



# Herramientas analíticas para el Monitoreo de Infraestructuras del Mercado Financiero

Curso sobre Infraestructuras del Mercado Financiero  
CEMLA | Banco de España | Banco Central de Reserva del Perú  
23 al 27 de noviembre de 2020

**Carlos León**

Banco de la República, Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera

Tilburg University, Departamento de Finanzas

[cleonrin@banrep.gov.co](mailto:cleonrin@banrep.gov.co) / [c.e.leonrincon@tilburguniversity.edu](mailto:c.e.leonrincon@tilburguniversity.edu)

---

# En esta sesión...

- Los participantes obtendrán conocimiento sobre la oportunidad, granularidad y confiabilidad de los datos en las infraestructuras del mercado financiero para identificar y analizar los riesgos financieros.
- Esta sesión presentará algunas aplicaciones para llevar a cabo análisis de riesgos y tareas de monitoreo.
- Se hará hincapié en las metodologías utilizadas para aprovechar estos datos (por ejemplo, **análisis de redes**, **simulación de pagos**, **aprendizaje automático**), así como indicadores individuales y agregados que sirven como herramienta de análisis y seguimiento.



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# El impulso reciente al monitoreo

... viene de un círculo virtuoso...



# El impulso reciente al monitoreo

... viene de un círculo virtuoso...

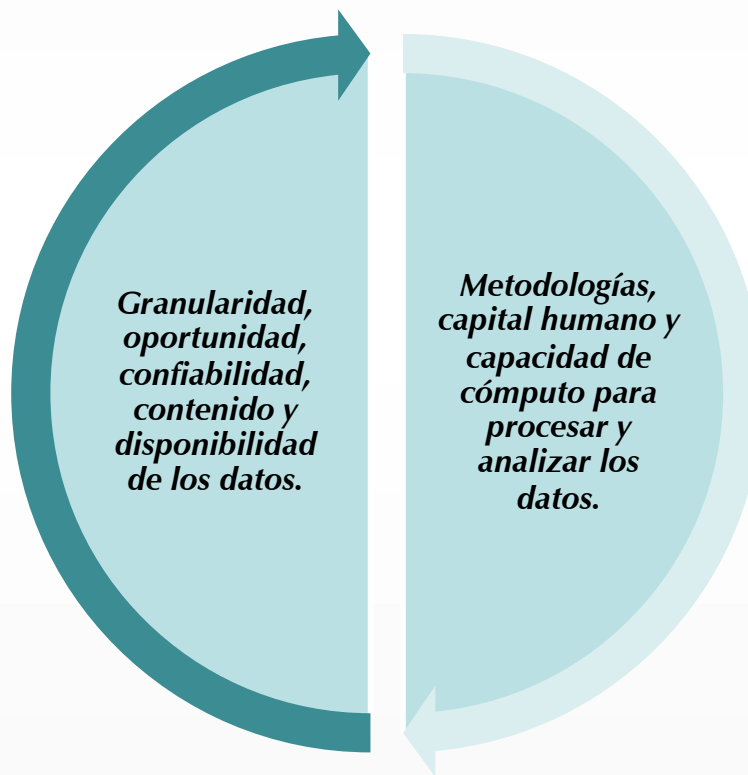
**Granular:** datos muy detallados de transacciones y exposiciones—mucho más que los reportes tradicionales.

**Oportuna:** datos disponibles con muy bajo rezago—mientras que reportes tienen rezagos semanales, mensuales...

**Confiable:** datos que son registrados (no reportados) son menos susceptibles de contener errores o ser manipulados.

**Contenido:** datos registrados son un buen reflejo de la actividad económica de las instituciones financieras.

**Disponible:** el acceso a los datos es posible gracias a que las autoridades operan, supervisan, monitorean, regulan.



# El impulso reciente al monitoreo

... viene de un círculo virtuoso...

**Granular:** datos muy detallados de transacciones y exposiciones—mucho más que los reportes tradicionales.

**Oportuna:** datos disponibles con muy bajo rezago—mientras que reportes tienen rezagos semanales, mensuales...

**Confiable:** datos que son registrados (no reportados) son menos susceptibles de contener errores o ser manipulados.

**Contenido:** datos registrados son un buen reflejo de la actividad económica de las instituciones financieras.

**Disponible:** el acceso a los datos es posible gracias a que las autoridades operan, supervisan, monitorean, regulan.



**Análisis de redes:** visualizar, cuantificar y analizar los sistemas (agentes que se interrelacionan).

**Machine learning:** utilizar los datos para diseñar, implementar y operativizar herramientas de predicción y clasificación.

