Downloaded from orbit.dtu.dk on: Apr 28, 2024

DTU Library

Adaptación al cambio climático en el sector hidroeléctrico nicaragüense

Elementos para una estrategia de gestión de riesgos

Puig, Daniel; Haselip, James Arthur; Naswa, Prakriti

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

Citation (APA):
Puig, D., Haselip, J. A., & Naswa, P. (2015). *Adaptación al cambio climático en el sector hidroeléctrico nicaragüense: Elementos para una estrategia de gestión de riesgos*. UNEP DTU Partnership.

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

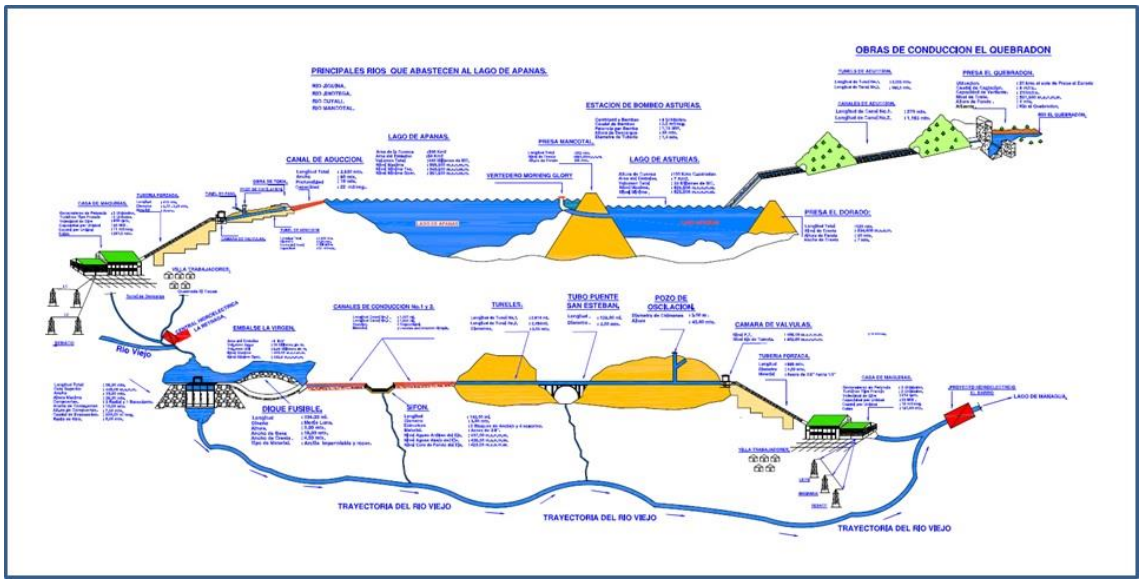
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Adaptación al cambio climático en el sector hidroeléctrico nicaragüense

Elementos para una estrategia de gestión de riesgos

Daniel Puig, James Haselip, Prakriti Naswa

Junio 2015



Adaptación al cambio climático en el sector hidroeléctrico nicaragüense
Elementos para una estrategia de gestión de riesgos

Informe UDP-CRD-OLADE-02(EN)
2015

Autores: Daniel Puig, James Haselip y Prakriti Naswa

Copyright: La reproducción de esta publicación, en todo o en parte, debe incluir la cita bibliográfica de costumbre, incluida la atribución del autor, el título del informe, etc.

Foto de portada: ENEL
Publicado por: UNEP DTU Partnership
Marmorvej 51 | 2100 Copenhagen Ø | Dinamarca
Copia disponibles en: www.unepdtu.org
ISBN: 978-87-93130-28-9

El UNEP DTU Partnership forma parte de la Universidad Técnica de Dinamarca

Contenidos

1. Introducción 7

2. Establecer el contexto 14

3. Identificación de los riesgos 17

4. Análisis de los riesgos 24

5. Evaluación de los riesgos 27

6. Tratamiento de los riesgos 29

7. Seguimiento y revisión 32

8. Comunicación y consulta 33

9. Recomendaciones 37

Resumen

El presente informe ha sido elaborado por el UNEP DTU Partnership bajo contrato con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). El informe identifica los principales elementos que el sector hidroeléctrico en Nicaragua debería tener en cuenta en el contexto del manejo de riesgos asociados al cambio climático. El análisis se restringe a plantas hidroeléctricas de concesión pública y con una capacidad mínima de 10 MW (seis plantas en total, con capacidades comprendidas entre 17 MW y 82.5 MW).

La Tabla R.1 da una lista de los principales riesgos asociados con el cambio climático a los que se enfrenta el sector hidroeléctrico en Nicaragua. A la fecha, no se ha instaurado ningún protocolo para recopilar de forma sistemática datos relativos a las consecuencias de los eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático.

Tabla R.1: Posibles riesgos asociados con el cambio climático en el sector hidroeléctrico

Segmento del sector	Riesgos potenciales
Represas	Inundaciones y cambios en los flujos de agua
Embalses	Mayor evaporación superficial, inundaciones y acumulación de sedimentos (que disminuyen la capacidad de almacenamiento)
Vertederos (drenajes)	Propagación de plantas acuáticas (que ocasionan corrosión), daños a la infraestructura e inundaciones
Centrales eléctricas	Inundaciones y cambios de caudal
Genérico	Competición por los recursos hídricos en casos de sequía, cortes del suministro eléctrico, aumento en la incidencia de Chikungunya, y la importación de combustibles fósiles (para satisfacer la demanda inmediata) en caso de menor producción

El tratamiento de los riesgos supone un proceso iterativo por el cual se selecciona una medida para la reducción de riesgos y se la evalúa respecto a los impactos pertinentes, se calculan los impactos residuales (impactos que persisten aún después de haber implementado la medida) y, en caso de considerarse estos demasiado elevados, se modifica la medida con miras a identificar un nuevo mecanismo que reduzca más los impactos residuales. La Tabla R.2 incluye las principales medidas que el sector hidroeléctrico nicaragüense podría considerar para reducir los riesgos asociados al cambio climático.

Tabla R.2: Posibles medidas para la gestión de los riesgos

Medidas correctivas	Fuente de posibles incidentes			
	Sedimentación	Aumento de la evaporación superficial	Inundaciones graves (que dañen la infraestructura)	Cambios en el caudal
Modificar la capacidad de los vertederos e instalar compuertas controlables para eliminar los sedimentos	✓			
Restaurar y mejorar la gestión de las tierras aguas arriba, incluida su forestación, a fin de reducir las inundaciones, la erosión, la sedimentación y los deslaves	✓			
Ampliar la capacidad de los embalses		✓		✓
Diseñar futuras centrales que sean resistentes a las inundaciones			✓	
Aumentar la altura de las presas y/o construir pequeñas presas aguas arriba				✓
Modificar el número y tipo de las turbinas, de modo que puedan soportar mayores caudales				✓
Modificar los vertederos, de modo que puedan soportar mayores caudales				✓
Manejo de la cuenca, para evitar (o revertir) su deterioro, por ejemplo conservando la cobertura boscosa	✓			✓

Recomendamos al gobierno de Nicaragua que elabore un plan para la gestión de los riegos asociados al cambio climático que puedan afectar el sector hidroeléctrico.

En este contexto, recomendamos a la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) que tome las siguientes medidas:

- a través de la entidad gubernamental encargada de la planificación nacional, convocar un diálogo entre los operadores de las plantas hidroeléctricas y todas las otras partes interesadas, para elucidar las prioridades de los distintos actores;
- recabar información, por segmento del sector, sobre (i) los estándares tecnológicos en uso y cómo estos difieren de las tecnologías equivalentes más avanzadas, (ii) los protocolos de preparación y respuesta a los eventos climáticos y (iii) los impactos del cambio climático registrados en las plantas hidroeléctricas;

Con esta información, la Empresa Nicaragüense de Electricidad estaría en disposición de elaborar un plan para la gestión de riesgos y la adaptación al cambio climático. Cabe destacar que, más allá de su utilidad en el contexto de la gestión de riesgos, dicha información puede servir para la toma de decisiones con respecto a otros aspectos relacionados con el funcionamiento de la planta. Por este motivo, sugerimos que estas tareas se vean como procedimientos ampliados y mejorados de control de calidad en el funcionamiento de las plantas (como sería cualquier protocolo de recopilación de datos importantes para el funcionamiento de las plantas).

1. Introducción

El presente informe ha sido elaborado por el UNEP DTU Partnership bajo contrato con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Se trata de un proyecto de informe final y, como tal, incorpora los comentarios recibidos en base a un informe parcial.

Contexto

En septiembre de 2014, OLADE encargó al UNEP DTU Partnership (UDP) un análisis de los riesgos asociados al cambio climático que puedan afectar al sector hidroeléctrico de Nicaragua. Dicho análisis se recoge en el presente informe, que se complementa con una base de datos (de proyecciones de variables climáticas) a ser entregada a OLADE.

Recuadro 1: UNEP DTU Partnership

En julio del 2014, coincidiendo con una mudanza a locales nuevos, el UNEP Risø Centre cambió su nombre para pasar a llamarse UNEP DTU Partnership (UDP). UDP es un centro de investigación y asesoría en energía, cambio climático y desarrollo sostenible, con vocación de líder internacional en estas áreas. UDP es un centro colaborador del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En dicha capacidad, UDP presta apoyo técnico a las actividades del PNUMA en temas de cambio climático. Por otra parte, UDP también trabaja con otras agencias multilaterales y bilaterales.

El encargo de OLADE se inscribe en un proyecto bilateral mayor (ejecutado por OLADE) para el apoyo de la adaptación al cambio climático en los países de América Latina y el Caribe, financiado por la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. La UDP aportó el tiempo de su personal como contribución en especie para la realización de algunos de los trabajos descritos en el presente informe.

Nicaragua es uno de los países más afectados por eventos climáticos extremos (GW, 2015). A la luz de los impactos recientes del cambio climático en Nicaragua, y en base a un análisis de los indicadores disponibles, el Banco Interamericano de Desarrollo sugiere que las iniciativas encaminadas a mejorar el manejo de riesgos asociados al cambio climático deberían continuar y reforzarse (BID, 2015). El presente informe representa una contribución en ese sentido.

Objetivo del proyecto

El proyecto identifica los principales elementos que el sector hidroeléctrico en Nicaragua debería tener en cuenta en el contexto del manejo de riesgos asociados al cambio climático. En el Recuadro 2 se presenta la principal terminología del análisis de riesgos a ser empleada en el informe.

El informe no constituye un plan de manejo de riesgos para el sector. Únicamente el gobierno nicaragüense, en representación del conjunto de partes interesadas, tiene la potestad de preparar un plan de este tipo.

Recuadro 2: Terminología del análisis de riesgos

Riesgo: Efecto de la incertidumbre en la consecución de los objetivos.

Gestión de riesgos: Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en relación con los riesgos.

Marco para la gestión de riesgos: Conjunto de componentes que establecen los pilares y las disposiciones necesarios en el seno de una organización para diseñar, implementar, dar seguimiento, revisar y mejorar en continuo la gestión de riesgos en toda la organización.

Política de gestión de riesgos: Enunciado general de las intenciones y de la posición de una organización en relación con la gestión de riesgos.

Plan para la gestión de riesgos: Procedimientos previstos bajo el marco para la gestión de riesgos (ver más arriba) de una organización, que especifican el enfoque, los componentes administrativos y los recursos a ser asignados a la gestión de riesgos.

Fuente: ISO 2009b (traducción no autorizada de UDP)

Beneficiarios

La Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), el ente gubernamental que opera las dos mayores plantas de propiedad pública, ha sido nuestro interlocutor principal.[1] ENEL nos ha facilitado también el contacto con otros actores relevantes. Por estas razones, ENEL es el beneficiario directo de este trabajo, en representación del resto de las partes interesadas dentro del sector hidroeléctrico Nicaragüense.

Hemos restringido en análisis a plantas hidroeléctricas de concesión pública y con una capacidad mínima de 10 MW. Así, el análisis incluye seis plantas, con capacidades comprendidas entre 17 MW y 82.5 MW. Las siete plantas de concesión pública restantes han sido excluidas debido a su capacidad más reducida (Apéndice D).

Enfoque

Se han considerado cuatro tipos de determinantes del riesgo a corto y mediano plazo: la evolución de la situación socioeconómica, los impactos del cambio climático, la disponibilidad de tecnologías (adecuadas y modernas) y las capacidades de preparación y respuesta a eventos climáticos extremos. La Figura 1 ilustra muestro modelo conceptual, en el que se

[1] ENEL es una compañía estatal, regida por Ley de la República de Nicaragua, con autonomía técnica, administrativa y financiera.

muestra que el nivel de riesgo al que está expuesta la industria hidroeléctrica es una función de la evolución futura de los cuatro tipos de determinantes mencionados más arriba.

