

**Publicación especial 1190GB-5 de NIST**

**Informe de Referencia 5:**  
**Evaluación de las dependencias del**  
**sistema energético**

Esta publicación está disponible de forma gratuita  
en el siguiente sitio web:  
<http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-5>

# Publicación especial 1190GB-5 de NIST

## Informe de Referencia 5 Evaluación de las dependencias del sistema energético

Esta publicación está disponible de forma gratuita en el siguiente sitio web:  
<http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-5>

Diciembre de 2016



Departamento de Comercio de los Estados Unidos  
*Penny Pritzker, secretaria*

Instituto Nacional de Estándares y Tecnología  
*Willie May, subsecretario de comercio de Estándares y Tecnología y director*

Es posible que se nombren ciertas entidades comerciales, equipos o materiales en el presente documento para describir un procedimiento o un concepto experimental de manera adecuada. El propósito de tal identificación no es sugerir la recomendación o el respaldo por parte del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, ni tampoco indicar que las entidades, los materiales o los equipos son necesariamente la mejor opción disponible para lograr el objetivo.

**Publicación especial 1190GB-5 a nivel nacional del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología**  
**Publicación especial del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología 1190GB-5, 7 páginas**  
**(diciembre de 2016)**  
**CODEN: NSPUE2**

**Esta publicación está disponible de forma gratuita en el siguiente sitio**  
**web: <http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-5>**

Página dejada en blanco intencionalmente.

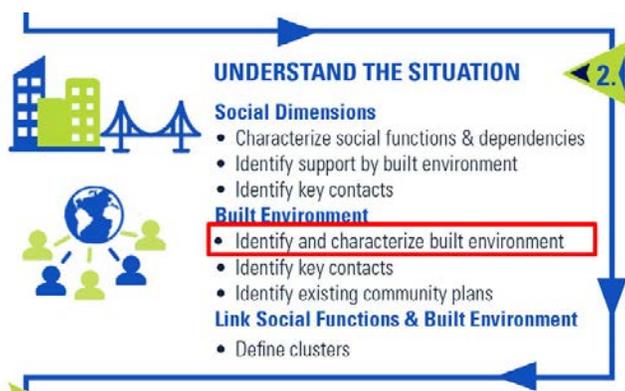
# Informe de Referencia 5: Evaluación de las dependencias del sistema energético

Sección(es) correspondiente(s)  
de la Guía:

Volumen 1, Sección 3.2, Caracterización del entorno construido, p. 35

Los Informes de Referencia complementan la Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura (NIST SP1190)

## 1. Objetivo y alcance



Uno de los aspectos fundamentales que implica la caracterización del entorno construido es identificar las dependencias principales de la infraestructura. Algunas de estas resultan obvias, mientras que otras no tanto. Este Informe de Referencia hace hincapié en el Paso 2, comprensión del entorno construido, y se enfoca en entender las dependencias desde la perspectiva de un sistema energético. Su propósito es ayudar al equipo de planificación colaborativo a comprender dónde la energía es una dependencia crítica para otros sistemas de la comunidad. El Informe de Referencia también es conveniente para los planificadores que trabajan para crear departamentos de inspección, planificadores de grupos de primera respuesta y planificadores a cargo de refugios.

## 2. Identificación y comprensión de las dependencias del sistema energético

El sistema energético del país está compuesto por millones de activos de electricidad, petróleo, gas natural, carbón, nucleares y energía renovable que están dispersos geográficamente e interconectados. La infraestructura energética debe funcionar correctamente para que otros sistemas de infraestructura (como los sistemas de transporte, comunicaciones, agua y aguas residuales) sigan funcionando. Por ejemplo, los edificios requieren electricidad para suministrar luz, calefacción y refrigeración, conservación y preparación de alimentos, y energía para los dispositivos electrónicos. Los sistemas de transporte, como los trenes ligeros y los puertos, requieren energía para sus operaciones. Se necesitan suministros de combustible para el transporte ferroviario y los vehículos utilizados por el personal de recuperación para retirar los escombros, realizar inspecciones y otras operaciones de recuperación. También existen dependencias dentro de la infraestructura energética en sí misma. Por ejemplo, las refinerías de petróleo y las estaciones de bombeo mediante tuberías dependen de un suministro eléctrico viable, mientras que los generadores de reserva y los vehículos utilitarios de mantenimiento dependen del diésel y la gasolina [Departamento de Seguridad del Territorio Nacional y Departamento de Energía, 2007].

