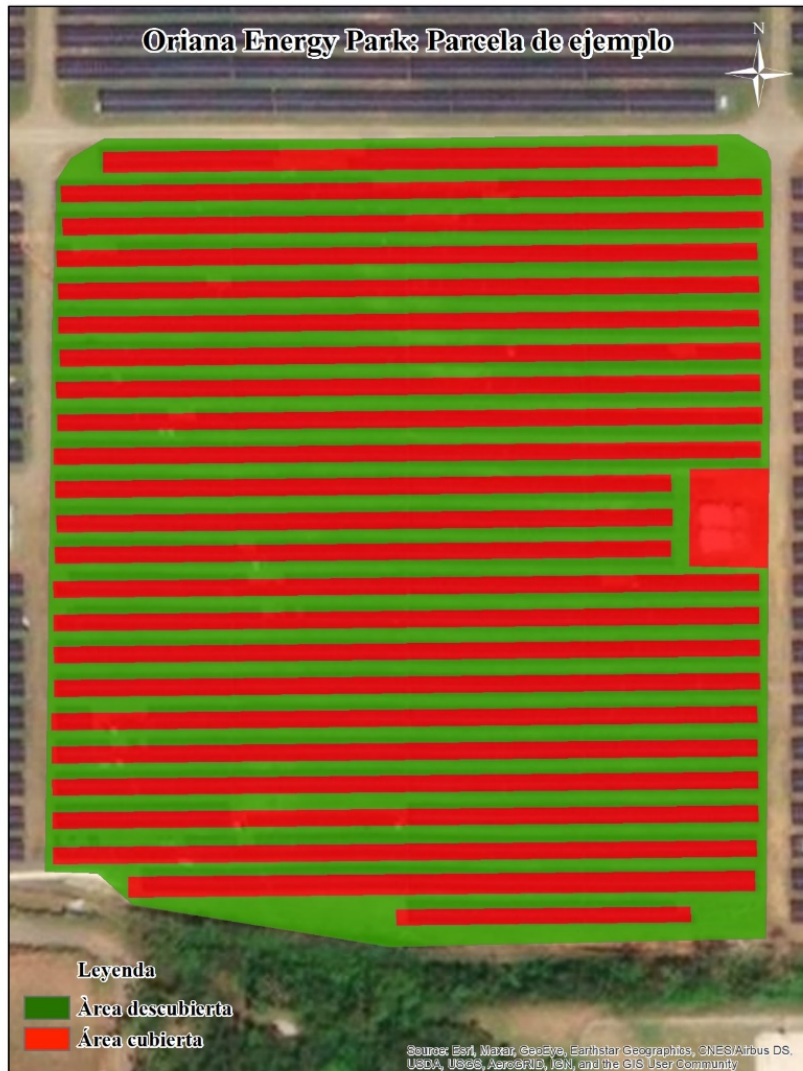
Aspectos agronómicos a considerar

- Aspectos técnicos y procedimiento de operaciones en la finca
 - Maquinaria pesada
 - Posible daño a la infraestructura y responsabilidad
 - Distancias de siembra
- Efecto de paneles en el micro-clima (humedad del suelo, evapotranspiración, eficiencia de uso de agua, temperature del aire y suelo)
- Depende si los cultivos se establecen debajo o entre los paneles
- Efecto del sombreado sobre el rendimiento y calidad de cultivos
 - Rendimiento de cultivos se va a reducir porque se reduce *PAR*
 - Depende de altura de panel, orientación, ángulo, distancia entre paneles
 - Impacto en fenología (floreceda, antésis, altura de planta, índic de cosecha)
 - Componentes del rendimiento (cuaje de semilla, tamaño de grano, composición química de fruto/grano)

Oriana Energy (Isabela) | Escala industrial y luz



Oriana Energy (Isabela) | Escala industrial y luz



- 51% del área está totalmente sombreada (falso rojo en imagen NDVI)
- 25% está parcialmente sombreada (hora del día)
- 25% sol completo
- Altura de paneles es menos de 4 pies
- Cultivos tendrían que crecer entre filas de paneles y no debajo

NDVI image of Oriana Energy (Isabela)

Aspectos negativos de co-localización solar & agricultura

1. Pérdida de tierras agrícolas (reducción en la producción agrícola)
 - Competencia por tierras
 - Aumento en el costo por la tierra
2. Solo algunos cultivos se pueden producir (sombra)
3. Aumento en el costo de construcción e infraestructura mas compleja
4. Aumenta complejidad de operaciones en la finca
5. Menor rendimiento energético
6. Impacto ambiental (estructura del suelo y escorrentía)
7. Pérdida de incentivos agrícolas otorgados por EU, CAP; *USDA conservation practice incentives*