**Simulación:** utilizar los datos para recrear y analizar el comportamiento de los agentes en los sistemas.



# El impulso reciente al monitoreo

... y ese círculo virtuoso nos debe llevar a un conjunto de herramientas de monitoreo ...









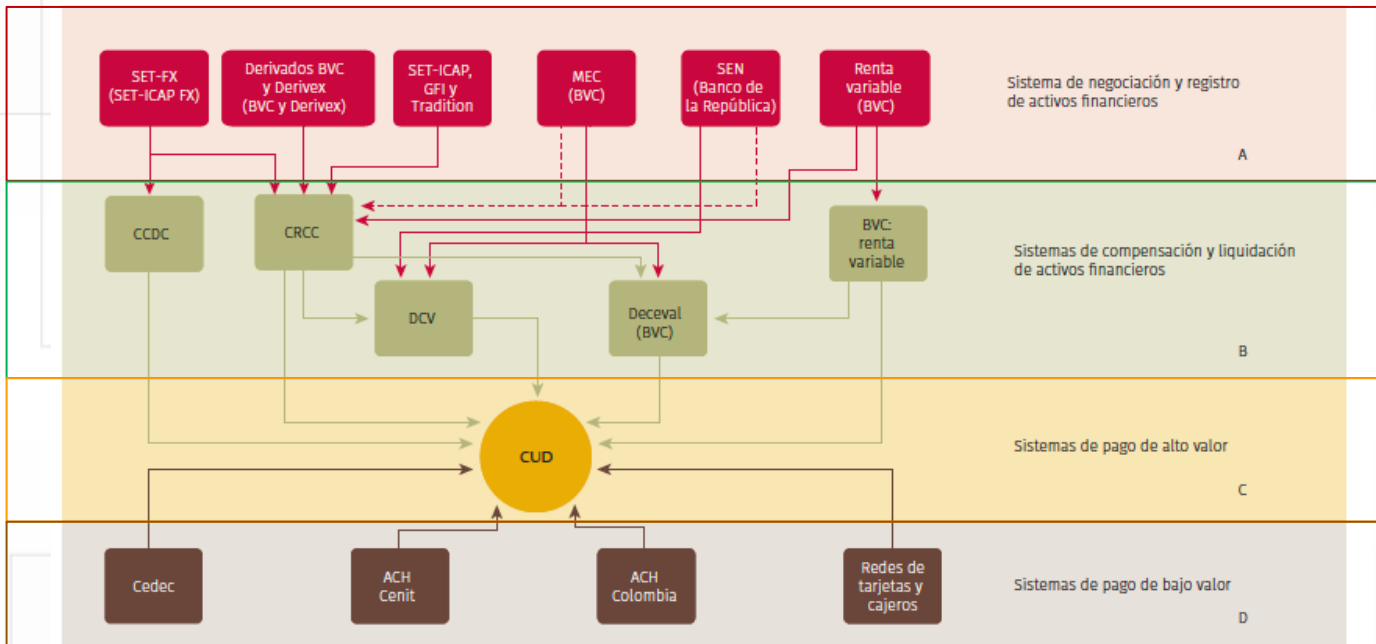
# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
- 2. Las IMF como fuente de datos**
3. Las metodologías
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# Las IMF como fuente de datos

Panorama global de las infraestructuras del mercado financiero (IMF) y otros participantes<sup>a/</sup> (2019)



**Sistemas de negociación y registro contienen datos sobre cómo las instituciones financieras negocian activos financieros.**

**Sistemas de compensación y liquidación contienen saldos, exposiciones, entregas de activos financieros, moneda extranjera, derivados.**

**Sistemas de pago de alto valor contienen datos sobre los pagos en moneda local realizados en los mercados financieros.**

**Sistemas de pago de bajo valor contienen datos sobre cómo el público realiza sus pagos.**

a/ Las líneas punteadas hacen alusión a que la CRCC gestiona los riesgos de las operaciones de simultáneas de TES provenientes de SEN y MEC, en paralelo se efectúa la liquidación en bruto en el DCV-CUD.