La infraestructura energética no solo está interconectada, sino que también es compleja, por lo que las fallas locales pueden ocasionar efectos a nivel regional. Ya desde 1997, un informe de la Comisión del Presidente para la Protección de

Infraestructuras Críticas [1997] indicó que la energía es el sustento de nuestros sistemas de infraestructura interdependientes, y que los incidentes habituales pueden generar un corte regional. La Comisión también señaló que las complejidades técnicas pueden ocasionar que no se reconozcan las vulnerabilidades hasta que suceda una falla importante. El apagón que sucedió en agosto de 2003 en las regiones del medio oeste y noreste de los Estados Unidos y Canadá fue ocasionado por un incidente habitual [Peerenbomm et al 2007]. Una serie de incidentes comenzó luego de que una línea eléctrica cayera arriba de un árbol en Cleveland, Ohio, lo que empeoró debido a un error en el programa del sistema de control y se propagó en distintos sistemas de infraestructura crítica; esto provocó cortes masivos de energía y el deterioro de servicios esenciales en varios estados y en Canadá. Si bien las comunidades no pueden anticipar estos eventos, pueden prepararse para responder y recuperarse rápidamente a nivel local mediante la coordinación con los representantes locales de energía.

En el Paso 2 de la Guía, se puede entender la situación con respecto a los sistemas energéticos a partir de un plan de seguridad energética. Es necesario que los planificadores comprendan las relaciones de dependencia entre los sistemas de infraestructura energética, los principales servicios locales y los activos valiosos de la comunidad. Esta comprensión puede ayudar a planificar una resiliencia adicional con respecto a la energía, como la redundancia, el endurecimiento o los sistemas energéticos de reserva, y contribuir para mitigar las posibles consecuencias de las fallas a gran escala de los sistemas energéticos.

La Tabla 1, desarrollada por el Instituto de Tecnología Pública (Public Technology Institute) para sus *Directrices de Garantía Energética del Gobierno Local* (Local Government Energy Assurance Guidelines) [2011], enumera los servicios que se pueden ver perturbados por un corte energético.

**Tabla 1. Efectos en los servicios por la perturbación de la fuente energética [Instituto de Tecnología Pública 2011]**

Servicios esenciales	Efectos posibles según el tipo de energía	
	Sistemas de energía eléctrica	Gas natural/petróleo
Sector bancario y financiero	Transacciones financieras; sistemas HVAC	Combustible para calefacción, generadores e instalaciones
Telecomunicaciones (teléfono fijo, celular y cable)	Conmutadores e instalaciones de comunicación: sistemas de distribución, control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en inglés), atención al cliente y comunicación del equipo de reparación	Combustible para calefacción, generadores e instalaciones
Transporte	Transporte público de energía; sistema de señales y control; transporte del combustible y envío de bienes y materiales	Combustible y lubricantes para vehículos e instalaciones; transporte de combustible y envío de bienes y materiales
Suministro de agua	Sistemas de control, estaciones de bombeo e instalaciones: transporte de agua (bombas); refrigeración y controles de emisiones; transporte de agua para respuesta de emergencia	Sistemas HVAC alimentados por gas; bombeo/procesamiento de combustible/agua, etc.
Sistemas gubernamentales	Sistemas HVAC de las instalaciones; iluminación; telecomunicaciones; carga de batería (p. ej. radios de 800 MHz); respuesta de emergencia y servicios de protección como los servicios médicos de urgencia, la policía y los bomberos	Sistemas HVAC alimentados por gas; bombeo/procesamiento de combustible/agua, etc.
Respuesta de emergencia y servicios de protección	Las comunicaciones de base a campo; la recarga del equipo de oficinas y de campo; la derivación de los individuos/animales afectados a instalaciones con servicios eléctricos	Cortes eléctricos en la generación de energía alimentada por gas con efectos similares a los de los sistemas energéticos
Sistemas de alcantarillado	Bombeo y tratamiento del alcantarillado para los sistemas fijos de escala local/regional y los sistemas temporarios de bombeo y tratamiento sobre el terreno	Interrupción del bombeo y tratamiento del alcantarillado para los sistemas fijos de escala local/regional y los sistemas temporarios de bombeo y tratamiento sobre el terreno si los sistemas eléctricos están alimentados por gas/petróleo