De los parámetros socioeconómicos examinados, la demanda de energía eléctrica es el más importante. Se espera que la demanda se incremente, tanto en términos unitarios (per cápita) como en términos absolutos (ya que se prevé un incremento de la población). Se podría satisfacer una porción de esta demanda adicional mediante la ampliación de la capacidad hidroeléctrica, en cuyo caso la gestión de los riesgos asociados al cambio climático toma mayor relevancia aún (a mayor capacidad, mayor riesgo potencial).

Nuestro análisis de factores socio-económicos no ha considerado la posible evolución en el comercio transfronterizo de electricidad. Asimismo, tampoco se han considerado los eventos extremos catastróficos, al ser muy reducida la probabilidad de que se produzcan.

No fue posible recopilar las tecnologías utilizadas en las centrales hidroeléctricas de Nicaragua, lo cual hubiese posibilitado evaluar la brecha entre las tecnologías usadas en Nicaragua y las tecnologías equivalentes más modernas. Por tanto, nuestra evaluación de la capacidad tecnológica es cualitativa y, por lo tanto, indicativo solamente.

Figura 1: Determinantes del riesgo asociado con el cambio climático en el corto y mediano plazo

Del mismo modo, no ha sido posible obtener un panorama de las capacidades en términos de preparación y respuesta a los eventos climáticos. En consecuencia, suponemos que esas capacidades son limitadas, en comparación con las 'buenas prácticas' en otros países.[2] La implicación que de esto se deriva con respecto al análisis es la siguiente: se ha asumido que la

[2] Si el sector hubiese contado con protocolos de preparación y respuesta, lógicamente la identificación de dichos protocolos debería de haber sido fácil, con lo que obtener el mencionado panorama de capacidades en estos temas no hubiese sido un problema. Dado que este no fue el caso, asumimos que los protocolos no existen y que, en consecuencia, las capacidades son limitadas.

mejora en las capacidades de preparación y respuesta pueden jugar un papel relativamente importante de cara a reducir los riesgos asociados con el cambio climático.

Por último, hemos caracterizado los impactos del cambio climático a nivel local. Para ello hemos preparado proyecciones detalladas de cambios esperados en temperatura, precipitación y velocidad del viento. Dichas proyecciones se obtienen a partir de modelos cuyas estimaciones deben validarse con datos meteorológicos históricos (observaciones meteorológicas tomadas en distintos puntos de la zona geográfica de interés y correspondientes a los últimos treinta años o más). Al no existir estos datos, la validación se llevó a cabo usando datos llamados de 're-análisis', que aun siendo menos detallados que las observaciones meteorológicas nacionales, consiguen eliminar los sesgos introducidos por lo modelos).

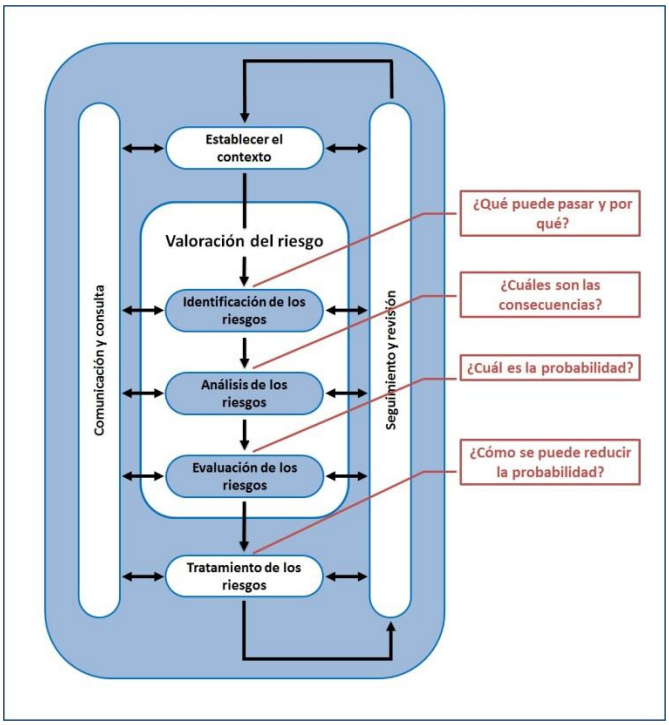
Metodología

El análisis en el presente informe se basa en documentos y datos disponibles antes de iniciar el proyecto. Estos materiales se obtuvieron a través de una revisión de la literatura, así como a través de entrevistas con especialistas nicaragüenses. Las proyecciones de cambios esperados en las variables climáticas (temperatura, precipitación y velocidad del viento) constituyen una excepción, en el sentido de que fueron preparadas específicamente como insumo a este proyecto.

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) ha elaborado un marco genérico para la gestión de riesgos. La Figura 2 ilustra los elementos principales de dicho marco, a la vez que muestra las relaciones entre los distintos elementos. Se han incluido pequeños recuadros de texto (en la parte derecha) para ayudar en la interpretación del diagrama.

El análisis en el presente informe se estructura en torno al mencionado marco genérico, que comprende los distintos elementes incluidos en la Figura 2. Con esto esperamos facilitar el seguimiento que se pueda dar a este informe – ya sea la elaboración de un plan de manejo de los riesgos para el sector u otros usos relacionados. Cabe notar que algunos de los elementos (en particular, 'comunicación y consulta' y 'seguimiento y revisión') no se pueden describir *a priori* (es decir, sin tener un plan concreto para la gestión de riesgos).

Figura 2: Marco para la gestión de riesgos ISO 31000



Fuente: adaptado de ISO, 2009a (traducción no autorizada de UDP)

Limitaciones del análisis

Dejando a un lado las restricciones presupuestarias y de calendario, la falta de datos ha limitado el nivel de detalle que hemos podido dar al presente informe. En concreto, no hemos podido obtener información desagregada por región, segmento del sector y tema.[3] Así pues, al ser bastante agregada la información disponible, las conclusiones se emiten a un nivel también agregado. A pesar de esto, el análisis aquí recogido llega a mostrar los aspectos principales que debería tener en cuenta un plan para la gestión de riesgos. Recomendamos que, en el proceso de elaborar ese plan, se recabe información desagregada por región, segmento del sector y tema.

Estructura del informe

En el Capítulo 2 se delinea el contexto para la gestión de riesgos. En los Capítulos 3 al 6 se presenta nuestro análisis en relación con los siguientes aspectos de la gestión de los riesgos, en este orden: identificación de los riesgos, análisis de los riesgos, evaluación de los riesgos y tratamiento de los riesgos. En los Capítulos 7 y 8 se expone nuestras sugerencias respecto a

[3] Por segmento del sector se entiende, por ejemplo, los embalses o vertederos. Por tema se entiende, por ejemplo, las capacidades de preparación y respuesta a los eventos climáticos, o la disponibilidad de tecnologías.

las tareas de seguimiento y revisión, así como a cuestiones de comunicación y consulta. El Capítulo 9 recoge nuestras recomendaciones respecto al uso potencial del presente informe.

El Apéndice A contiene un resumen de las proyecciones de variables climáticas mencionadas en lo anterior. Las referencias bibliográficas empleadas en la elaboración del presente informe se incluyen en el Apéndice B. En el Apéndice C consta una lista de las distintas personas con las que nos hemos entrevistado y que nos proporcionaron información. El Apéndice D contiene una visión general de la ubicación de las plantas hidroeléctricas (existentes y proyectadas) más importantes del país.

2. Establecer el contexto

Los impactos del cambio climático son potencialmente devastadores. Dichos impactos ya se están haciendo sentir y se anticipa una intensificación de su magnitud en las próximas décadas (GIECC, 2014). En consecuencia, entes de distinto tipo, tanto públicos como privados, han empezado a incluir el cambio climático en sus respectivos planes para la gestión de riesgos. En concreto, en muchos países los gobiernos han comenzado a elaborar planes sectoriales para reducir la vulnerabilidad al cambio climático (CMNUCC, 2014).

En Nicaragua, el *Plan Nacional de Desarrollo Humano*, que cubre el periodo 2012-2016, pone gran énfasis en la adaptación al cambio climático como condición indispensable para asegurar y mantener mayores niveles de desarrollo humano en el país (GRUN, 2012). En seguimiento a este plan, el gobierno se encuentra preparando una estrategia nacional para la adaptación al cambio climático.[4] De lo que se desprende de estudios recientes, el sector hídrico muy probablemente reciba una atención especial en esta estrategia (MARENA, 2008).

Las evidencias disponibles sugieren que los impactos del cambio climático van a reducir la disponibilidad de agua en el país, al tiempo que se anticipa un crecimiento demográfico. Es evidente que el efecto combinado de estas dos tendencias será una mayor competición por los recursos hídricos.

El gobierno de Nicaragua ha establecido un Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED, 2015). A través de este canal, una parte del personal de ENEL ha sido entrenada en el manejo de desastres causados por inundaciones, deslizamientos e incendios. A efectos prácticos, esta formación representa la principal medida de gestión de riesgos en el sector hidroeléctrico (de gestión pública) en Nicaragua.

Clasificar los riesgos

Un plan de gestión de riesgos debe clasificar los riesgos de manera inequívoca. Si el perfil de riesgos no se modifica en el tiempo, las clasificaciones pueden ser estáticas. Sin embargo, en la mayoría de los casos los planes para la gestión de riesgos no se basan en clasificaciones estáticas, sino que delinean las herramientas y los métodos que deben aplicarse para determinar qué tipos de riesgos serán los más importantes en un determinado momento futuro.

Clasificar riesgos es difícil principalmente por tres razones: en primer lugar, en la mayoría de los casos el número de riesgos potenciales que se podría considerar es muy alto; en segundo lugar, la definición del riesgo dista mucho de ser sencilla;[5] y, en tercer lugar, las distintas partes

[4] Cabe mencionar, sin embargo, que no está previsto que dicha estrategia incluya al sector energético.

[5] El riesgo se puede medir por distintas variables y, según la utilizada, la clasificación de riesgos será diferente. Asimismo, la definición de riesgo puede ser restringida (por ejemplo, incluyendo solamente mortalidad y morbilidad, o el valor asegurado de los bienes que se pierden en una catástrofe) o puede ser amplia (incluyendo, por ejemplo, cuestiones de equidad, o variando dicha definición a lo largo del tiempo).

afectadas suelen tener apreciaciones muy diferentes sobre qué tipo de riesgo es el más importante.

Siguientes etapas

Para que un plan de gestión de riesgos sea eficaz, se requiere que los actores pertinentes compartan una misma visión respecto a los objetivos y el alcance del mismo. Con este propósito, el gestor del plan (muy probablemente ENEL, en este caso) debe forjar un consenso entre los actores sobre los siguientes aspectos:

- cuántos y cuáles impactos serán considerados en el plan (por ejemplo, impactos en las personas, los ecosistemas o los activos económicos);

- qué tipo de evidencia se debe (aceptar y) considerar, dadas las lagunas de información que caracterizan a este tipo de proceso;

- hasta qué punto son de preocupación los distintos tipos de impactos.

En la mayoría de los casos obtener consenso sobre estos aspectos representa la etapa más difícil de la elaboración de un plan de manejo de riesgos.

Por otra parte, el gestor del plan debe responsabilizarse de recabar datos que no suelen estar centralizados, lo cual dificulta el proceso, a veces enormemente. Los resultados de nuestro trabajo suplementan de dos maneras la información disponible en Nicaragua cuando se empezó el análisis:

- Se prepararon proyecciones de variables climáticas de mayor calidad, en comparación con las proyecciones existentes en Nicaragua en el momento de comenzar nuestro trabajo. Dichas proyecciones permiten establecer una atribución más precisa de los impactos probables del cambio climático a lo largo del tiempo (anualmente hasta 2050) y por región (celdas de 0.5 grados de longitud por 0.5 grados de latitud).

- Se recopiló información relevante a la gestión de los riesgos asociados con el cambio climático y la hemos presentado de manera compatible con un marco para la gestión de riesgos. Este proceso nos ha permitido identificar tanto las tendencias como las lagunas de información, proporcionando así insumos para la elaboración de un plan para la gestión de riesgos en el sector.

Sin prejuicio de lo expresado anteriormente, existen todavía importantes lagunas de información, siendo las más relevantes:

- Datos sobre los estándares tecnológicos por central y por segmento del sector.[6] Para poder juzgar el efecto que podría surtir una mejora tecnológica en la reducción de los riesgos asociados al cambio climático, es indispensable tener un panorama del tipo de tecnologías disponibles (por central y por segmento del sector) y conocer hasta qué punto difieren de las tecnologías equivalentes más avanzadas.