Fuente: Banco de la República (DSIF).

***Las infraestructuras se interconectan entre sí, creando una red que no solo soporta todo el funcionamiento del sistema financiero sino que registra la actividad de sus participantes.***



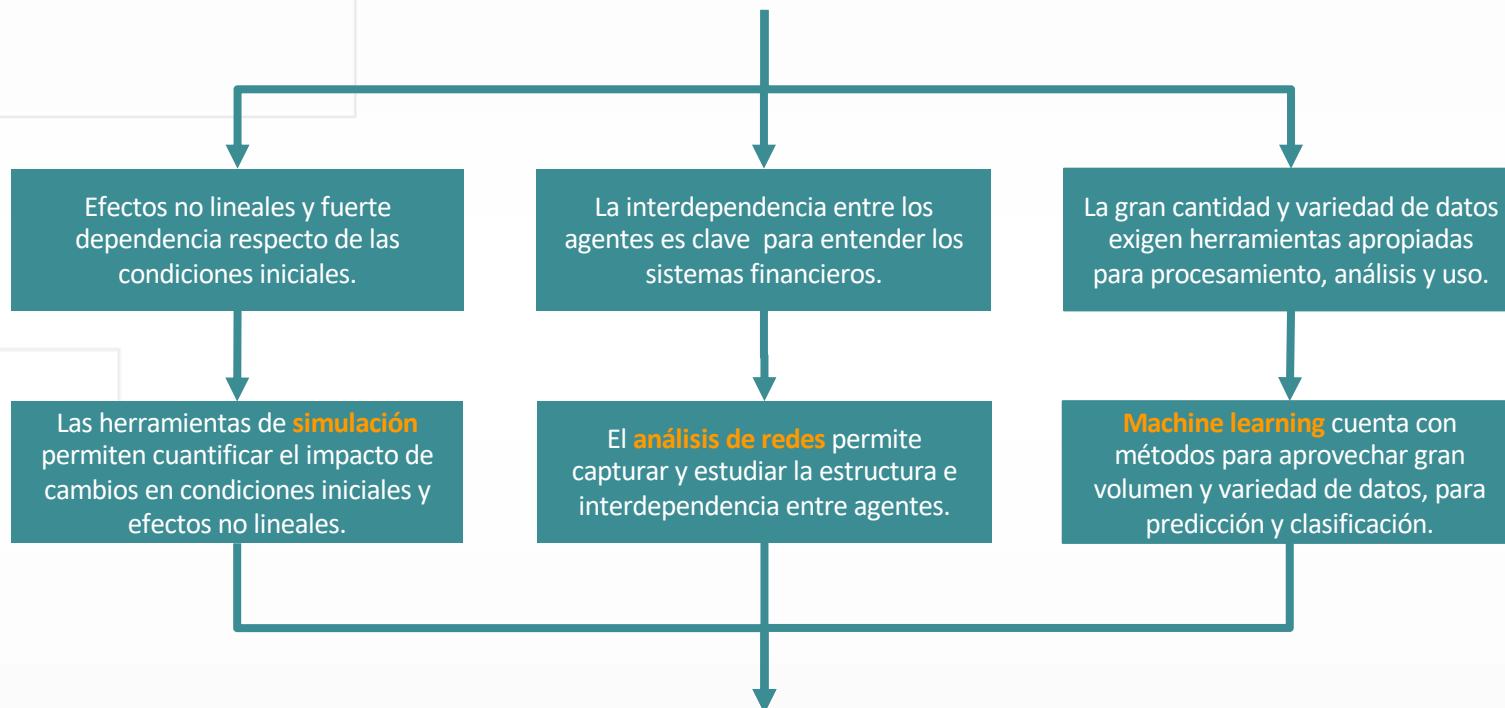
# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
- 3. Las metodologías**
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# Las metodologías

Los sistemas financieros son sistemas adaptativos complejos\*  
(Sornette, 2003; Haldane, 2009; Landau, 2009; Farmer et al., 2012)



Utilizadas en conjunto, el análisis de redes, machine learning y las herramientas de simulación, nos brindan una visión amplia y estructurada de los sistemas financieros, así como métodos apropiados para cuantificar y predecir, con el objetivo de contribuir a la estabilidad financiera desde una aproximación macroprudencial (el sistema como un todo).