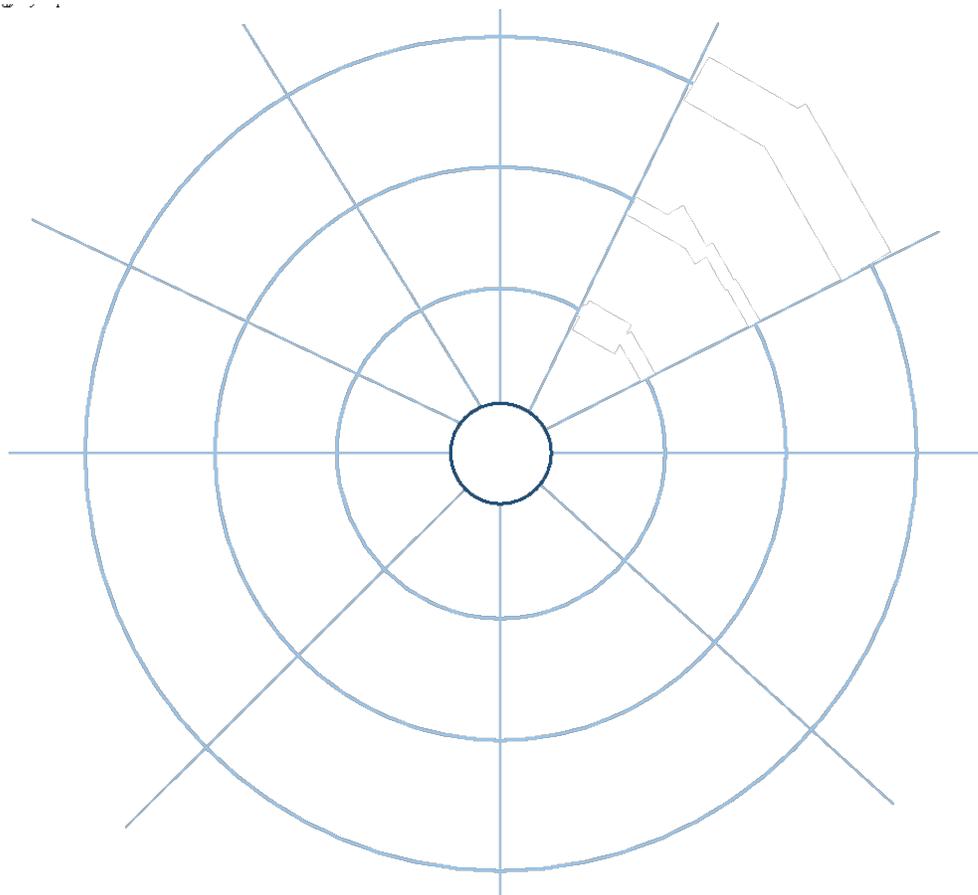
Para que las comunidades puedan entender los servicios de energía locales y las interdependencias, pueden hacer las siguientes consultas a los representantes del sistema energético (cabe destacar que es posible que haya otras inquietudes según las circunstancias locales):

