
RESUMEN/ABSTRACT

OLIVERIO ÁLVAREZ ALONSO

EL FUTURO DE LA REGULACIÓN: PRINCIPIOS PARA REGULAR LA REVOLUCIÓN DIGITAL EN EL SECTOR ENERGÉTICO

Las nuevas tecnologías están acelerando la transformación de muchos sectores. El Sector Energético no es una excepción. Los cambios tecnológicos están creando nuevas formas de hacer las cosas y están permitiendo que los usuarios asuman un papel cada vez más activo. Estamos asistiendo a una verdadera revolución que se acelerará en los próximos años. Ante esta situación, los reguladores se enfrentan al desafío de mantener un adecuado equilibrio entre la promoción de la innovación, la protección de los consumidores y el control sobre los posibles efectos indeseados de las disrupciones tecnológicas. En este artículo repasaremos los principales retos que plantea este nuevo entorno, algunas de las experiencias internacionales más relevantes en este campo y varias lecciones aprendidas.

Palabras clave: digitalización, disrupción tecnológica, regulación, bancos de pruebas regulatorios

New technologies are speeding up transformation in many areas, and the Energy Sector is no exception. Technological changes are offering new ways of doing things and allowing users to take on an increasingly active role. We are witnessing a veritable revolution which will gain momentum in the upcoming years. In this scenario, Regulators must strive to maintain a fine balance between innovation, consumer protection, and oversight of potential undesirable outcomes from technological disruptions. This article reviews key challenges arising from this new environment, some of the most significant international initiatives in this field, as well as valuable lessons learnt.

Keywords: digitalization, technological disruptions, regulation, sandboxes

ANDRÉS CADENAS

LA REINVENCIÓN TOTAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE GAS Y ELECTRICIDAD: MÁS ALLÁ DE LA DIGITALIZACIÓN Y LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La senda de descarbonización establecida desde el Protocolo de Kioto hasta el Acuerdo de París ha configurado un nuevo paradigma para la

distribución de electricidad y gas sintetizado por el trilema energético. Los crecientes flujos de energía multidireccionales fruto de la generación renovable y almacenamiento distribuidos junto con una demanda activa por parte de los consumidores, que pasan a ser prosumidores, requiere de mecanismos de flexibilidad para adaptarse a situaciones rápidamente cambiantes. Este artículo presenta la hoja de ruta y la arquitectura de digitalización para la reinención de la distribución de electricidad y gas que optimice sus operaciones en un entorno de incertidumbre, disrupción y volatilidad para abordar con éxito la transición energética.

Palabras clave: trilema energético, cambio climático, descarbonización, transición energética, transformación digital

The decarbonisation path set since Kyoto Protocol until Paris Agreement has shaped a new paradigm for the distribution of electricity and gas, synthesized by the. The growing multidirectional energy flows due to distributed renewable generation and storage together with an active demand from consumers, who become prosumers, requires flexibility mechanisms to adapt to rapidly changing situations. This article presents the digitalization roadmap and architecture for the reinvention of the distribution of electricity and gas that optimizes their operations in an environment of uncertainty, disruption and volatility to successfully address the energy transition.

Keywords: energy trilemma, climate change, decarbonization, energy transition, digital transformation

FERNANDO ALMAGRO YRAVEDRA, ALEJANDRO MARANO MARCOLINI y JOSÉ LUIS MARTÍNEZ RAMOS

LAS INTERCONEXIONES ELÉCTRICAS COMO HABILITADORAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

En este artículo se pone de relieve la importancia de las interconexiones eléctricas en tres aspectos: la seguridad del suministro, el coste de la energía eléctrica, y la capacidad de integrar generación renovable. Para cada uno se presentan ejemplos en el ámbito del sistema eléctrico europeo, repasando eventos en los que la seguridad, el coste o la penetración renovable supu-

sieron retos para la operación segura del sistema. Finalmente, se describe la situación de las interconexiones del sistema español, destacando los beneficios que aportan en la red actual y las oportunidades que ofrecerían las interconexiones previstas para los próximos años.

Palabras clave: interconexiones eléctricas, operación del sistema de transporte, integración de energías renovables

This article highlights the importance of electricity interconnections in three aspects: security of supply, the cost of electricity, and the ability to integrate renewable generation. For each, examples are presented for the European electricity system, reviewing events in which security, cost or renewable penetration posed challenges for the secure operation of the system. Finally, the situation of interconnections in the Spanish system is described, highlighting the benefits they provide in the current grid and the opportunities offered by the interconnections planned for the coming years.