(\*) Sistemas caracterizados por la interacción e interdependencia entre los elementos que lo conforman, donde estos reaccionan y se adaptan, dando lugar a comportamientos emergentes (el todo es más que la suma de las partes) y efectos no lineales (dificultad para predecir).

# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes
  - C. Machine Learning
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva

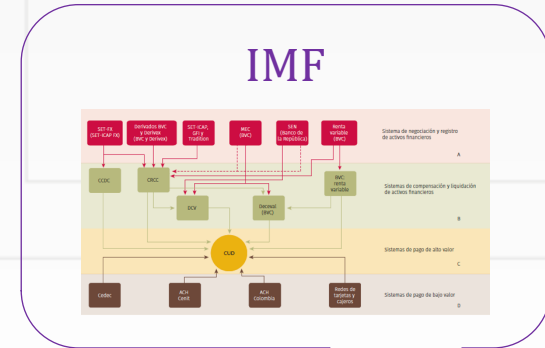
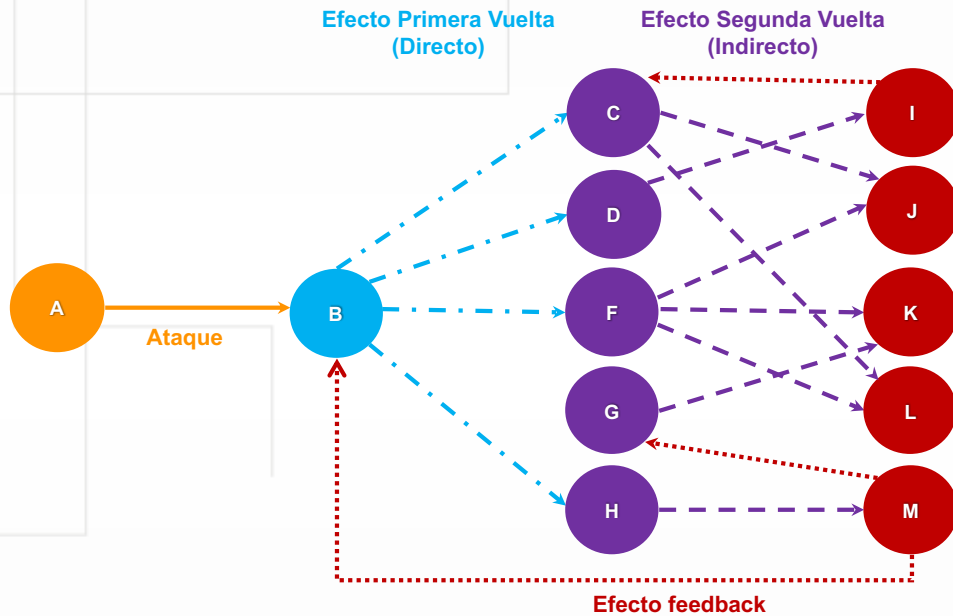


# Simulación

- Los métodos de simulación permiten recrear o reproducir de manera aproximada la operación de un sistema para poder entenderlo de mejor manera.
- Contraria a una aproximación analítica, la simulación es flexible y puede incorporar—con relativa facilidad—efectos no lineales y dependencia respecto a las condiciones iniciales.
- Especial utilidad en el diseño y estudio de escenarios de estrés (i.e. *stress testing*).



# Simulación



Algunas opciones de variables:

- Saldo inicial por agente
  - *De dinero*
  - *De activos*
- Acceso a préstamos con colateral
- Valoración del colateral
- Compensación neta multilateral