Conclusiones

- Sectores de **energía** y **comida-agricultura**, ambos son esenciales, fragil y vulnerables
- Cual prevalecerá dependerá de como nuestra sociedad valore estos
- La política de transición de **energía** renovable apuesta a solar fotovoltaico e impacatará terrenos agricolas y áreas naturales
- Puerto Rico se encamina hacia una economía extractivista de energía renovable



Diesel



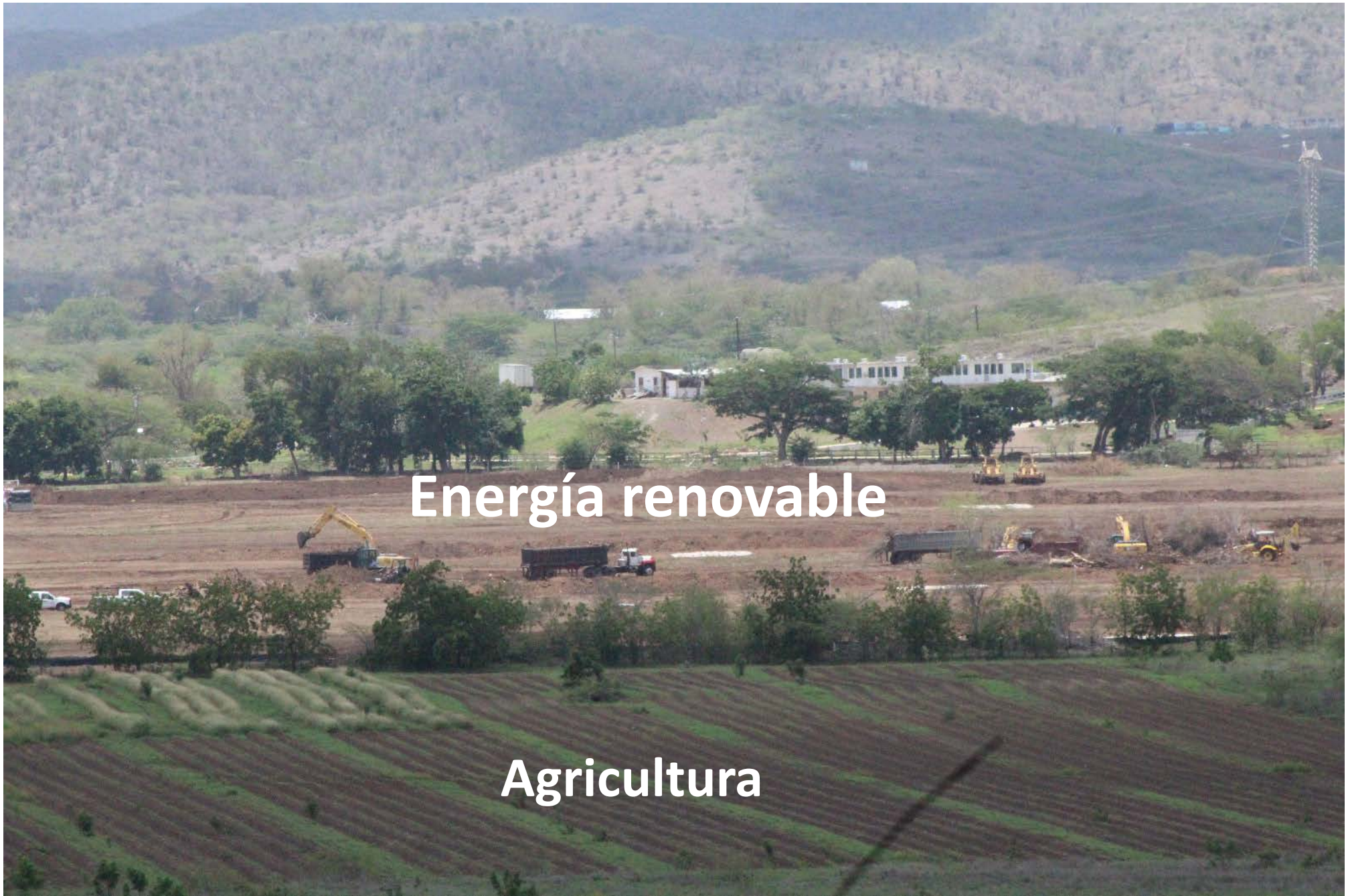
Gas natural



Solar en techos



Agricultura



Energía renovable

Agricultura