Keywords: electrical interconnections, transmission system operation, renewable energy integration

PABLO FRÍAS MARÍN y ANDRÉS DÍAZ CASADO

DIGITALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA ENERGÍA

El adecuado desarrollo de la movilidad eléctrica requiere de una conexión eléctrica eficiente de estos nuevos consumidores eléctricos, y así cumplir los objetivos de descarbonización del transporte. Las variables que determinan esta conexión eficiente son: dónde y cuándo se recargan los vehículos y qué potencia consumen. El lugar y la rapidez de la recarga requerirá de una infraestructura eléctrica de recarga y podrá exigir refuerzos en la red de distribución existente o nuevas inversiones, mientras que la hora de la recarga permitirá usar tecnologías de generación de bajas emisiones. La digitalización de la movilidad es el elemento imprescindible para esta integración eficiente (técnica y económicamente) de la movilidad eléctrica, que además puede ayudar al propio sistema eléctrico con funciones *Vehicle-to-Grid* (V2G).

Palabras clave: vehículo eléctrico, movilidad eléctrica, digitalización

The adequate development of electric mobility requires an efficient electrical connection of these new consumers, and thus meet the transportation decarbonization objectives. The variables that determine this efficient connection are: where and when the vehicles are charged and what power they consume. The location

and speed of charging will require electrical infrastructure and may require reinforcements in the existing distribution network or even new investments, while the charging time will allow the use of low-emission generation technologies. The digitalization of mobility is the essential element for this efficient (technically and economically) integration of electric mobility, which can also help the electrical system itself procuring flexibility services such as Vehicle-to-Grid (V2G) functions.

Keywords: electric vehicle, e-mobility, digitalization

JOSÉ MARÍA MAZA ORTEGA y MANUEL BARRAGÁN VILLAREJO

CONTROL AVANZADO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN A TRAVÉS DE SU DIGITALIZACIÓN

La red de distribución está encarando una profunda transformación debido a la rápida incorporación de la generación renovable y vehículos eléctricos, tecnologías clave para conseguir la descarbonización de nuestra sociedad. Desde este punto de vista, la digitalización es una tecnología clave que habilita el control avanzado de las redes de distribución y permite al distribuidor jugar un papel esencial en la transición hacia un sistema totalmente renovable. El objetivo de este trabajo es ilustrar diferentes aplicaciones de activos basados en electrónica de potencia en las redes de distribución, que permiten flexibilizar su operación, así como el papel crucial que la digitalización, como tecnología habilitadora, juega en este contexto.

Palabras clave: Redes de distribución, digitalización, electrónica de potencia

The distribution grid is facing a profound transformation due to the rapid incorporation of renewable generation and electric vehicles, key technologies to achieve the decarbonisation of our society. From this point of view, digitisation is a key technology that enables advanced control of distribution networks and allows the utility to play an essential role in the transition to a fully renewable system. The aim of this paper is to illustrate different applications of power electronics-based assets in distribution networks that allow for flexibility in their operation and the crucial role that digitisation, as an enabling technology, plays in this context.

Keywords: distribution networks, digitization, power electronics

AGUSTÍN VALENCIA GIL-ORTEGA

RETOS DE CIBERSEGURIDAD QUE AFRONTA LA TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO

El sector eléctrico está viviendo un momento de gran transformación donde la búsqueda por la integración de fuentes renovables, así como la aparición de la figura de los prosumidores (productores y consumidores) tanto por la faceta de recursos de generación distribuida (DER) como por el impacto del vehículo eléctrico están obligando a acometer una auténtica transformación digital en todos los niveles de la cadena de valor (generación, transporte, distribución y comercialización). Esta transformación lleva asociada la integración con otros sectores como son el de las Telecomunicaciones y los proveedores de servicios digitales así como la proliferación de dispositivos IoT que obligan a pensar en toda un conjunto de riesgos de ciberseguridad para todo el conjunto, desde los operadores críticos a los propios usuarios finales. Por tanto, se tratará de exponer en este artículo el contexto actual, sus amenazas e impactos junto con algunas de las regulaciones más relevantes que están surgiendo.

Palabras clave: ciberseguridad, descarbonización, prosumidor, vehículo eléctrico, renovables, distribución, IoT

The electricity sector is undergoing a moment of great transformation where the pursuit for the integration of renewable sources, as well as the advent of the figure of prosumers (producers and consumers) both for the aspect of distributed generation resources (DER) and for the impact of the electric vehicle are forcing to undertake a real digital transformation at all levels of the value chain (generation, transmission, distribution and retail). This transformation is associated to integration with other sectors such as Telecommunications and digital service providers and also with the proliferation of IoT devices that force to think about a whole set of cybersecurity risks for the whole system, from the critical operators to the end users themselves. Therefore, this article will try to expose the current context, its threats and impacts along with some of the most relevant regulations that are appearing.