#### Preguntas de ejemplo para ayudar a las comunidades a identificar las dependencias de la infraestructura energética

- **Fuentes de energía:** ¿Quiénes son los proveedores locales de energía? ¿Quiénes son los principales puntos de contacto en cada empresa/proveedor que pueden ayudar a la comunidad a comprender las dependencias de la infraestructura energética?
- **Combustibles de generación de energía:** ¿Qué combustibles se utilizan para generar electricidad a nivel local? ¿Carbón, gas natural u otro? ¿Cómo se transportan estos combustibles?
- **Infraestructura energética:** ¿Cuál es la infraestructura energética local en términos de las ubicaciones y rutas de la instalación y estación? ¿Esta información está disponible en algún lugar (mapa, archivo, etc.)?
- **Distribución energética:** ¿Cuántas rutas independientes existen desde la fuente energética (para la energía eléctrica, el gas natural y los combustibles líquidos) hasta la comunidad? ¿Cada una es capaz de abastecer a toda la comunidad? ¿La red energética de la comunidad está completamente interconectada o hay zonas que solo se pueden abastecer de una sola fuente? ¿Cuáles son los únicos puntos principales de falla? ¿Hay repuestos vitales disponibles para los únicos puntos de falla?
- **Suministros de gas:** ¿Cuáles son las rutas de las principales tuberías de gas natural dentro de la comunidad? ¿Pasan por debajo (o muy cerca) de las instalaciones críticas?
- **Suministro de combustible líquido:** ¿De dónde provienen los combustibles líquidos (p. ej. la gasolina, el diésel, etc.): tuberías, parques de tanques, sitios de distribución (conocidos como “bastidores” en la industria)? ¿Qué nivel de suministro almacenan los distribuidores a nivel local? ¿Qué cantidad de cada combustible almacena la comunidad? ¿Estas instalaciones cuentan con fuentes de energía eléctrica de reserva? ¿Hay sistemas alimentados por gravedad a nivel local?
- **Interdependencias del sistema:** ¿Qué otros sistemas de infraestructura local requieren energía viable o un suministro de combustible para funcionar, como el transporte, el agua, los edificios y las comunicaciones?
- **Respuesta ante eventos:** ¿Qué activos físicos en cada sistema de infraestructura son críticos para las operaciones de emergencia y las medidas de recuperación de la comunidad? ¿Cuáles son las formas más convenientes para garantizar el suministro energético a estos activos tras eventos peligrosos?
- **Vulnerabilidades sociales:** ¿Qué instituciones sociales se ven más afectadas por la pérdida o degradación del suministro de energía? ¿Cuáles son las formas más convenientes para garantizar el suministro energético a estas comunidades?

Crear y conservar un mapa que muestre las ubicaciones de las instalaciones energéticas, con notas sobre los propietarios, la criticidad, las rutas de la electricidad, el gas natural, las tuberías de combustible líquido, etc. constituye un paso que las comunidades deberían adoptar con la ayuda de los propietarios de activos (p. ej. servicios públicos, propietarios de tuberías, etc.). También resulta importante contar con una copia física para que sea accesible tras un evento peligroso si no se puede acceder a las copias digitales.

Existen muchos enfoques que se pueden emplear para identificar las dependencias. Encontrar una forma para visualizarlas resulta práctico al comunicarles los problemas a los distintos representantes de la infraestructura del equipo de planificación colaborativo. La Figura 1 expone una forma para visualizar rápidamente el impacto que ocasiona la falla de la energía eléctrica en otros sistemas y servicios varios. Este tipo de visualización se puede elaborar para cada sistema de infraestructura y mostrar en el diagrama las dependencias más críticas que se deben mitigar. Este diagrama no pretende ser exhaustivo. El contenido (es decir, las dependencias) variará según la comunidad y es posible que incluya distintos sistemas de infraestructura y sectores comunitarios en el diagrama. La sección de electricidad del diagrama no está completa debido a que la “falla eléctrica” se encuentra en el centro y el diagrama se enfoca en las dependencias externas y no internas.



**Figura 1. Dependencias de la infraestructura en una falla de la distribución de la energía eléctrica. Los círculos concéntricos, comenzando desde el más cercano al centro, representan las pérdidas de infraestructura principal, las pérdidas de infraestructura secundaria y las pérdidas de funciones sociales, respectivamente. [Adaptado y rediseñado de Hogan 2013: <http://www.slideshare.net/mtthwhgn/anytown160513-final>]**

Luego de identificar las dependencias, se las debe analizar para abordar los vínculos que existen dentro y entre estas:

- Instalaciones y activos
- Redes (físicas e informáticas)
- Sistemas integrales
- Comunidades, regiones y estados
- Fronteras transnacionales

La perturbación de estos vínculos (físicos o informáticos) puede ocasionar fallas en cascada y escalonadas, o fallas de origen común de sistemas de infraestructura ubicados en el mismo lugar [Scalingi y Folga 2013]. Este problema nuevamente destaca la necesidad de comprender dónde se encuentran ubicados físicamente los activos principales de una comunidad y si comparten la misma ubicación física, rutas de acceso u otros elementos físicos, lógicos o virtuales.