Agent Based Modeling



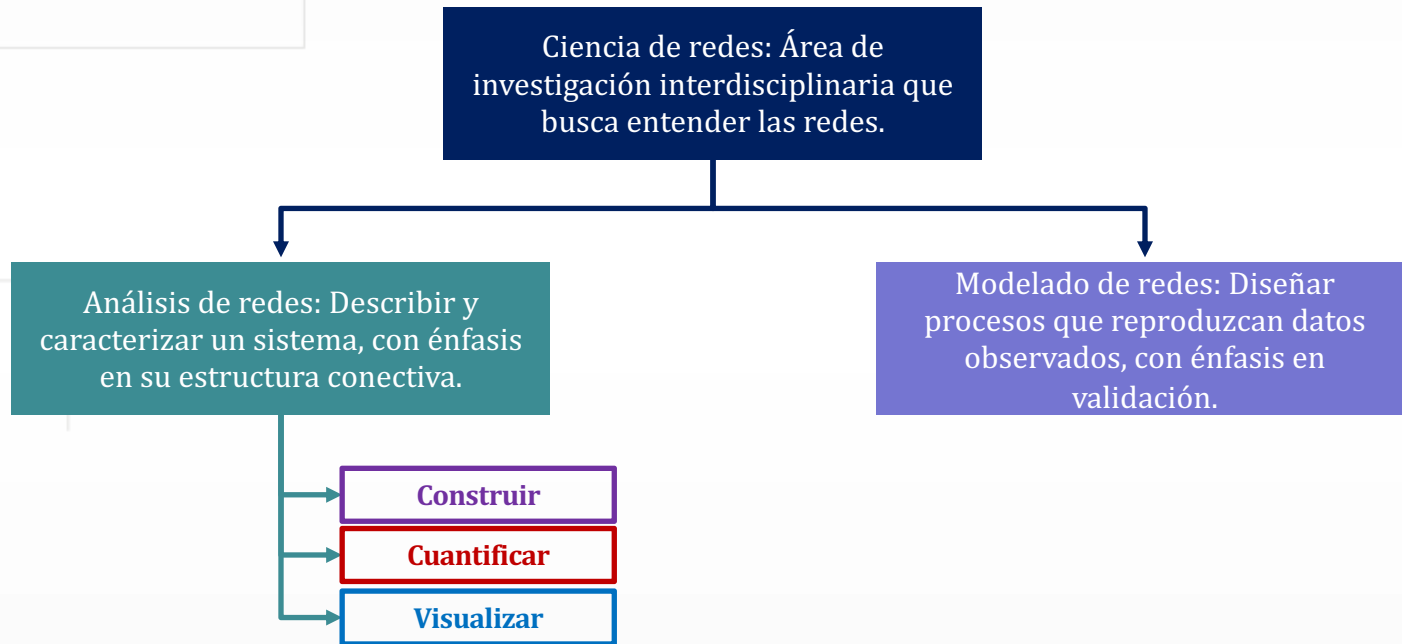


# Agenda

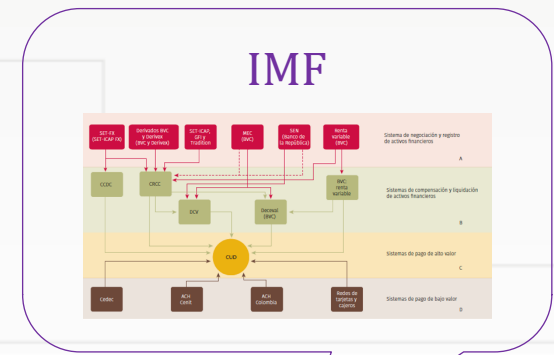
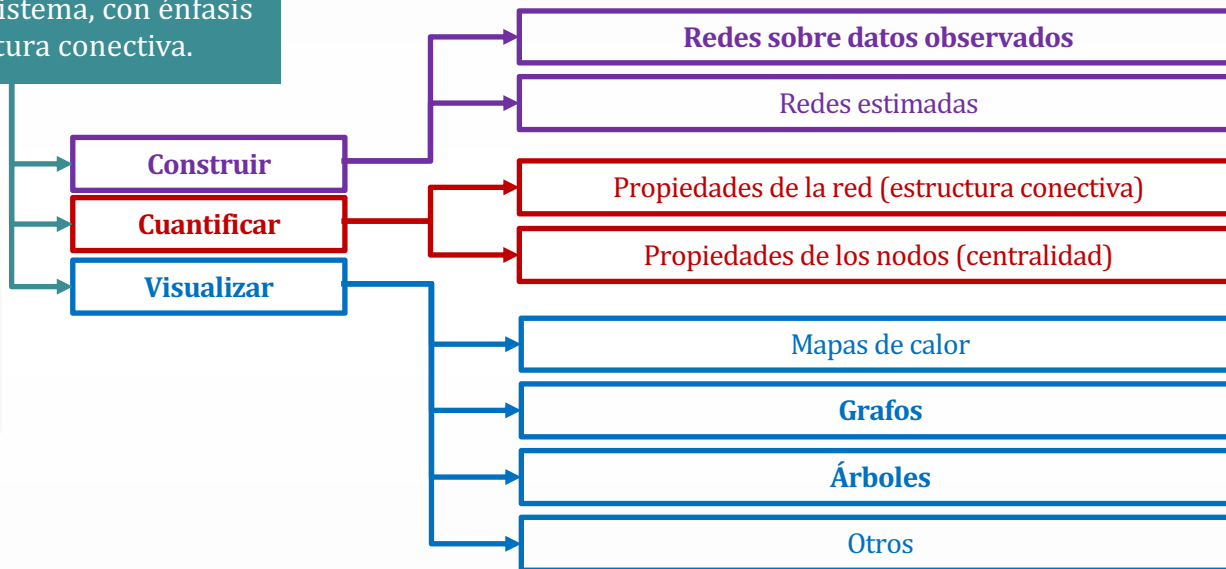
1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
- 3. Las metodologías (*brevemente*)**
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes**
  - C. Machine Learning
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# Análisis de redes