Keywords: cybersecurity, decarbonization, prosumer, electric vehicle, renewables, distribution, IoT

INÉS ENCABO, JUAN PEIRÓ, GEMA GARCÍA Y DAVID ALVIRA

NUEVAS HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL PARA POSIBILITAR LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Este artículo presenta los principales proyectos e iniciativas desarrollados por Red Eléctrica

para lograr la eficiencia técnico-económica y la neutralidad tecnológica en la maximización de las renovables. Entre ellos, cabe destacar la puesta en marcha del Centro de Control de Energías Renovables (CECRE), que garantiza la observabilidad y controlabilidad de la generación distribuida, la implantación del Sistema de Reducción Automática de Potencia (SRAP), que permite sustituir parte de las limitaciones preventivas para la solución de restricciones técnicas tras contingencia por soluciones correctivas automáticas, y el diseño del proyecto VOLTAIREE que, a través de la implantación de un nuevo mecanismo de control de tensión y un mercado de capacidad de reactiva adicional, permite optimizar el control de la tensión del sistema.

Palabras clave: transición energética, integración de renovables, operador del sistema, innovación

This article presents the main projects and initiatives developed by Red Eléctrica for achieving the technoeconomic efficiency and technological neutrality in the maximization of the renewable energy integration. Among others, it is of interest to point out the put into service of the Renewable Energy Control Centre (CECRE), which guarantees observability and controllability of distributed generation, the implementation of the Automatic Power Reduction System (SRAP), which allows for replacing part of the preventive limitations for solving congestions after contingency with automatic corrective solutions, and the design of VOLTAIREE project, which, by means of the establishment of a new voltage control mechanism and a market of additional reactive capacity, allows for optimizing the voltage control in the system.

Keywords: energy transition, renewables integration, system operation, innovation

LAURA MELGAR GARCÍA, JOSÉ FRANCISCO TORRES MALDONADO, ALICIA TRONCOSO Y JOSÉ CRISTÓBAL RIQUELME SANTOS

TÉCNICAS BIG DATA PARA LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA Y PRECIO ELÉCTRICO

La predicción de la demanda eléctrica es fundamental para la planificación de la cadena de suministro en el sector energético, en las etapas de generación, almacenamiento y distribución de energía. Almacenar la energía eléctrica es un reto por lo que se busca continuamente el balance entre la demanda y la oferta eléctrica. Esto provoca que el mercado de precios de la electricidad sea volátil y difícil de predecir. En este trabajo se proponen varias técnicas de predicción *Big Data* para datos de demanda y precios eléctricos en España con el objetivo principal de mejorar la eficiencia de la gestión de la cadena de

suministro. En concreto, en esta investigación se abordan estos problemas haciendo uso de modelos de *Machine Learning* y *Deep Learning*. Los resultados de rendimiento demuestran el buen comportamiento de los modelos.

Palabras clave: demanda y precios eléctricos, predicción, machine learning

Electricity demand forecasting is a fundamental component of supply chain planning in the energy sector, in the stages of generation, storage and distribution of energy. Storing electricity is a challenge, so the balance between electricity demand and supply is continuously being sought. This makes the electricity price market volatile and difficult to predict. In this paper, several Big Data prediction techniques for electricity demand and price data in Spain are proposed with the main objective of improving the efficiency of the supply chain management. Specifically, this research addresses these problems by making use of Machine Learning and Deep Learning models. The performance results demonstrate the good behavior of the models.

Keywords: electricity demand and price, forecasting, machine learning

ESTHER ROMERO RAMOS, RUBÉN CARMONA PARDO, DANIEL MORALES WAGNER, SUSANA CARILLO y JAVIER LEIVA ROJO

SISTEMAS AVANZADOS DE GESTIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN (ADMS)

Un aspecto esencial de la digitalización de las actuales redes activas de distribución concierne al desarrollo de sistemas de gestión avanzados para la red (*Advanced Distribution Management Systems, ADMS*). El ADMS comprenden una suite de aplicaciones que van mucho más allá de la tradicional gestión de los cortes de suministro, claramente insuficiente ante los nuevos retos plantados por la presencia masiva de generación renovable distribuida o cargas de gran variabilidad temporal y espacial como es el vehículo eléctrico. Este trabajo aborda un análisis técnico del grado de digitalización de las distribuidoras en relación con estos sistemas ADMS, abarcando desde la aplicación de *Estimación de Estado* que permite deducir el estado técnico de operación del sistema más probable en cualquier instante y en cualquier punto, hasta otras funciones avanzadas que permiten operar con máximo rendimiento y eficacia la red activa de distribución.

Palabras clave: redes de distribución, digitalización, estimación de estado

An essential aspect of the digitalization of today's active distribution networks involves the

development of Advanced Distribution Management Systems (ADMS). The ADMS comprises a suite of applications that go far beyond the traditional outage management, clearly insufficient to meet the new challenges posed by the massive presence of distributed renewable generation or loads of great temporal and spatial variability such as electric vehicles. This work addresses a technical analysis of the degree of digitalization of the utilities in relation to these ADMS systems, ranging from the application of State Estimation that allows to deduce the most probable technical state of operation of the system at any instant and at any point, to other advanced functions that allow to operate with maximum performance and efficiency the active distribution network.