- Datos sobre la capacidad de preparación y respuesta a los eventos climáticos, por central y/o por segmento del sector.[7] Es particularmente difícil estimar las capacidades probables de preparación y respuesta a futuro, puesto que los sistemas de seguimiento y alerta temprana se basan en unos umbrales críticos de muy difícil proyección (ya sea en Nicaragua o en otros países) por ser esta un área poco investigada. Presenta al menos la misma dificultad el estimar qué proporción del personal recibirá formación en el futuro y la calidad de esa capacitación.

- Datos de las observaciones meteorológicas históricas sobre las principales variables climáticas (particularmente temperatura y precipitación), para un período mínimo de treinta años y que abarque, sino a todo el país, al menos las localidades donde se encuentran las centrales hidroeléctricas existentes o proyectadas. Estos datos permitirían eliminar de las proyecciones los sesgos que introducen los modelos climáticos. Cuánto menores sean dichos sesgos, mayor será la confianza en la atribución de los impactos del cambio climático que pueda resultar de esas proyecciones.

Mensajes principales

El gobierno de Nicaragua ha creado el Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED). Por este canal, funcionarios de ENEL han sido formados en el manejo de los desastres causados por inundaciones, deslizamientos e incendios.

Todo plan para la gestión de riesgos debe clasificar los riesgos de manera inequívoca. Sin embargo, esto se dificulta por la gran cantidad de riesgos que podrían, en principio, ser considerados, y por que las diferentes partes interesadas suelen tener distintas prioridades y definiciones del riesgo.

En vista de lo anterior, es importante que el gobierno de Nicaragua forje un consenso en torno a los distintos componentes de una clasificación de los riesgos. Por otra parte, es imperativo que se recopile más información, especialmente sobre los estándares tecnológicos y las capacidades de preparación y respuesta frente a los eventos climáticos.

[6] Por ‘segmento del sector’ se entiende, por ejemplo, la represa, el embalse, el conducto forzado, las turbinas o el generador.

[7] Definimos el concepto ‘preparación y respuesta’ en un sentido amplio, para englobar tanto las capacidades de seguimiento y alerta temprana, como el nivel de capacitación que pueda haber recibido el personal de las centrales.

3. Identificación de los riesgos

Los principales riesgos asociados con el cambio climático a los que se enfrenta el sector hidroeléctrico son: evaporación superficial, reducción de la escorrentía (en casos de sequía), aumento de la escorrentía (en casos de inundación) y acumulación de sedimentos.[8] La Tabla 1 ilustra los tipos de riesgos considerados por segmento del sector (incluido un grupo de impactos llamado "genéricos" por no ser específicos de ningún segmento del sector).

Tabla 1: Posibles riesgos asociados con el cambio climático en el sector hidroeléctrico

Cambios climáticos	Posibles riesgos primarios
- Cambios en la temperatura - Cambios en la precipitación - Eventos meteorológicos extremos (por ejemplo, tormentas de viento o niveles extraordinariamente altos de humedad)	**Represas** - inundaciones - cambios en los flujos de agua **Embalses** - mayor evaporación superficial - inundaciones - acumulación de sedimentos (que disminuyen la capacidad de almacenamiento) **Vertederos (drenajes)** - propagación de plantas acuáticas (corrosión) - daños a la infraestructura - inundaciones **Centrales eléctricas** - inundaciones - cambios de caudal **Genéricos** - competición por los recursos hídricos en casos de sequía - cortes del suministro eléctrico - aumento en la incidencia de Chikungunya - importación de combustibles fósiles (para satisfacer la demanda inmediata) en caso de menor producción

Fuente: adaptado de ADB, 2012

Acorde con la definición dada en el Recuadro 2, el riesgo se puede caracterizar como función de las amenazas, los niveles de exposición y las vulnerabilidades. Estos conceptos se definen en los párrafos siguientes. El resto de este capítulo incluye estimaciones cuantitativas de las amenazas asociadas al cambio climático que pueden afectar al sector hidroeléctrico

[8] La acumulación de sedimentos, también llamada entarquinamiento, se define como la presencia de partículas finas en una masa de agua, ya sean suspendidas o depositadas. En el contexto de la energía hidroeléctrica, la acumulación de sedimentos puede reducir la capacidad de almacenamiento del embalse.

nicaragüense, así como descripciones cualitativas de los niveles de exposición a estas amenazas y de la vulnerabilidad que éstos representan para el sector.

Amenazas

En el contexto de la adaptación al cambio climático, las amenazas han sido definidas como “el incidente potencial, ya sea de origen natural o inducido por el ser humano, que pueda causar muertes, lesiones, u otros impactos en la salud humana, así como daños y pérdidas en bienes privados, infraestructuras, medios de vida, prestación de servicios y recursos naturales” (GIECC, 2012). Nuestro análisis se ciñe a las amenazas causadas por incidentes de origen natural y a la posibilidad de que un incidente de determinada magnitud ocurra dentro del período bajo consideración.

Acorde con la síntesis en la Tabla 1 (véase la columna de la izquierda), para poder estimar dichas posibilidades se precisa de proyecciones de temperatura y precipitación para el periodo comprendido entre el presente y el año 2050 (Apéndice A). Nuestro análisis incluye además proyecciones de velocidad del viento, pero debido a la conocida dificultad de su modelación, no hemos puesto mayor énfasis en estas proyecciones. En lo que respecta a la elevación del nivel de mar, hemos utilizado proyecciones pre-existentes.

Las proyecciones climáticas ‘a escala reducida’ muestran que se espera un incremento de la temperatura media, más pronunciado en la zona central del país y en la costa del Pacífico. La parte noroeste del departamento de Chinandega (entre el río Estero Real y la costa del Pacífico) registraría los mayores incrementos de temperatura.

Las mismas proyecciones son poco concluyentes en lo que respecta a la precipitación. Si bien parece que el volumen de precipitación anual se verá reducido, no se observa ninguna tendencia clara con respecto a la frecuencia e intensidad de episodios de precipitación extrema. Las estimaciones de los diferentes modelos invitan a especular con una reducción en la frecuencia y un incremento en la intensidad.

En el Apéndice A se sintetizan los impactos anticipados en tres regiones del país, correspondientes a las localidades de las plantas Carlos Fonseca y El Carmen, La Sirena y El Barro, y Centro América y Larreynaga. Es muy probable que, en las tres localidades, la cota de temperatura máxima anual aumente en un grado al 2025 y en dos grados al 2050 (respecto a niveles históricos). Las mismas proyecciones indican que la precipitación anual disminuiría en las tres localidades, especialmente en un escenario de cambio climático intenso.

En su segunda ‘comunicación nacional’ a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el gobierno nicaragüense estima en 35 cm el valor medio de la elevación del nivel del mar a lo largo del presente siglo, lo que equivale a aproximadamente 3,5 mm por año (MARENA, 2008). Estos valores son congruentes con las estimaciones reportadas en el ‘informe de evaluación’ más reciente del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC, 2014), así como con las estimaciones publicadas en el presente año. Dada la situación geográfica de las plantas hidroeléctricas, no se prevé que el aumento del nivel del mar las afecte directamente.

En el Recuadro 3 se presenta un panorama genérico (aunque adaptado a las condiciones imperantes en Nicaragua) de los posibles impactos asociados con los cambios de precipitación, temperatura y velocidad del viento. Cabe destacar que, al ser las amenazas latentes por definición, los impactos sólo se producen cuando una amenaza se manifiesta en una zona donde las instalaciones hidroeléctricas se encuentren expuestas y vulnerables. En los siguientes párrafos se presentan los conceptos de exposición y vulnerabilidad, esenciales para entender cuándo y de qué manera se convierte una amenaza en un riesgo real para el sector.

Recuadro 3: Panorama de impactos, por variable climática

Precipitación

- Los cambios en las pautas de precipitación, anuales o estacionales, pueden afectar el caudal de los ríos y los niveles de agua en las represas, reduciendo o aumentando su producción energética.
- La acumulación de sedimentos puede conllevar una reducción en la capacidad de almacenamiento de agua en los embalses.
- Una mayor incertidumbre respecto a futuros caudales, puede incidir en la producción energética y en los costos de generación.
- Un incremento de los sedimentos que caen al embalse (arrastrados por la lluvia en un contexto de deforestación de la cuenca agua arriba) reduce la producción energética.
- Una mayor competencia por el recurso hídrico (en el caso de escasez de la precipitación) reduce la producción energética.

Temperatura

- Un incremento generalizado en las temperaturas podría acentuar la incidencia de determinadas enfermedades. En particular, los casos de enfermedades transmitidas por mosquitos tales como la Chikungunya y el dengue, serían más numerosos.
- Una mayor evaporación tendría como impacto final una reducción de la producción energética.
- Un incremento en los episodios de sequía favorecería la erosión, lo que a su vez tendría como consecuencia un aumento en la acumulación de sedimentos.

Velocidad del viento

- Un incremento en la frecuencia y la intensidad del viento, favorecería la evaporación superficial, reduciendo de este modo el volumen de agua almacenada y, por ende, la producción energética.

Fuente: adaptado de ADB, 2012

Exposición

En el contexto del cambio climático, la ‘exposición’ se ha definido como “la presencia de personas; medios de vida, servicios ambientales y recursos; infraestructura; o capital económico, social o cultural, en lugares que podrán resultar afectados de manera adversa” (GIECC, 2012). Obviamente, la situación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua es

conocida, por lo que bastaría un simple mapeo de la probable distribución geográfica de la aparición de amenazas (debidas al cambio climático) para identificar las instalaciones expuestas a los impactos del cambio climático.

Sin embargo, la situación de las centrales activas no es el único factor a considerar: las instalaciones activas podrían cerrarse y otras nuevas podrían abrirse en zonas dónde hoy no existe ninguna. Por este motivo, además de considerar la situación de las plantas en activo, debe también considerarse la localización más probable de las plantas que puedan abrirse en un futuro próximo.

La Tabla 2 sintetiza los cambios anticipados en relación con la precipitación y la temperatura máxima. Dichos cambios se presentan en forma de tendencias (aumento o disminución) en el período de tiempo que se extiende hasta el año 2050. Las proyecciones de precipitación anual muestran una tendencia a la disminución (reducciones de más de 100 mm anuales al 2050). La temperatura máxima media podría aumentar en un grado al 2025 y en dos grados al 2050.

Las plantas hidroeléctricas consideradas (Apéndice D) se han agrupado en base a su ubicación en las celdas geográficas que se han modelado (Apéndice A). En el Apéndice A se incluyen información más detallada.

Tabla 2: Cambios anticipados en precipitación y temperatura

Plantas en la zona (existentes o planificadas)	Cambios anticipados			
	Precipitación		Temperatura máxima	
	2025	2050	2025	2050
Carlos Fonseca y El Carmen	Estable / disminución	Disminución	Aumento	Aumento
La Sirena y El Barro	Disminución	Disminución	Aumento	Aumento
Centro América y Larreynaga	Disminución	Disminución	Aumento	Aumento

Vulnerabilidad

En el contexto del cambio climático, la ‘vulnerabilidad’ ha sido definido como “la propensión o predisposición a resultar afectado de manera adversa” (GIECC, 2012). La vulnerabilidad viene determinada por la medida en que una determinada instalación que está expuesta a una amenaza (debida al cambio climático) puede sufrir esa amenaza sin verse afectada. De una instalación que puede soportar una cierta amenaza climática se dice que es ‘a prueba del clima’ (para esa amenaza en concreto y su correspondiente umbral de severidad).

En el contexto de la industria hidroeléctrica, que una instalación sea ‘a prueba del clima’ depende de factores tanto físicos como humanos:

- Los factores físicos dependen de la calidad, tanto de la infraestructura como de la tecnología.[9] Es posible construir infraestructuras que resistan a la mayoría de eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático, de la misma manera como existen tecnologías que pueden funcionar satisfactoriamente incluso en esas condiciones extremas. Así pues, en el caso de una instalación expuesta a las amenazas del cambio climático, si sus componentes físicos (es decir, la infraestructura y la tecnología) son ‘a prueba del clima’, la instalación no es vulnerable ante dichas amenazas, aun estando expuesta a ellas. Por el contrario, una instalación expuesta, cuyos componentes físicos no son ‘a prueba del clima’, será vulnerable. Cabe destacar que no será económicamente eficiente invertir en infraestructuras y tecnologías más ‘a prueba del clima’ en todos los casos. Según la situación y del horizonte temporal, puede ser más ventajoso afrontar los costos de reparación.