Análisis de redes: Describir y caracterizar un sistema, con énfasis en su estructura conectiva.



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes
  - C. **Machine Learning**
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# Machine Learning

- Machine learning se trata de la construcción de programas informáticos que mejoren su desempeño a través de la experiencia ([Mitchell, 1997](#)), para **predicción o clasificación**.
- Se trata de *modelado predictivo*—no de *modelado explicativo* ([Shmueli, 2010](#)).

## Econometría

### Modelado explicativo

- El objetivo es probar una teoría causal (econometría tradicional, *in-sample*).
- Requiere construir una estructura o teoría causal.
- Es necesario trabajar en el valor esperado de las variables independientes.
- Énfasis en la estimación de los parámetros de las variables independientes, concentración en  $\hat{\beta}$ .

## Machine Learning

### Modelado predictivo

- El objetivo es **predecir o clasificar** (*out-of-sample*).
- No es necesaria una teoría causal—pero puede ser útil.
- No es necesario trabajar en el valor esperado de las variables independientes.
- Énfasis en la predicción o clasificación, concentración en  $\hat{y}$  (variable dependiente).

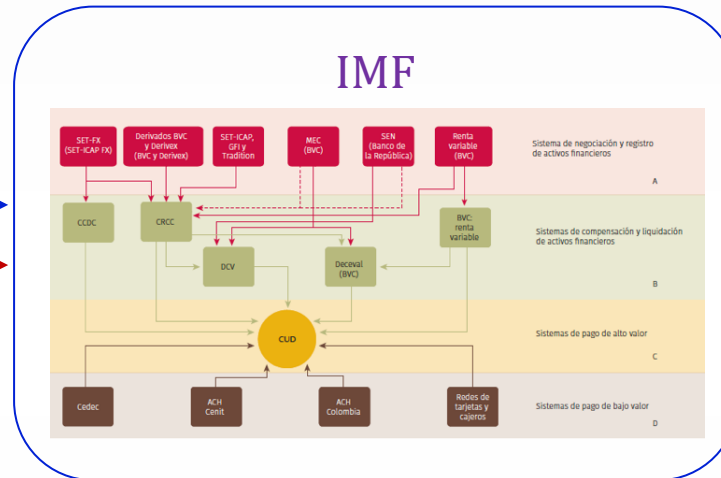


# Machine Learning

Machine Learning

Predecir

Clasificar



- Detección de transacciones anómalas entre entidades financieras.
- Detección de redes de pago anómalas.
- Nowcast de necesidades de liquidez
- Nowcast de variables macroeconómicas.
- Segmentación de entidades financieras (clustering).
- ... (?)