### 3. Recursos para evaluar las dependencias del sistema energético

Los siguientes son ejemplos de los recursos que pueden resultar útiles para las comunidades al evaluar y comprender las dependencias desde una perspectiva energética:

**Conclusiones obtenidas de la infraestructura para la resiliencia energética y regional.** En el Taller de interdependencias del Departamento de Energía de los Estados Unidos de 2013, Scalingi y Folga [2013] analizaron cómo las dependencias energéticas afectaron la preparación, respuesta y recuperación de los eventos peligrosos recientes. Para demostrar la importancia que implica entender las dependencias, se abordaron los efectos de las dependencias de los siguientes eventos peligrosos (<https://www.naseo.org/Data/Sites/1/events/energyassurance/2013-12-02/scalingi-and-folga.pdf>):

- **Tormenta invernal del noreste, febrero de 2013.** La tormenta invernal del noreste ocasionó cortes de energía masivos y creó problemas adicionales en la comunidad aparte del clima en sí mismo. Las estaciones de servicio no podían bombear gas, los semáforos no funcionaban, los edificios no podían proporcionar soporte vital básico y otros sistemas de infraestructura no funcionaban. El corte provocó que 700 000 clientes se quedaran sin energía y desencadenó una escasez de gasolina, perturbaciones en el tráfico y accidentes de autos; además, los aeropuertos se vieron afectados tras la cancelación de 6300 vuelos en la zona de la ciudad de Nueva York.
- **Huracán Sandy, octubre de 2012.** El huracán Sandy ocasionó inundaciones generalizadas que afectaron las carreteras, túneles y subtes. También generó cortes eléctricos que afectaron a varios estados. La región tuvo que afrontar la escasez de gasolina en las zonas afectadas dado que las rutas de abastecimiento eran inaccesibles, lo que llevó a la implementación de planes de compra impares/pares. Se evacuaron 5 hospitales y 30 hogares de ancianos/residencias de adultos debido a la pérdida de energía. La pérdida de energía también provocó que la Bolsa de Nueva York cerrara sus operaciones durante dos días.
- **Apagón del sudoeste, septiembre de 2011.** El gran apagón del sudoeste fue el más importante de la historia de California, ya que ocasionó que 7 millones de personas sufrieran cortes de energía en el oeste de Arizona, el sur de California y México. El corte fue ocasionado por 23 eventos separados que tuvieron lugar en 5 redes eléctricas distintas en un lapso de 11 minutos [MacDonald y Morgan 2011]. El corte generó interrupciones de los semáforos, lo que originó atascos en las carreteras de la zona de San Diego. La pérdida de energía también provocó que se vertieran millones de galones de aguas residuales no tratadas en el agua de la costa de San Diego.

**Hacia un lenguaje común de interdependencia de infraestructuras.** Carhart y Rosenberg [2015] ofrecen temas para iniciar y facilitar el debate entre las partes interesadas con respecto a las dependencias y para ayudar a caracterizar las relaciones de manera cualitativa (<http://discovery.ucl.ac.uk/1469380/1/125-130.pdf>).

**Incorporación de dependencias e interdependencias lógicas en los análisis de la infraestructura.** Petit y Lewis [2016] ofrecen un resumen general de los elementos que se pueden utilizar para caracterizar y evaluar las dependencias lógicas en lugar de las dependencias físicas o informáticas. Este resumen proporciona posibles métodos para poner en práctica e integrar las dependencias lógicas en las metodologías de resiliencia. (<http://cip.gmu.edu/2016/02/17/incorporating-logical-dependencies-and-interdependencies-into-infrastructure-analyses/>).

**Estudio de la interdependencia de los diques y los sectores energéticos.** El Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Seguridad del Territorio Nacional (DHS, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos publicaron un informe en septiembre de 2011, en una acción conjunta para examinar y comprender mejor las dependencias entre los diques y la energía. El informe hace hincapié en el impacto de los patrones meteorológicos y la demanda de agua que afecta de manera directa la cantidad de agua disponible para la generación de energía hidroeléctrica (<http://energy.gov/oe/downloads/dams-and-energy-sectors-interdependency-study-september-2011>).

***Interdependencia de la infraestructura del sistema eléctrico y del gas natural.*** En octubre de 2011, un memorándum del Comité Consultivo de Electricidad (Electricity Advisory Committee) a la Secretaría de Suministro de Electricidad y Confiabilidad Energética (Secretary for Electricity Delivery and Energy Reliability) proporcionó un resumen de su análisis de la infraestructura energética del país. Este trabajo se completó para determinar las zonas posibles para una mayor confianza y eficiencia. Este recurso contiene un resumen de las recomendaciones del Comité Consultivo ([http://energy.gov/sites/prod/files/EAC - Interdependence of Electricity System Infrastructure and Natural Gas Infrastructure Oct 2011.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/EAC_-_Interdependence_of_Electricity_System_Infrastructure_and_Natural_Gas_Infrastructure_Oct_2011.pdf)).