- Los factores humanos pueden ser caracterizados en función de las capacidades de preparación y respuesta del personal del sector hidroeléctrico. Como se indicó en lo anterior, se define ‘preparación y respuesta’ en términos amplios: el concepto incluye tanto los recursos para implementar programas de seguimiento y alerta temprana, como la posibilidad de formar al personal en los riesgos ocasionados por el cambio climático. El impacto asociado con una determinada amenaza (debida al cambio climático) será menor si el sector ha puesto en marcha mecanismos de seguimiento y alerta temprana que permitan alertar al personal sobre una amenaza inminente, lo que permite prepararse para afrontarla en mejores condiciones. Igualmente, los impactos de dicha amenaza serán menores si el personal ha sido formado para afrontar este tipo de situaciones.

La vulnerabilidad también viene determinada por factores ajenos al sector. En el contexto del sector hidroeléctrico, los dos factores ‘externos’ más relevantes son la competición por los recursos hídricos y la demanda de energía eléctrica. Esto se debe a que la misma central, expuesta a la misma amenaza, será tanto más vulnerable cuanto más restringido sea el acceso al agua y mayor la producción que se espera de esa central, en comparación con una situación de referencia.[10]

Las turbinas de la central Carlos Fonseca fueron sustituidas en 2007 (se remplazaron por turbinas Francis, aunque de un modelo más eficiente, comparado con el modelo retirado).[11] La próxima modernización de la represa y las turbinas está prevista para el año 2045.[12] En el año

---

[9] Por infraestructura se entiende, por ejemplo, un edificio, mientras que tecnología se refiere, por ejemplo, a una bomba de agua.

[10] Por ‘situación de referencia’ se entiende una situación en que la disponibilidad de agua y el volumen de producción esperado no representan obstáculos significativos.

[11] En Nicaragua, las dos centrales de propiedad estatal usan turbinas Francis. En comparación con las turbinas Pelton o Kaplan (los otros dos tipos más comúnmente usados para la generación hidroeléctrica), las turbinas Francis son más apropiadas para el tipo de centrales en funcionamiento en Nicaragua.

[12] Una central equipada con tecnología de punta costaría alrededor de cuatro millones de dólares por MW de potencia instalada. Dada la capacidad instalada de 50 MW (tanto en una central como en la otra), el costo de modernizar

2045, la brecha entre la tecnología instalada en Nicaragua y la tecnología de punta (en ese año) será aún mayor a la actual. En un contexto de impactos climáticos crecientes, es muy probable que la renovación tecnológica de las centrales actualmente en operación se convierta, antes incluso de llegar al año 2045, en una de las medidas más importantes para la gestión de riesgos asociados con los eventos climáticos.

No ha sido posible obtener un panorama de las capacidades en términos de preparación y respuesta a los eventos climáticos (Capítulo 1). Tampoco ha sido posible identificar las formaciones que, a través de SINAPRED, fueron impartidas a personal de ENEL y que son relevantes a la gestión de los riesgos asociados con el cambio climático. En consecuencia, suponemos que, a día de hoy, la formación del personal en estos temas es limitada.[13]

De aquí al año 2025, se anticipa que en Nicaragua la demanda eléctrica se incremente más del doble con respecto a los niveles actuales (de 3.250 GWh en 2010 a 6.889 GWh en 2025). Tomando en cuenta tanto los costos de generación para cada tipo de central eléctrica, como el potencial hidroeléctrico del país, se estima que la generación hidroeléctrica en Nicaragua podría incrementarse de 307,9 GWh en 2010 a no menos de 1.600 GWh en 2025.[14] En definitiva, la contribución del sector hidroeléctrico al total de electricidad generada en Nicaragua podría aumentar del 9,5 por ciento, registrado en el año 2010, hasta un 23 por ciento en el 2025.[15] En caso de confirmarse estas proyecciones, el aumento en la importancia del sector hidroeléctrico que ello conllevaría, sólo acentuaría la necesidad de elaborar planes para el manejo de los riesgos climáticos en este sector.

No ha sido posible obtener estimaciones cuantitativas del uso del agua en Nicaragua. En la región central del país, dónde se concentran las plantas hidroeléctricas que nos incumben (Apéndice D), la vulnerabilidad del recurso hídrico es debida principalmente a la agricultura y la deforestación (MARENA, 2009). Al menos a corto plazo, parece que ambas actividades (y la extensión de la frontera agrícola en particular) van a ganar importancia, con lo que se puede esperar una mayor competencia por el uso del recurso hídrico.

completamente una sola central se elevaría a doscientos millones de dólares (es decir, 400 millones de dólares para modernizar ambas centrales). La magnitud del costo imposibilita su retiro prematuro.

[13] De otro modo cabría esperar que no hubiese habido dificultad en identificar dichas formaciones.

[14] Esta estimación incluye todas las centrales hidroeléctricas del país, no sólo aquellas operadas por ENEL (ahora o en el futuro).

[15] Estas proyecciones han sido obtenidas utilizando LEAP, un modelo de contabilidad ‘de abajo hacia arriba’ (Heaps, 2015).

Mensajes principales

Las proyecciones climáticas ‘a escala reducida’ muestran que se espera un incremento de la temperatura media, más pronunciado en la zona central del país y en la costa del Pacífico. Para la mayoría de las regiones del país, dichas proyecciones son poco concluyentes en lo que respecta a la precipitación.

En las localidades de las plantas Carlos Fonseca y El Carmen, La Sirena y El Barro, y Centro América y Larreynaga es muy probable que la cota de temperatura máxima anual aumente. Las mismas proyecciones indican que la precipitación anual disminuiría en las tres localidades, especialmente en un escenario de cambio climático intenso.

La vulnerabilidad depende de los niveles de exposición (ver párrafo anterior), las capacidades de preparación y respuesta, los estándares tecnológicos y la evolución de ciertas variables socio-económicas (en especial, la competición por los recursos hídricos y el incremento en la demanda de electricidad). Si las tendencias que se observan hoy día no cambian, la vulnerabilidad del sector se vería incrementada.

4. Análisis de los riesgos

Además de caracterizar la vulnerabilidad, los planes para la gestión de riesgos deben describir sus implicaciones – es decir, deben delinear el abanico de posibles consecuencias asociadas con todos los 'estados de vulnerabilidad' pertinentes. Esta afirmación se desprende de la constatación siguiente: para manejar de forma eficiente los impactos del cambio climático, es imprescindible entender todas las consecuencias de los mismos.

Idealmente, dicha caracterización debe distinguir entre segmentos del sector, tipo y magnitud de los impactos y regiones geoclimáticas. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de los planes para la gestión de riesgos se limitan a delinear, para cada segmento del sector, dos o tres niveles de impacto cuyas consecuencias sean progresivamente más perjudiciales. En base a estas dos o tres 'situaciones tipo', los planes para la gestión de riesgos identifican las medidas a tomarse en el caso de que un determinado segmento del sector se vea afectado por un impacto, independientemente del tipo y la magnitud del evento que cause ese impacto y sin prejuicio de la zona geográfica del mismo.

Los casos ilustrativos incluidos en el Recuadro 3 presentan, en términos generales y específicamente para el sector hidroeléctrico, los impactos asociados con los eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático. La experiencia acumulada en la central Centro América permite representar las consecuencias de algunos de estos impactos.

Según el personal de ENEL que opera la planta Centro América, en los últimos quince años El Niño ha sido el peor evento meteorológico extremo al que ha debido hacer frente la central.[16] Los mayores impactos de El Niño se han registrado a intervalos de cuatro o cinco años: por ejemplo, en 2001 la central Centro América solamente generó 128 GWh, mientras que los niveles históricos medios de producción son de 203 GWh por año (al 2001 le sigue como peor año el 2007, con una generación de sólo 173 GWh). Asumiendo que la electricidad no generada por la planta hidroeléctrica se generase a partir de petróleo importado, los costos del impacto ascenderían a varios millones de dólares (Recuadro 4).

En algunos inviernos, el exceso de precipitaciones ha elevado el nivel de los embalses por encima de sus cotas. El derrame que tales eventos conllevan puede dañar ciertas infraestructuras (particularmente las represas y los vertederos). No obstante, en los últimos quince años la central Centro América ha sufrido pocos daños. Más recientemente, la central sólo ha sufrido derrames en los años 2010 y 2014 que registraron pérdidas consideradas no significativas (equivalentes a 58 GWh y 15 GWh, respectivamente).

El huracán Mitch, que afectó América Central entre finales de octubre y principios de noviembre del año 1998, dejó niveles de precipitación muy altos en Nicaragua. Los derrames ocasionados

[16] El Niño es un fenómeno climático caracterizado por temperaturas mayores que las normales en las capas superficiales del Océano Pacífico en su región ecuatorial. Aunque no son concluyentes, las evidencias disponibles apuntan a que el cambio climático podría exacerbar este fenómeno.

fueron el equivalente a unos 163,7 GWh (casi la generación de un año). Tanto el vertedero a cielo abierto como el embalse Apanás sufrieron graves daños.[17]

Recuadro 4: Relación entre manejo de la cuenca e impacto económico

Aguas arriba del embalse de Apanás, que alimenta las centrales Centro América y Carlos Fonseca, la superficie forestada ha disminuido, siendo substituida por pastizales y cafetales. Este nuevo tipo de utilización del suelo ha acrecentado la acumulación de sedimentos en el embalse, lo que disminuye la capacidad de generación de las centrales e indirectamente representa un riesgo para los asentamientos humanos adyacentes a las mismas.

A día de hoy dicho riesgo a los asentamientos humanos se ve reducido solamente gracias a la contribución de las centrales al manejo de la cuenca (para garantizar niveles adecuados de generación). A su vez, al mantener dichos niveles de generación, la contribución de ENEL al manejo de la cuenca permite evitar un incremento en el precio de la electricidad (la energía hidroeléctrica es más barata que sus alternativas).

El buen manejo de la cuenca es pues indispensable tanto para los asentamientos humanos adyacentes a las plantas como para todos los ciudadanos nicaragüenses que se benefician de la electricidad generada por las plantas. Estas observaciones ponen en evidencia la importancia de establecer un plan comunitario de manejo integral de la cuenca.

Estos ejemplos ilustran, en el ámbito de una subcuenca, algunas de las consecuencias de las amenazas (debidas al cambio climático) descritas en las secciones precedentes. Es poco probable que dichas consecuencias sean representativas de las que podrían esperarse en otras cuencas y/o en centrales con diseños distintos al de la central Centro América. Por razones obvias, el proceso de gestión de riesgos requiere de una descripción de todas las consecuencias posibles, además de información sobre los niveles de incidencia de los distintos tipos de impactos (Capítulo 5).

Recomendamos a ENEL que recopile datos relativos al conjunto de incidentes pertinentes y que los registre por segmento del sector. Entre los datos más relevantes se pueden citar los siguientes:

- detalles sobre la amenaza (por ejemplo, la magnitud de una inundación);
- detalles sobre las tecnologías requeridas para limitar los daños (por ejemplo, bombas de agua o gestión adaptativa de los embalses);
- estimaciones de los costos asociados con el incidente (incluidas las pérdidas materiales, ingresos no percibidos, el tiempo del personal y otros recursos vertidos a limitar los daños); y
- detalles sobre la duración del incidente.

[17] Además, se inundaron algunas casas en los márgenes del embalse Apanás.

Mensajes principales

Además de caracterizar la vulnerabilidad, los planes para la gestión de riesgos deben delinear el abanico de posibles consecuencias asociadas con todos los ‘estados de vulnerabilidad’. Hasta la fecha, las consecuencias de los eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático han sido relativamente insignificantes en la central Centro América. Sin embargo, no es posible determinar si los impactos experimentados en esta central son representativos de los que se podrían experimentar en otras centrales situadas en cuencas diferentes y/o con diseños distintos.

A la fecha, no se ha instaurado ningún protocolo para recopilar de forma sistemática datos relativos a las consecuencias de los eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático. Recomendamos a ENEL que reúna datos relativos al conjunto de incidentes relevantes y que los registre por segmento del sector. Entre los datos más relevantes se incluyen: (i) el tipo y la magnitud de la amenaza; (ii) las tecnologías requeridas para limitar los daños; (iii) los costos asociados con el incidente; y (iv) la duración del mismo.

5. Evaluación de los riesgos

Una vez caracterizadas las vulnerabilidades y descritas sus consecuencias, el plan para la gestión de riesgos debe delinear la probabilidad de que llegue a producirse un impacto de una magnitud determinada. Dicha probabilidad es función de dos parámetros: la frecuencia anticipada de cada tipo de evento meteorológico extremo atribuible al cambio climático; y de cuán 'a prueba del clima' sea la instalación en cuestión. Así, se podría decir que la evaluación del riesgo consiste en determinar, para cada impacto relevante, el nivel de vulnerabilidad de una instalación que ha sido identificada como 'vulnerable'.