Keywords: distribution networks, digitalisation, state estimation

JUAN MANUEL MAURICIO y LUNA MORENO DÍAZ

CONTROLADORES DE POTENCIA DE PLANTAS (PPC)

En la actualidad, el parque de generación eléctrica está en transición hacia un sistema con integración mayoritaria de plantas renovables, basadas en fuentes primarias no gestionables y tecnologías de generación con electrónica de potencia. Estas plantas deben brindar servicios de red, como regulación de frecuencia y controles de reactiva, para contribuir a un funcionamiento estable, seguro y eficiente del sistema eléctrico. Dado que estas plantas son instalaciones complejas, con un gran número de generadores interconectados por una red interna extensa y comunicados por medio de sistemas con gran heterogeneidad, se requiere de un control centralizado de PPC en el punto de interconexión. El PPC logra orquestar los elementos que componen la planta para que esta se comporte como un único generador controlable de manera simple y transparente para el resto del sistema eléctrico.

Palabras clave: controlador de plantas, plantas renovables, códigos de red, servicios de red, sistema de comunicaciones

The electricity generation fleet is currently undergoing a transition to a system dominated by renewable power plants, which are based on uncontrollable primary sources and power electronics generation technologies. These plants must provide grid services, such as frequency regulation and reactive power controls, to contribute to a stable, secure and efficient operation of the electricity system. Due to the complex nature of these plants, with numerous generators interconnected by an extensive internal network and communicated through systems with high heterogeneity, central PPC

control is necessary at the point of interconnection. The PPC orchestrates the elements that make up the plant to behave as a single controllable generator for the rest of the system.

Keywords: power plan controller, power park modules, grid interconnection codes, ancillary services, communication system

CHIARA PARTON

EL VERDADERO COSTE SOCIAL DEL CARBONO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y EXHAUSTIVA/THE TRUE SOCIAL COST OF CARBON: A SYSTEMATIC AND COMPREHENSIVE REVIEW

Este estudio cierra una importante brecha existente en la literatura sobre el verdadero Coste Social del Carbono (CSC) al estimar los daños no financieros resultantes de la emisión de dióxido de carbono (CO₂). Mediante una revisión sistemática de la literatura, esta investigación sintetiza los métodos necesarios para calcular las repercusiones globales que las emisiones de CO₂ pueden producir. La metodología, replicable en cualquier territorio nacional, se aplica a un caso de estudio realizado en Estados Unidos. Los resultados demuestran que el umbral inferior del CSC en Estados Unidos para el año 2023 se estima en aproximadamente \$287 por tonelada métrica de CO₂ equivalente.

Palabras clave: emisiones, externalidades, sociedad, medio ambiente, economía, monetización

This study addresses a substantial void in the existing literature on the true Social Cost of Carbon (SCC) by estimating the non-financial damages resulting from the release of carbon dioxide (CO₂). Employing a systematic litera-

ture review, this investigation synthesizes the methods needed to calculate the overall repercussions that CO₂ emissions may exert. The methodology, which is replicable in any national territory, is applied to a case study conducted in the United States. The findings demonstrate that the lowest threshold of the SCC in the U.S. for the year 2023 is estimated at approximately \$287 per metric ton of CO₂ equivalent.

Keywords: emissions, externalities, society, environment, economics, monetization

ANTONIO MORENO-TORRES GÁLVEZ

25 AÑOS DE LA LIBERALIZACIÓN DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES

En 2023 se han cumplido 25 años de la plena liberalización de los servicios de telecomunicaciones en España. El artículo repasa el acompañamiento regulatorio que ha hecho posible que, en un periodo tan relativamente breve y con un punto de partida tan monocolor –un único operador, un único servicio y un único tipo de dispositivo de acceso–, se haya transformado tan radicalmente el sector.

Palabras clave: liberalización, regulación, telecomunicaciones

In 2023, 25 years have passed since the full liberalization of telecommunications services in Spain. The article reviews the regulatory support that has made possible a radical transformation of the sector, in such a relatively short period of time and with such a monochrome starting point –a single operator, a single service and a single type of access device –.

Key words: liberalization, regulation, telecommunications

Los índices y abstracts de Economía Industrial se incluyen en las bases de datos e índices on line de la **American Economic Association** y en su publicación especializada **ECONLIT**, editada por el **Journal of Economic Literature**. A la consulta de sus 200.000 registros, entre los que se encuentran 300 revistas —100 fuera de Estados Unidos—, recurren estudiantes, investigadores y profesores de todo el mundo económico.

Los contenidos de Economía Industrial también están disponibles en la red Internet, en la dirección **www.economiaindustrial.es**