***Interfaz de agua y energía.*** El Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (NETL, National Energy Technology Laboratory) inició un Programa de interfaz de agua y energía (Water-Energy Interface Program) que se dedica a evaluar las dependencias entre los recursos de agua y los sistemas energéticos y a desarrollar soluciones técnicas para superar las barreras de la interfaz (<https://www.netl.doe.gov/research/coal/crosscutting/environmental-control/water-and-energy-interface>).

## 4. Referencias

- Carhart, Neil, and Ges Rosenberg (2015). *Towards a Common Language of Infrastructure Interdependency*. International Symposium for Next Generation Infrastructure Conference Proceeding: 30 September – 1 October 2014. International Institute of Applied Systems Analysis. Schloss Laxenburg, Vienna, Austria. Viewed November 7, 2016. <http://discovery.ucl.ac.uk/1469380/1/125-130.pdf>.
- Electricity Advisory Committee (2011). *Interdependence of Electricity System Infrastructure and Natural Gas Infrastructure*. Viewed November 7, 2016. [http://energy.gov/sites/prod/files/EAC - Interdependence of Electricity System Infrastructure and Natural Gas Infrastructure Oct 2011.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/EAC_-_Interdependence_of_Electricity_System_Infrastructure_and_Natural_Gas_Infrastructure_Oct_2011.pdf).
- Hogan, Matthew (2013). *Anytown – Infrastructure Interdependencies and Resilience*. London Resilience Team – London Prepared. Viewed November 21, 2016.
- McDonald, Jeff, and Lee Morgan (2011). *Outage had roots in Mexico, too*. Associated Press. Retrieved September 26, 2011. <http://www.sandiegouniontribune.com/news/watchdog/sdut-outage-had-roots-in-mexico-too-2011sep16-story.html>.
- National Energy Technology Laboratory (2016). *Water and Energy Interface*. U.S. Department of Energy. Viewed November 7, 2016. <https://www.netl.doe.gov/research/coal/crosscutting/environmental-control/water-and-energy-interface>.
- Peerenboom, James P., and Ronald E. Fisher (2007). *Analyzing Cross-Sector Interdependencies*. 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07). <http://ieeexplore.ieee.org/document/4076595/>.
- Petit, Frederic, and Lawrence Paul Lewis (2016). *Incorporating Logical Dependencies and Interdependencies into Infrastructure Analysis*. George Mason University. Viewed November 7, 2016. <http://cip.gmu.edu/2016/02/17/incorporating-logical-dependencies-and-interdependencies-into-infrastructure-analyses/>
- Public Technology Institute (PTI) (2011). *Local Government Energy Assurance Guidelines, Version 2.0*. [https://dl.dropboxusercontent.com/u/14265518/leap/PTI\\_Energy\\_Guidelines.correx.v2.pdf](https://dl.dropboxusercontent.com/u/14265518/leap/PTI_Energy_Guidelines.correx.v2.pdf).
- President's Commission on Critical Infrastructure Protection (1997). *Critical Foundations: Protection America's Infrastructures*. The Report of the President's Commission on Critical Infrastructure Protection. <https://www.fas.org/sgp/library/pccip.pdf>.
- Scalingi, Paula, and Steve Folga. *Infrastructure Interdependencies Lessons Learned for Energy and Regional Resilience*. U.S. Department of Energy Interdependencies Workshop, Washington DC, Dec 2, 2013. Viewed November 7, 2016. <https://www.naseo.org/Data/Sites/1/events/energyassurance/2013-12-02/scalingi-and-folga.pdf>.
- U.S. Department of Homeland Security, U.S. Department of Energy (2007). *Energy: Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan as input to the National Infrastructure Protection Plan*, page 17, May 2007. [http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Energy\\_SSP\\_Public.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Energy_SSP_Public.pdf).
- U.S. Department of Homeland Security and U.S. Department of Energy (2011). *Dams and Energy Sectors Interdependency Study*. Viewed November 14, 2016. [www.energy.gov/sites/prod/files/Dams-Energy Interdependency Study.pdf](http://www.energy.gov/sites/prod/files/Dams-Energy_Interdependency_Study.pdf).