En la mayoría de los casos, dicha relación es de difícil cuantificación. Por esta razón, a menudo se opta por la alternativa más simple de asignar probabilidades (por segmento del sector) solamente a un número reducido de impactos probables 'típicos'. En lo posible, estas probabilidades deben adaptarse a las realidades de la instalación en cuestión, para que reflejen los estándares tecnológicos de dicha instalación, su ubicación geográfica, y las capacidades de preparación y respuesta del personal de esa instalación.

En el presente informe se incluyen estimaciones de tendencias probables en las variables climáticas seleccionadas (Apéndice A). Estas tendencias dan una indicación de la frecuencia anticipada de los diferentes tipos de eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático.

Las estimaciones de cuan 'a prueba del clima' llegue ser una instalación se pueden obtener de manera empírica, en función de los impactos observados (ya sea en Nicaragua o en otra parte del mundo, siempre y cuando las condiciones sean comparables) y por segmento del sector. Por ejemplo, los operadores que se ocupan del mantenimiento de las turbinas saben mejor que nadie hasta qué punto los sedimentos pueden haber afectado a la turbina durante un determinado periodo de tiempo. Dichos operadores pueden emitir un juicio de valor en función de: (i) la calidad de la infraestructura, a la vista de los estándares del sector; (ii) las condiciones de la central en cuestión (en este ejemplo, la abundancia de sedimentos en el periodo de interés); y (iii) los incidentes ocurridos en situaciones similares.

Cabe destacar que la evaluación de riesgos debe ser actualizada regularmente, conforme surja nueva información y se acumulen experiencias en la gestión de riesgos. En lo que concierne a las proyecciones de tendencias posibles en variables climáticas, las actualizaciones anuales no son necesarias: obtener nuevas proyecciones cada cinco años debería de ser suficiente. Sin embargo, con respecto a las estimaciones de cuán 'a prueba del clima' pueda ser una instalación, es útil - si no imprescindible - hacer actualizaciones anuales (Capítulo 7).

Mensajes principales

La evaluación de riesgos comporta estimar la probabilidad de que llegue a producirse un impacto de determinada magnitud. Esta probabilidad es función de dos parámetros: la frecuencia anticipada de cada tipo de evento meteorológico extremo atribuible al cambio climático; y de cuán 'a prueba del clima' pueda ser la instalación en cuestión.

Hemos preparado estimaciones de tendencias probables en variables climáticas seleccionadas, las cuales dan una indicación de la frecuencia anticipada de varios tipos de eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático. Las estimaciones de cuan 'a prueba del clima' llegue ser una instalación se pueden obtener de manera empírica.

6. Tratamiento de los riesgos

El tratamiento de los riesgos se refiere a las acciones emprendidas con el propósito de reducir la probabilidad de un determinado impacto, mitigando así los riesgos. Normalmente, supone un proceso iterativo por el cual se selecciona una medida para la reducción de riesgos y se la evalúa respecto a los impactos pertinentes, se calculan los impactos residuales (impactos que persisten aún después de haber implementado la medida) y, en caso de considerarse estos demasiado elevados, se modifica la medida con miras a identificar un nuevo mecanismo que reduzca más los impactos residuales.

Por lo general, las medidas tienen como propósito la reducción de la vulnerabilidad de las instalaciones en cuestión (por ejemplo, mediante la modernización de la tecnología). En algunos casos las medidas tienen como objetivo principal limitar la probabilidad de determinado impacto (por ejemplo, mediante la mejora de los sistemas de alerta temprana). Por último, en algunos casos, las medidas representan mecanismos para compartir el riesgo (generalmente a través de un seguro).

En algunas situaciones, una empresa puede optar por hacer caso omiso a determinado tipo de riesgo y, por tanto, decidir no aplicar ninguna medida correctiva para contrarrestarlo. Por ejemplo, frente a proyecciones muy inciertas de velocidad del viento, una empresa puede plantearse pasar por alto sus posibles efectos adversos, al menos hasta que nuevas proyecciones (menos inciertas) corroboren la existencia del riesgo.

Una empresa puede optar por mantener, o incluso aumentar, su exposición a un determinado riesgo, a fin de aprovechar una oportunidad de negocio. Por ejemplo, supongamos que una empresa desee usar centrales hidroeléctricas de tamaño micro o pico para proveer de energía a algunas de sus instalaciones, incluso en regiones dónde se estima que los eventos meteorológicos extremos causados por el cambio climático pueden provocar impactos muy importantes, pero la probabilidad de que esto ocurra se estima muy baja. La empresa puede ignorar estos impactos potenciales, por muy importantes que pudiesen ser, porque la probabilidad de que ocurran es muy baja y - en especial - porqué los beneficios que generan dichas instalaciones son suficientemente importantes como para compensar los hipotéticos daños a dichas centrales hidroeléctricas (o incluso la destrucción de las mismas).

La selección de una medida adecuada para el tratamiento de los riesgos requiere de decisiones técnicas y financieras no triviales. Estas decisiones deben ajustarse a las normativas vigentes, las cuales suelen variar de una jurisdicción a otra. Además, es de vital importancia consultar sobre el proceso de tratamiento de los riesgos con todas las partes interesadas (Capítulo 8).

Por último, cabe notar que el tratamiento de los riesgos puede fracasar y, pese a todos los esfuerzos, no reducir tales riesgos en la práctica. Entre las posibles causas de ello se incluyen los errores en el proceso de valoración (Figura 2), la variabilidad en el tipo y magnitud de las amenazas (Capítulo 3), o una combinación de ambas causas. En algunos casos, una

inadecuada evaluación puede incluso aumentar los riesgos respecto a la situación de referencia.[18]

En la Tabla 3 constan algunas posibles medidas para la gestión de los riesgos en el caso de la energía hidroeléctrica. Se trata de una lista bastante genérica que debe ser ampliada y adaptada para cada segmento del sector.

Tabla 3: Posibles medidas para la gestión de los riesgos

Medidas correctivas	Fuente de posibles incidentes			
	Sedimentación	Aumento de la evaporación superficial	Inundaciones graves (que dañen la infraestructura)	Cambios en el caudal
Modificar la capacidad de los vertederos e instalar compuertas controlables para eliminar los sedimentos	✓			
Restaurar y mejorar la gestión de las tierras aguas arriba, incluida su forestación, a fin de reducir las inundaciones, la erosión, la sedimentación y los deslaves	✓			
Ampliar la capacidad de los embalses		✓		✓
Diseñar futuras centrales que sean resistentes a las inundaciones			✓	
Aumentar la altura de las presas y/o construir pequeñas presas aguas arriba				✓
Modificar el número y tipo de las turbinas, de modo que puedan soportar mayores caudales				✓
Modificar los vertederos, de modo que puedan soportar mayores caudales				✓
Manejo de la cuenca, para evitar (o revertir) su deterioro, por ejemplo conservando la cobertura boscosa	✓			✓

Fuente: adaptado de ADB, 2012

[18] Por 'situación de referencia' se entiende una situación en la que no se realiza ninguna gestión de riesgos y no se aplica ninguna medida para la reducción de los mismos.

Los planes para la gestión de los riesgos pueden ser de tipo estático o dinámico. En los de tipo estático, se identifica un conjunto de medidas a ser implantadas (en paralelo o sucesivamente), con independencia de lo que acontezca una vez el plan ha sido aprobado. En los planes de tipo dinámico, se identifican las medidas que deben aplicarse en caso de superarse un determinado umbral crítico. Los planes de tipo dinámico son de más difícil elaboración (Capítulo 7), pero resultan ser los más efectivos.

Además de identificar medida para la gestión de los riesgos, un plan de gestión de riesgos debe esbozar la manera como cada una de las medidas será aplicada, teniendo en cuenta cómo encajan con los procedimientos cotidianos de la empresa. Específicamente, el plan debe incluir información sobre los siguientes aspectos:

- justificación de la selección de las medidas, y los beneficios esperados de cada una;
- asignación de responsabilidades para su ejecución;
- necesidades financieras y humanas previstas;
- requisitos de desempeño, incluido el calendario de ejecución; y
- requisitos de seguimiento e información.

Si es necesario, deben revisarse los procedimientos operativos cotidianos de la empresa, a fin de asegurar que sean consistentes con los planes para la gestión de riesgos y que los apoyen. Igualmente, es importante cerciorarse de que las partes interesadas tienen conocimiento de los riesgos residuales.

Mensajes principales

El tratamiento de los riesgos supone un proceso iterativo por el cual se selecciona una medida para la reducción de riesgos, la cual se evalúa respecto a los impactos pertinentes, se calculan los impactos residuales (impactos que persisten aún después de haber implementado la medida) y, en caso de considerarse estos demasiado elevados, se modifica la medida con miras a identificar un nuevo mecanismo que reduzca más los impactos residuales. En el presente informe consta una lista genérica para la gestión de los riesgos, la cual debe ser ampliada y adaptada para cada segmento del sector.

Además de identificar medida para la gestión de los riesgos, un plan de gestión de riesgos debe esbozar la manera como cada una de las medidas será aplicada, teniendo en cuenta cómo encajan con los procedimientos cotidianos de la empresa. Si es necesario, deben revisarse los procedimientos operativos cotidianos de la empresa, a fin de asegurar que sean consistentes con los planes para la gestión de riesgos y que los apoyen

7. Seguimiento y revisión

Los planes para la gestión de riesgos deben ser revisados periódicamente, con el propósito de integrar nuevos conocimientos, afinar los objetivos y las medidas a ser tomados, y ajustar los mecanismos de ejecución. Las revisiones se basan mayoritariamente en la información obtenida a partir de programas de monitoreo y revisión, así como de las consultas con las partes interesadas (Capítulo 8).

Un buen programa de monitoreo y revisión debe cumplir los siguientes requisitos:

- asegurar que el plan para la gestión de riesgos cumpla los objetivos fijados;
- proporcionar información suplementaria con respecto a la gestión de riesgos;
- identificar los aprendizajes, conforme se adquiere mayor experiencia en la ejecución del plan;
- establecer un mejor manejo comunitario en la totalidad de la cuenca hidrológica, a fin de evitar conflictos por el uso del recurso hídrico, así como garantizar la generación hidroeléctrica;
- identificar cambios en el contexto del análisis de riesgos (por ejemplo, una normativa más estricta con respecto a los requerimientos al sector hidroeléctrico en términos de planificación e información haría necesaria la revisión del plan); e
- identificar los riesgos emergentes.

Con frecuencia los programas de monitoreo y revisión son ejecutados de acuerdo con un calendario predeterminado. No obstante, es importante que los programas sean suficientemente flexibles como para proporcionar información a la demanda (es decir, en el momento en que se presente una amenaza).

En vista de ello, se recomienda a ENEL que establezca un comité compuesto de representes de todos los departamentos de la empresa (Capítulo 8), para preparar recomendaciones de monitoreo y revisión. Tales recomendaciones podrían implementarse gradualmente, para evitar sobrecargas de trabajo. Sería beneficios que ambas centrales aplicasen las recomendaciones al mismo tiempo, para intercambiar experiencias y ayudarse mutuamente.

Mensajes principales

Los programas de seguimiento y revisión permiten mejorar los planes de manejo de riesgos, integrando nuevos conocimientos, afinando los objetivos y las medidas a ser tomados, y ajustando los mecanismos de ejecución.

Se recomienda a ENEL que establezca un comité compuesto de representes de todos los departamentos de la empresa, para preparar recomendaciones de monitoreo y revisión. Tales recomendaciones podrían implementarse gradualmente y simultáneamente en ambas centrales, para intercambiar experiencias y ayudarse mutuamente.

8. Comunicación y consulta

A lo largo del proceso de gestión de riesgos, es imprescindible establecer canales para la comunicación y consulta con todas las partes interesadas, tanto externas a la industria como internas. Esto se debe, entre otros factores, a que cada grupo de actores percibe el riesgo en función de sus propios intereses, que varían de un grupo a otro, con lo cual las percepciones varían también (Capítulo 2).

Se debe procurar que el plan para la gestión de riesgos refleje todos los puntos de vista. El hecho de omitir las preocupaciones de uno o más de los grupos de actores constituye en sí un riesgo, en tanto en cuanto esas preocupaciones desatendidas representan problemas latentes que pueden resurgir en cualquier momento.[19] Es pues de vital importancia fortalecer las estructuras comunitarias a fin de asegurar la participación de todos los actores en el manejo de la gestión hídrica, tanto a nivel de micro cuenca como de toda la cuenca hidrológica.

En este contexto, en sus principios y directrices para la gestión de riesgos, la ISO recomienda que el gestor del plan de riesgos prepare, como parte de ese plan, una estrategia de comunicación y consulta con las partes afectadas. Además, la ISO sugiere que el plan abarque "tanto los riesgos en sí como sus causas y consecuencias (de ser conocidas) y las medidas a ser adoptadas para tratarlos".

En este capítulo se bosquejan nuestras recomendaciones para la preparación de un plan de comunicación y consulta que pueda integrarse en una estrategia para la gestión de riesgos en el sector hidroeléctrico nicaragüense. Adicionalmente, se resumen los intercambios entre la UDP y determinadas partes interesadas en el sector hidroeléctrico, los cuales sirvieron de fuentes para la preparación del presente documento. Dicho resumen ha sido incluido en este capítulo porque probablemente haya que establecer intercambios similares en el momento de preparar un plan de comunicación y consulta.

Recomendaciones para la preparación de un plan de comunicación y consulta

Para preparar un plan completo de comunicación y consulta se requiere de los aportes tanto de los empleados de ENEL, como de las partes interesadas que no forman parte de la empresa. En lo que respecta a los empleados de ENEL, se sugiere que, desde las etapas iniciales, se involucre a personal de todos los departamentos. De este modo se puede identificar la totalidad de las cuestiones pertinentes.

Una vez identificadas las principales áreas de interés, es conveniente concentrar la responsabilidad en una o dos personas. Se recomienda que el personal seleccionado esté vinculado con los servicios centrales de la ENEL (en contraposición al personal vinculado a

[19] Por ejemplo, en el caso de las dos plantas operadas por ENEL, el dialogo con los distintos actores es clave para fortalecer las estructuras comunitarias (a través de una mayor participación de dichos actores), con el objetivo de mejorar el manejo de la cuenca, en beneficio tanto de las plantas hidroeléctricas como de las comunidades colindantes.

alguno de los departamentos especializados). En su papel de representantes del resto de la empresa, estas personas deben abanderar la visión de consenso, que puede no coincidir con la visión personal de los individuos escogidos como representantes de toda la empresa.

Entre las partes interesadas de fuera del sector se incluyen los grupos de interés (centrados en cuestiones ambientales, derechos laborales, u otro tema pertinente), los organismos del estado, las comunidades locales y otros sectores (en particular los representantes de colectivos que consumen grandes cantidades de agua). Se recomienda que (no ENEL, si no) la agencia gubernamental encargada de la planificación en Nicaragua convoque estos diferentes grupos de interés. Al no estar los intereses de dicha agencia sesgados hacia ningún grupo de actores en concreto, su rol de facilitadora será más fácilmente percibido como imparcial e independiente. Una alternativa a este enfoque podría suponer la conformación de un comité que sirva de convocador, compuesto de un reducido número de personas muy respetadas e independientes, cada una en representación de uno de los grupos de partes interesadas.

En cuanto al contenido de las consultas, planteamos tres recomendaciones:

- comenzar por establecer el contexto (véase el análisis del Capítulo 2 sobre la categorización de los riesgos);
- identificar los riesgos primarios que podrían presentar las mayores amenazas;
- asegurar que las opiniones de todas las partes interesadas reciben igual trato y que se dispone de especialistas en todas las áreas relevantes para el análisis de los riesgos.

En este contexto, cabe recordar que la capacidad de las partes interesadas para participar en las consultas depende de un abanico de factores:

- **Información:** El personal de ENEL entiende los procesos de las plantas mejor que ningún otro actor, hecho que limita la capacidad de las demás partes interesadas para participar en los análisis técnicos. Sin embargo, a menudo son los actores de fuera del sector quienes aportan evidencias de las consecuencias de los procesos del mismo (en cuanto a calidad ambiental, uso del suelo, u otros temas). Por este motivo, los distintos grupos de interés deben ‘educarse’ los unos a los otros sobre la marcha, si se desea que la consulta rinda algún beneficio.
- **Tiempo:** Debido a que ENEL tienen más en juego como resultado de las deliberaciones, el tiempo probablemente no represente una limitación importante. Sin embargo, en el caso de las partes interesadas de fuera del sector, cada consulta representa una carga adicional a las funciones normales de las personas involucradas, por lo que el tiempo sí constituye un factor limitante. Para superar este problema, en contextos similares se ha destinado financiación (bien sea por el gobierno directamente o por el sector, a través del gobierno) para contratar a un experto independiente que represente a un grupo de interés determinado.
- **Habilidad:** Por lo general, el personal de la industria posee mayores destrezas de negociación y comunicación que las demás partes interesadas. Esto se debe simplemente a que la negociación y la comunicación suelen representar una parte importante de su trabajo. Si es posible movilizar los fondos necesarios, las otras partes interesadas pueden obtener tales habilidades en forma de un experto externo independiente (véase lo anterior).

En épocas de penuria económica, asignar fondos a actividades no esenciales en el sector, como sería el caso de las consultas descritas en lo anterior, es especialmente problemático. Por otra parte, es muy perjudicial iniciar un proceso de consulta en tiempos de bonanza económica para abandonarlo si, al poco tiempo, ENEL se enfrentase a restricciones presupuestarias. En estos casos, sería poco probable que las partes interesadas retomasen el diálogo si, más tarde, ENEL les propusiese reiniciar el proceso. Por ello, antes de iniciar el diálogo es importante asegurar que exista el compromiso de completarlo sin importar el clima económico.

Intercambios entre la UDP y determinadas partes interesadas del sector hidroeléctrico

Basándose en el alcance del trabajo acordado con OLADE a finales de 2014, la UDP realizó una investigación de escritorio orientada a identificar las cuestiones de mayor interés para su futuro estudio. Como parte de este procesó UDP elaboró una lista de preguntas para las partes interesadas y los expertos del sector, principalmente el personal de ENEL. El objetivo principal de estas preguntas era obtener descripciones de fenómenos meteorológicos extremos recientes y de su impacto en las plantas hidroeléctricas operadas por ENEL, así como obtener un panorama de la disponibilidad de tecnologías de última generación y de los mecanismos de preparación y respuesta en funcionamiento.

Fue posible recabar información detallada sobre dichos temas antes de la visita de campo efectuada en Managua del 18 a 20 de febrero del año 2015. En concreto, se obtuvieron los datos publicados por ENEL sobre capacidad y producción mensual. Sin embargo, sólo fue durante la visita al país que se pudo, de manera presencial, reunir información más detallada sobre las tecnologías específicas utilizadas, los impactos de los eventos climáticos extremos y el grado de preparación para los mismos. Para ello, la contraparte del proyecto organizó reuniones en las instalaciones de ENEL, cuyos funcionarios identificaron a los actores más pertinentes. En total, se entrevistó a catorce individuos afiliados a cinco organizaciones, todas ellas basadas en Nicaragua (Apéndice C).

En cuanto a la recopilación de datos en materia de tecnologías, impactos y niveles de preparación, se acordó (entre la UDP y ENEL) que sería necesario concentrarse en mantener consultas con los directores de planta en ENEL. Con este fin, un miembro del equipo de la UDP se reunió con los tres directores de planta de ENEL, los cuales le proporcionaron información sobre las siguientes cuestiones: la manera como las plantas se manejan, los impactos de eventos climáticos recientes, las tecnologías pertinentes y las medidas para la gestión de los riesgos.

Cabe señalar que ENEL no opera todas las centrales hidroeléctricas existentes y previstas en el país; y aquellas que sí opera se encuentran en una sola zona, alimentada por la misma cuenca hidrográfica. No fue posible obtener información sobre las demás instalaciones, actuales o previstas (Apéndice D), ni por parte de ENEL, ni por parte de los Ministerios de Energía y Ambiente.

Mensajes principales

A lo largo del proceso de gestión de riesgos, es imprescindible establecer canales para la comunicación y consulta con todas las partes interesadas, tanto externas ENEL como internas. El hecho de omitir las preocupaciones de uno o más de los grupos de actores constituye en sí un riesgo, en tanto en cuanto esas preocupaciones desatendidas representan problemas latentes que pueden resurgir en cualquier momento.

Para preparar un plan completo de comunicación y consulta se requiere de los aportes tanto del personal de ENEL, como de las partes interesadas que no forman parte de la empresa. Para ello, se recomienda: (i) que ENEL realice una consulta incluyendo personal de todos los departamentos; y (ii) que un organismo neutral, como por ejemplo la agencia nacional de planificación, convoque una consulta entre todos los interesados (de dentro y fuera de ENEL).

Cabe recordar que la capacidad de las partes interesadas para participar en las consultas depende de (i) la cantidad de información que tienen; (ii) el tiempo que pueden dedicar a ellas; y (iii) su capacidad de negociación. Por lo general, la industria lleva una ventaja respecto a los demás grupos de interés. Por lo tanto, si las consultas han de tener sentido, éstos últimos requieren apoyo.

9. Recomendaciones

El presente informe tiene como objetivo proporcionar a ENEL los principales elementos necesarios para mejorar la gestión de los riesgos asociados con el cambio climático. Para ello, los capítulos precedentes delinean los diferentes componentes de un plan de gestión de riesgos e identifican los datos que son necesarios para elaborar dicho plan.

Los siguientes párrafos presentan recomendaciones concretas que ENEL (y el gobierno de Nicaragua) podrían adoptar con miras a elaborar un plan de gestión de riesgos para las dos centrales hidroeléctricas en funcionamiento, así como las centrales que puedan entrar en servicio a mediano plazo. A estas recomendaciones se añaden dos sugerencias que van más allá de la elaboración del mencionado plan de gestión de riesgos.

Elaboración de un plan de gestión de riesgos

La elaboración de un plan de gestión de los riesgos asociados con el cambio climático requiere de un consenso amplio sobre los objetivos y el alcance del plan (Capítulo 2). Con miras a forjar este consenso entre todas las partes interesadas, recomendamos que la entidad gubernamental encargada de la planificación nacional convoque un diálogo entre ENEL y cualquier otro actor (no vinculado a ENEL) que sea parte interesada en el tema. Este diálogo representa un primer paso indispensable para proceder con las siguientes etapas.

El presente informe destaca el hecho de que ENEL cuenta con muy poca información sobre los estándares tecnológicos utilizados en sus dos plantas y cómo estos difieren de las tecnologías equivalentes más avanzadas. De igual manera, ENEL parece no disponer de protocolos de preparación y respuesta a los eventos climáticos, más allá de la formación recibida en el contexto del programa SINAPRED.[20] Este tipo de información es necesaria para establecer una 'línea base' que permita determinar hasta qué punto la gestión de riesgos pasa por mejorar las tecnologías y/o aumentar la capacidad de preparación y respuesta (Capítulo 2). Por esta razón recomendamos a ENEL que recabe esta información, por segmento del sector y elabore un plan de adaptación al cambio climático.

Para gestionar el riesgo es necesario entender las consecuencias de las amenazas (relacionadas con el cambio climático) que lo definen. Para ello, es vital que ENEL recabe sistemáticamente un mínimo de información relacionada con los impactos de los eventos meteorológicos extremos atribuibles al cambio climático (Capítulo 4). Dado que la iniciativa sería útil para todas las partes, se podría imaginar un mecanismo que permitiese compartir este tipo de información entre todos los operadores de plantas hidroeléctricas en Nicaragua (es decir, ENEL y los operadores privados). El Ministerio de Energía y Minas sería probablemente el actor más relevante para promover este tipo de intercambio, conjuntamente con ENEL.

[20] ENEL parece no disponer de, por ejemplo, un plan de adaptación al cambio climático y a los eventos hidrometeorológicos extremos.

Cabe destacar que la información a la que se refieren los párrafos precedentes, más allá de su utilidad en el contexto de la gestión de riesgos, puede servir para la toma de decisiones con respecto a otros aspectos relacionados con el funcionamiento de la planta. Por este motivo, sugerimos que estas tareas se vean como procedimientos ampliados y mejorados de control de calidad en el funcionamiento de las plantas (como sería cualquier protocolo de recopilación de datos importantes para el funcionamiento de las plantas).

En el momento en que ENEL hubiese recabado suficiente información sobre los incidentes registrados, así como preparado 'líneas base' para tecnologías en uso y capacidades de preparación y respuesta, sería recomendable que todas las partes interesadas definiesen conjuntamente los elementos de las estrategias de seguimiento y revisión (Capítulo 7) y de comunicación y consulta (Capítulo 8). La plataforma de diálogo (mencionada más arriba) facilitada por el ente nacional de planificación sería el mecanismo más adecuado para facilitar este proceso.

Colaboración con otros actores nicaragüenses

El presente trabajo sirve de apoyo al Estado nicaragüense (y a ENEL en particular). Sin embargo, en Nicaragua la mayoría de plantas hidroeléctricas son operadas por otros actores, los cuales no tiene obligación jurídica alguna de adoptar medidas para la gestión de riesgos ante el cambio climático. Dado que dichas centrales se enfrentan a los mismos niveles de riesgo que las centrales operadas por ENEL, se considera que los resultados del presente informe serán de interés para los operadores de las primeras, por lo que se sugiere compartir el informe con estos operadores.

Nuestras proyecciones de las variables climáticas parecen ser mucho más sofisticadas que las existentes en el país (o las disponibles entre los análisis prospectivos de la región). Además de ser directamente aplicables a la gestión de los riesgos asociados con el cambio climático en el sector hidroeléctrico, estas proyecciones son útiles para la mayoría o la totalidad de los ejercicios de planificación para la adaptación al cambio climático, sin importar si su enfoque es sectorial o nacional. Por este motivo, sugerimos a ENEL que difunda las proyecciones entre los demás organismos del Estado, particularmente el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, así como los entes técnicos y/o de investigación asociados al ministerio.

Apéndice A Proyecciones climáticas "a escala reducida"

En este apéndice se resumen las proyecciones de las variables climáticas más importantes, que hemos preparado para fundamentar el presente análisis. Como introducción al dicho resumen, se describe primero el enfoque utilizado para obtener las proyecciones.

A.1. Antecedentes

Hemos modelado cuatro variables: temperatura (máxima y mínima), precipitación y velocidad del viento. Para cuantificar la incertidumbre asociada a las proyecciones, hemos usado diez modelos climáticos distintos. Los resultados consisten en estimaciones diarias hasta el año 2100, con una resolución de 0,5 grados de latitud por 0,5 de longitud.

Para preparar estas estimaciones hemos llevado a cabo una 'reducción de escala' de las proyecciones de modelos climáticos globales, obtenidas usando los escenarios llamados 'trayectorias representativas de concentraciones' (Recuadro A.1). De los cuatro escenarios, hemos escogido el segundo y el cuarto (llamados RCP 4.5 y RCP 8.5).

La 'reducción de escala' de las proyecciones de modelos climáticos globales es una técnica a través de la cual las propiedades de la atmósfera libre se pueden usar para predecir condiciones meteorológicas locales. En el contexto del cambio climático, esta técnica permite generar proyecciones a nivel local de variables climáticas (tales que la precipitación o la temperatura) en base a proyecciones regionales o globales.

Se han desarrollado dos grandes tipos de técnicas de 'reducción de escala', a saber: la 'reducción de escala dinámica' y la 'reducción de escala estadística'. La 'reducción de escala dinámica' utiliza modelos climáticos regionales de alta resolución (o un modelo global que ofrece una alta resolución para la zona de interés). La 'reducción de escala estadística' se basa en funciones estadísticas para establecer correlaciones entre descriptores climáticos a escalas regionales (obtenidos a través de observaciones, re-análisis o modelización) y descriptores a escalas locales (obtenidos a través de observaciones).

Comparando los resultados de la 'reducción de escala dinámica' y la 'reducción de escala estadística' aplicadas a estadísticas climáticas históricas, se ha visto que muestran niveles de acierto muy similar. Aunque de esto no se pueda deducir que ambas técnicas tendrán desempeños similares al aplicarse a estadísticas climáticas **futuras**, en la práctica la mayoría de usuarios de estas técnicas las tratan como si así fuese. Al no requerir modelos locales para cada zona de interés, la 'reducción de escala estadística' se usa más frecuentemente.

En ambos casos se requiere que los sesgos introducidos por los modelos sean eliminados. En la 'reducción de escala estadística' los sesgos se eliminan usando datos meteorológicos históricos. Para ello se necesitan observaciones de calidad, cubriendo no menos de treinta años. Cuando las oficinas meteorológicas nacionales no disponen de datos de la calidad

requerida se pueden utilizar datos disponibles en archivos internacionales, como fue el caso para este estudio.

Recuadro A.1: Trayectorias representativas de concentraciones

Los escenarios 'trayectorias representativas de concentraciones' (RCP, por sus siglas en inglés) son trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero que describen rangos plausibles de cambio climático. Los escenarios RCP representan una desviación respecto a los escenarios de cambio climático preparados con anterioridad, en tanto en cuanto se definen en términos de concentraciones (sus precursores se definían en términos de niveles de emisión de gases de efecto invernadero). Esta característica confiere a los escenarios RCP una mayor polivalencia para explorar el papel que los cambios en tecnología o en variables socio-económicas pueden jugar en relación con la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo (Moss *et al.*, 2010).

Se han preparado cuatro escenarios RCP, correspondientes a cuatro valores progresivamente más elevados de forzamiento radiativo que se consideran plausibles de cara al año 20100. El forzamiento radiativo se define como la diferencia entre la radiación recibida y la rechazada por el sistema climático (terrestre) y se mide en watts por metro cuadrado. Los cuatro escenarios RCP son: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.

Para nuestro análisis hemos usado la segunda y la cuarta trayectorias. RCP 4.5 corresponde a trayectorias de concentraciones de gases de efecto invernadero consistentes con un forzamiento radiativo de 4.5 W/m^2 en el año 2100. Este nivel de forzamiento radiativo representa un aumento de 1,4 °C (en el período 2046-2065) o de 1,8 °C (en el periodo 2081-2100) en la temperatura media de la superficie terrestre, en comparación con la media en épocas pre-industriales. Las estimaciones correspondientes a RCP 8.5 son 8.5 W/m^2, 2,0 °C (en el periodo 2046-2065) y 3,7 °C (en el periodo 2081-2100).

Hemos obtenido proyecciones de diez modelos distintos.[21] Todos ellos han contribuido a una iniciativa llamada de 'comparación entre modelos', cuyo objetivo era homogeneizar enfoques y mejorar las metodologías en el área de la 'reducción de escala'.[22] Al seleccionar modelos que han participado en este proyecto el grado de comparabilidad de las distintas estimaciones es más alto (en comparación con una situación en la que otros modelos se hubiesen usado).

[21] Usar varios modelos nos permite caracterizar la incertidumbre asociada a nuestros resultados. Para ello presentamos dichos resultados en forma de un rango del conjunto de diez estimaciones que hemos obtenido para cada parámetro.

[22] La iniciativa, que se llevó a término entre los años 2010 y 2014, se conoció como el 'coupled model inter-comparison project' (o CMIP5, por ser el quinto en una serie de proyectos relacionados). El lector encontrará información adicional (en inglés) sobre el proyecto en este enlace: http://pcmdi-cmip.llnl.gov/cmip5/

La iniciativa mencionada más arriba contó con la participación de unos veinte grupos de modelización. Para este estudio usamos diez de esos modelos, que seleccionamos en base a varios criterios técnicos de desempeño.[23] Los modelos que usamos son:

- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Model (ACCESS1-0)
- Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM1-1-M),
- Community Climate System Model (CCSM4),
- Community Earth System Model – Biogeochemistry (CESM1-BGC),
- Community Earth System Model – Community Atmosphere Model (CESM1-CAM5)
- Centre National de Recherches Météorologiques CM5 Model (CNRM-CM5)
- Hadley Global Environment Model 2 – Carbon Cycle (HadGEM2-CC)
- Hadley Global Environment Model 2 – Earth System (HadGEM2-ES)
- Institut Pierre Simon Laplace's CM5A Model LR (IPSL-CM5A-LR),
- Institut Pierre Simon Laplace's CM5A Model MR (IPSL-CM5A-MR),

A.2. Procedimiento usado para sintetizar los datos

Los párrafos que siguen describen el procedimiento que hemos usado para resumir las proyecciones. De todos los procedimientos posibles, este es el que nos pareció que podría ser más claro para el lector no especializado.[24]

Hemos dividido la superficie del país en celdas de 0,5 grados de latitud por 0,5 grados de longitud (en total, 45 celdas). Para cada una de esas celdas hemos obtenido estimaciones de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y velocidad del viento. En concreto, para cada una estas cuatro variables hemos obtenido estimaciones diarias para el período que va del 1 de enero del 2006 al 31 de diciembre del 2100 (es decir, unas 34,675 estimaciones para cada variable y celda).[25] Puesto que hemos usado diez modelos distintos (ver más arriba), el número de estimaciones en realidad es diez veces mayor (es decir, 346,750 estimaciones para cada variable y celda). Finalmente, dado que hemos considerado dos niveles plausibles de cambio climático (correspondientes a RCP 4.5 y RCP 8.5, ver más arriba), el número real de estimaciones es el doble de grande (es decir, 693,500 estimaciones para cada variable y celda).[26]

---

[23] El lector puede dirigirse a los autores para obtener información sobre los criterios técnicos de desempeño.

[24] No es el único procedimiento posible. Por ejemplo, hubiésemos podido calcular distribuciones de probabilidad (para sintetizar en una única expresión toda la información disponible) o podríamos haber hecho un análisis de extremos (así llamado porque ayuda a identificar las desviaciones con respecto a una tendencia). El procedimiento que hemos usado es más simple y, en consecuencia, más claro. Consideramos que lo que se pierde en detalle se compensa suficientemente a través de la mayor claridad, que será beneficiosa para el lector no experto en estos temas. Sin prejuicio de esto, y dado que el gobierno nicaragüense tendrá acceso a la totalidad de las proyecciones, se podría llevar a cabo un análisis más complejo en otro momento, si se considerase oportuno.

[25] Cabe señalar que, desde el punto de vista de la modelización, el año 2006 se considera un año 'futuro', en el sentido de que los datos históricos disponibles abarcan el período 1950-2005, pero no más allá. Por esta razón, las proyecciones se calculan a partir del 2006, a pesar de que, a día de hoy, el año 2006 obviamente corresponde al pasado. El lector puede dirigirse a los autores para obtener más información sobre este tema.

[26] Cabe señalar que estas estimaciones sólo tienen sentido desde el punto de vista de las tendencias a largo término que las estimaciones (en su conjunto) describen. En otros términos, una sola estimación (sin importar a qué variable, celda o fecha se refiera) no se puede leer de la misma manera que se leería el pronóstico meteorológico para las

Precipitación
Hemos adicionado toda la precipitación de un año (la precipitación caída durante los 365 días del año, combinada en un solo número) para cada año en el período 1950-2100 y hemos calculado la pendiente de la línea recta que se correlaciona mejor con la tendencia de las estimaciones correspondientes a esos 150 años. Una pendiente negativa indica que la precipitación disminuye con el tiempo, mientras que una pendiente positiva indica que aumenta. Para cada escenario de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5) hemos comparado las diez pendientes (una para cada modelo). Hemos llevado a cabo el mismo análisis agrupando por meses (no por años) las estimaciones de precipitación, lo que nos permite identificar la variabilidad interanual. Este análisis nos muestra, a través de un rango sintético, si la precipitación aumenta o disminuye y en qué medida lo hace.

Asimismo, hemos definido un umbral crítico para los niveles de lluvia intensa. En base a este nivel hemos contado el número de días en lo que, anualmente en el período 2006-2100, se ha cruzado el umbral. A continuación hemos calculado la pendiente de la línea recta que se correlaciona mejor con la tendencia de las estimaciones correspondientes a esos 75 años. Hemos llevado a cabo el mismo análisis agrupando por meses (no por años) las estimaciones de precipitación, lo que nos permite identificar la variabilidad interanual. Este análisis nos muestra, a través de un rango sintético, si los episodios de lluvia intensa aumentan o disminuyen y en qué medida lo hace.

Temperatura máxima
Hemos llevado a cabo el mismo análisis, con dos variaciones:
- en vez de totales anuales o mensuales, hemos utilizado la máxima para cada año o mes;
- para definir el umbral crítico de temperaturas extremas históricas hemos usado 10 porciento en vez de 1 porciento.

A.3. Proyecciones

Se resumen a continuación las tendencias que emergen de las proyecciones descritas en la sección precedente. Hemos limitado el análisis a dos variables: precipitación y temperatura máxima. El resumen se centra en las regiones de Nicaragua dónde hay plantas en operación o en curso de desarrollo (Apéndice D).

Los cambios esperados en la temperatura mínima no son relevantes en el contexto del manejo de riesgos en el sector hidroeléctrico nicaragüense.[27] Por este motivo no hemos analizado estas proyecciones en detalle. Sin embargo, entregaremos a OLADE estas proyecciones también, ya que pueden ser de utilidad en otros contextos (Capítulo 9).

---

siguientes 24 horas. Por esta razón, a mayor número de estimaciones, mayor será la fiabilidad de las tendencias derivadas de dichas estimaciones.

[27] La temperatura mínima sería una variable relevante en zonas frías, dónde los episodios de frio extremo podrían afectar el funcionamiento de las plantas hidroeléctricas.

Las proyecciones de velocidad del viento son siempre muy inciertas, independientemente de cuál sea la región geográfica bajo estudio. Por esta razón, usar varios modelos, para obtener distintas estimaciones y, de este modo, un rango de proyecciones (como hemos hecho en este trabajo), resulta indispensable. Dichos rangos son útiles cuando los extremos no difieren demasiado y, al contrario, muestran algún tipo de tendencia. Este no fue el caso en Nicaragua, por lo que hemos decidido no usar estas proyecciones. Entregaremos las proyecciones a OLADE, por si algún entre gubernamental (u otro) en Nicaragua quisiera usarlas.

Las Tablas A.1, A.2 y A.3 sintetizan las tendencias que emergen de las proyecciones climáticas 'a escala reducida'. Se presentan resultados para tres de las celdas mencionadas más arriba, que corresponden a la ubicación de las plantas de concesión pública con una capacidad de 10 MW o superior (Apéndice D). Se observa una gran dispersión en las estimaciones de precipitación entre un modelo y otro, lo que imposibilita identificar tendencias claras. La dispersión es menor en las estimaciones de temperatura.

Tabla A.1: Precipitación (mm anuales)

Localidad	Niveles históricos	Proyecciones a 2025		Proyecciones a 2050	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Carlos Fonseca El Carmen	1464	1421 (1276-1580)	1465 (1351-1614)	1365 (1216-1524)	1346 (1166-1574)
La Sirena El Barro	1975	1873 (1624-2058)	1943 (1721-2201)	1801 (1528-2019)	1765 (1476-2056)
Centro América Larreynaga	1514	1447 (1275-1635)	1502 (1344-1690)	1385 (1207-1558)	1354 (1144-1610)

Notas:

- Los datos en la columna 'Niveles históricos' corresponden a la media de la precipitación registrada en el período 1976-2005.
- Las estimaciones en la columna 'Proyecciones a 2025' corresponden a las proyecciones obtenidas para el período 2011-2040.
- Las estimaciones en la columna 'Proyecciones a 2050' corresponden a las proyecciones obtenidas para el período 2036-2060.
- Las estimaciones en las cuatro columnas 'Proyecciones' corresponden a la media de las proyecciones de los diez modelos utilizados (los números entre paréntesis dan los valores máximo y mínimo del conjunto total de estimaciones obtenidas con los diez modelos.

Con respecto a la precipitación anual, en la ubicación de las plantas Carlos Fonseca y El Carmen, y en las trayectorias RCP 4.5, la pendiente de las rectas (que se correlacionan mejor con las estimaciones de los distintos modelos) es claramente negativa en seis casos y moderadamente negativa en dos casos más. Dichas pendientes son más claramente negativas aún en las trayectorias RCP 8.5. Así pues se puede concluir que, en esa localidad, la

precipitación anual disminuirá en las próximas décadas, especialmente en un escenario de cambio climático intenso. Las mismas tendencias se observan en las otras dos localidades analizadas.

Tabla A.2: Episodios de lluvia extrema (número de días por año)

Localidad	Niveles históricos	RCP 4.5	RCP 8.5
Carlos Fonseca El Carmen	1,3	1,2 (0,5-1,9)	1,1 (0,5-1,4)
La Sirena El Barro	1,5	1,4 (0,9-1,9)	1,4 (0,8-2,1)
Centro América Larreynaga	1,3	1,2 (0,9-1,9)	1,2 (0,7-1,9)

Notas:

- La 'lluvia extrema' se define como los niveles de precipitación diaria que son iguales o superiores a los niveles registrados en el 1 porciento de los días más lluviosos en el período 1976-2005.
- Los datos en la columna 'Niveles históricos' corresponden a la media de días de 'lluvia extrema' registrados en el período 1976-2005.
- Las estimaciones en las columnas 'RCP 4.5' y 'RCP 8.5' corresponden a la media de las proyecciones obtenidas para el período 2006-2100.
- Las estimaciones en las columnas 'RCP 4.5' y 'RCP 8.5' corresponden a la media de las proyecciones de los diez modelos utilizados (los números entre paréntesis dan los valores máximo y mínimo del conjunto total de estimaciones obtenidas con los diez modelos).

Con respecto a los episodios de lluvia extrema, la media de las estimaciones indica que el número de dichos episodios podría experimentar una muy moderada reducción. Sin embargo, los distintos modelos muestran grandes discrepancias. Una posible interpretación de esas discrepancias es que las lluvias intensas serán menos frecuentes pero, cuando se registre un episodio de lluvia intensa, los niveles de precipitación podrían ser mucho más altos que los registros históricos.

Tabla A.3: Temperatura máxima (máxima anual, en grados centígrados)

Localidad	Niveles históricos	Proyecciones a 2025		Proyecciones a 2050	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Carlos Fonseca El Carmen	36,4	37,3 (36,9-37,7)	37,3 (37,1-37,7)	37,8 (37,3-38,1)	38,4 (37,6-39,0)
La Sirena El Barro	35,0	36,0 (35,8-36,4)	36,1 (35,8-36,4)	36,5 (36,0-37,1)	37,0 (36,3-37,6)
Centro América Larreynaga	34,7	35,6 (35,3-35,9)	35,8 (35,2-36,2)	36,3 (35,7-36,9)	36,9 (36,1-37,3)

Notes:

- Los datos en la columna 'Niveles históricos' corresponden a la media de los días más calurosos de cada año registrados en el período 1976-2005.
- Las estimaciones en la columna 'Proyecciones a 2025' corresponden a las proyecciones obtenidas para el período 2011-2040.
- Las estimaciones en la columna 'Proyecciones a 2050' corresponden a las proyecciones obtenidas para el período 2036-2060.
- Las estimaciones en las cuatro columnas 'Proyecciones' corresponden a la media de las proyecciones de los diez modelos utilizados (los números entre paréntesis dan los valores máximo y mínimo del conjunto total de estimaciones obtenidas con los diez modelos.

Las temperaturas máximas anuales experimentan un clara tendencia al alza en las tres localidades analizadas. La dispersión en los modelos es relativamente reducida, con lo que se puede afirmar que es muy probable que la cota de temperatura máxima anual aumente en un grado al 2025 y en dos grados al 2050 (respecto a niveles históricos).

Apéndice B Referencias

ADB, 2012: *Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector*. Asian Development Bank. Manila, Filipinas.

BID, 2015: *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos*. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington DF, Estados Unidos de America.

CMNUCC, 2014: *Information Paper on Experiences, Good Practices, Lessons Learned, Gaps and Needs in the Process to Formulate and Implement National Adaptation Plans*. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (FCC/SBI/2014/INF.14). Bonn, Alemania.

GIECC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor y P.M. Midgley (editores)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, Estados Unidos de América, 582 págs.

GIECC, 2014: *Summary for Policymakers. En: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (editores)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América, pp. 1-32.

GRUN, 2012: *Plan Nacional de Desarrollo Humano 2012-2016*. Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional. Managua, Nicaragua.

GW, 2015: *Indice de Riesgo Climático Global 2015*. GermanWatch. Bonn, Alemania.

Heaps, 2015: *Comunicación personal*. Charlie Heaps, Científico Principal, Stockholm Environment Institute. Boston, Estados Unidos de América.

IEA, 2014: *Energy Balances of non-OECD Countries*. International Energy Agency. París, Francia.

ISO, 2009a: *Risk Management: Principles and Guidelines*. Guía ISO 31000: 2009. Organización Internacional de Normalización. Ginebra, Suiza.

ISO, 2009b: *Risk Management: Vocabulary*. Guía ISO 73: 2009. Organización Internacional de Normalización. Ginebra, Suiza.

MARENA, 2008: *Segunda Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.

MARENA, 2009: *GEO IV Informe del Estado del Ambiente – Nicaragua 2007-2008*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.

Moss, Richard H., et al. "The next generation of scenarios for climate change research and assessment." *Nature* 463.7282 (2010): 747-756.

SINAPRED, 2015: http://www.sinapred.gob.ni/ (consultado en mayo de 2015). Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres. Managua, Nicaragua.

Apéndice C Individuos entrevistados

En la Tabla C.1 constan los nombres, las afiliaciones y las direcciones de correo electrónico de las personas entrevistadas durante la visita a Managua del 18 al 20 de febrero de 2015.

Tabla C.1 Individuos entrevistados

Contacto	Institución	Correo electrónico
Roy Edgardo Mejía	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Justo Sandino	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Nelson López	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Bennett Castro	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Jorge Desayes	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Ramiro Toruño	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Mario Torres	Empresa Nicaragüense de Electricidad	
Luis Molina	Ministerio de Energía y Minas	
Suyen Pérez	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	
Augusto Flores	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	
Aura Monjarrez	Instituto Nicaragüense de Energía	
Julián González	Instituto Nicaragüense de Energía	
Luis Moreno	Universidad Nacional Autónoma	
Katherine Vammen	Centro de Investigación de Recursos Acuáticos	

Apéndice D Plantas hidroeléctricas

La Tabla D.1 enumera las plantas hidroeléctricas existentes y proyectadas en Nicaragua, agrupándolas por tipo de concesión y según su capacidad.

Tabla D.1 Sitios existentes y proyectados

Nombre	Estado actual	Departamento	Capacidad (MW)	Concesión
El Carmen	Prefactibilidad	Boaco	82,5	Pública
El Barro	En diseño	Matagalpa	32,9	Pública
Centroamérica	En operación	Jinotega	50	Pública
Carlos Fonseca	En operación	Jinotega	50	Pública
La Sirena (PHS)	En diseño	Matagalpa	17,5	Pública
Larreynaga (PHL)	En operación	Jinotega	17	Pública
Montecristo	En diseño	Jinotega	2,5	Pública
Yakalwás	En construcción	Jinotega	1,47	Pública
Wapanona 1	Factibilidad	RAAN	0,275	Pública
Wapanona 2	Factibilidad	RAAN	0,243	Pública
Banasuma	Factibilidad	RAAN	0,15	Pública
El Murciélago	Factibilidad	RAAN	0,11	Pública
Aguas Claras	Factibilidad	RAAN	0,09	Pública
Tumarín	En diseño	RAAS	253	Privada
Salto de Ye-Ye	En diseño	RAAN	24,8	Privada
La Estrella	Prefactibilidad	RAAS	17,4	Privada
Piedra Puntuda	En diseño	RAAS	16,4	Privada
Pajaritos	Prefactibilidad	RAAS	16,2	Privada
Paso Real	Prefactibilidad	Matagalpa	16	Privada
Consuelo	Prefactibilidad	RAAS	13,3	Privada
El Ayote	Prefactibilidad	RAAN	12,7	Privada
Pantasma	En operación	Jinotega	12,5	Privada
Diamante-Coyotera	En construcción	Matagalpa	3	Privada
Salto Loro-Caratera	Prefactibilidad	Matagalpa	2,5	Privada
Copalar Bajo	Prefactibilidad	RAAS	150	–
Mojolka	Factibilidad	Matagalpa	120	–
Boboké	Prefactibilidad	RAAN	68	–
Valentín	Prefactibilidad	RAAS	24,5	–
Esquirín	Prefactibilidad	Matagalpa	10,5	–
Coco Torres	Prefactibilidad	Jinotega	6,3	–
Quililon	Prefactibilidad	Matagalpa	6	–
Zopilota	Prefactibilidad	Matagalpa	5,2	–

RAAN: Región Autónoma del Atlántico Norte

RAAS: Región Autónoma del Atlántico Sur

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las distintas personas cuyos nombres se incluyen en el Apéndice C. Sin sus conocimientos del sector y la información que aportaron, este trabajo no hubiese sido posible.

Asimismo, quisiéramos agradecer a las personas siguientes sus contribuciones y el apoyo que nos brindaron durante las distintas etapas del trabajo:

- Mario Torres (Empresa Nicaragüense de Electricidad, Nicaragua);
- Byron Chiliquinga, Erika García, Jorge Asturias, Mentor Poveda y Daniel Orbe (Organización Latinoamericana de Energía, Ecuador);
- Vimal Mishra (Indian Institute of Technology en Gandhinaga, India);
- Michael Butts y Gareth Lloyd (DHI Water and Environment, Dinamarca);
- Julia Justo (Fondo Nacional del Ambiente, Perú).

Una gran parte del trabajo presentado en este reporte se financió a través de una donación de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional. Agradecemos profundamente su contribución.