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
4. Algunos ejemplos
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes
  - C. Machine Learning
5. Perspectiva



# Algunos ejemplos: Simulación (1)

## Estimación dinámica de las necesidades de liquidez intradía

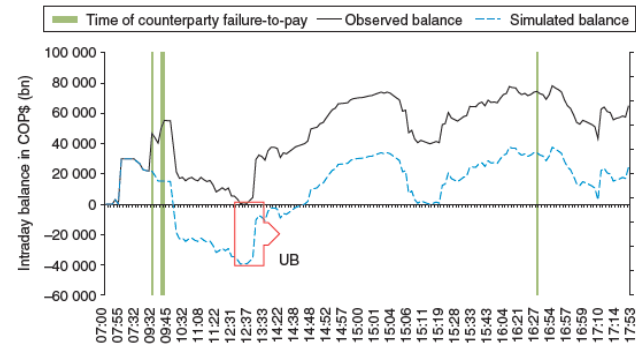
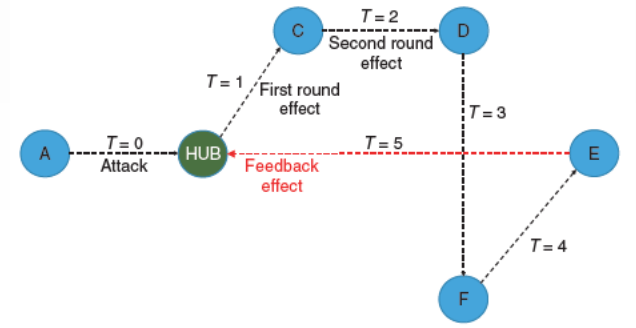
Base de datos: Pagos en el sistema de pagos de alto valor.

Metodología: Simulación de pagos (con el simulador de pagos desarrollado por el Banco de Finlandia, BoF-PSS2) y análisis de redes.

Logro: Desarrollar un algoritmo que estima el efecto agregado en la liquidez del sistema de pago de alto valor como consecuencia de un evento de estrés que afecta a los participantes centrales en la red de pagos de alto valor.

Utilidad: Útil como herramienta de monitoreo del impacto esperado de eventos de estrés en la liquidez del sistema de pagos de alto valor. Ayuda a calibrar los mecanismos de acceso a liquidez en momentos de estrés.

Ver <https://www.risk.net/journal-of-financial-market-infrastructures/2413546/a-dynamic-approach-to-intraday-liquidity-needs>





# Algunos ejemplos: Simulación (2)

## Simulación de llegada y salida de pagos minuto a minuto en el sistema de pagos de alto valor

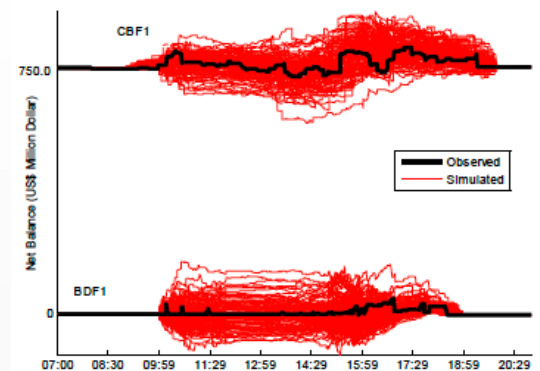
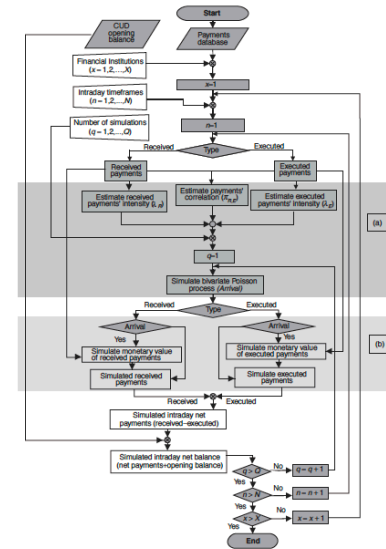
Base de datos: Pagos en el sistema de pagos de alto valor.

Metodología: Simulación de Montecarlo (Poisson, bivariada) para recrear la ocurrencia de pagos entrantes y salientes.

Logro: Desarrollar un algoritmo que recrea los pagos entrantes y salientes con base en la sincronía histórica de cada entidad financiera participante. Estimar un VaR de liquidez intradía.

Utilidad: Útil como herramienta de monitoreo de la dinámica de pagos intradía de las entidades financieras..

Ver <https://www.risk.net/journal-of-financial-market-infrastructures/2206684/estimating-the-intraday-liquidity-risk-of-financial-institutions-a-monte-carlo-simulation-approach>



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
- 4. Algunos ejemplos**
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes**
  - C. Machine Learning
5. Perspectiva



# Algunos ejemplos: Análisis de redes (1)

## Identificación de *super-spreaders* de liquidez

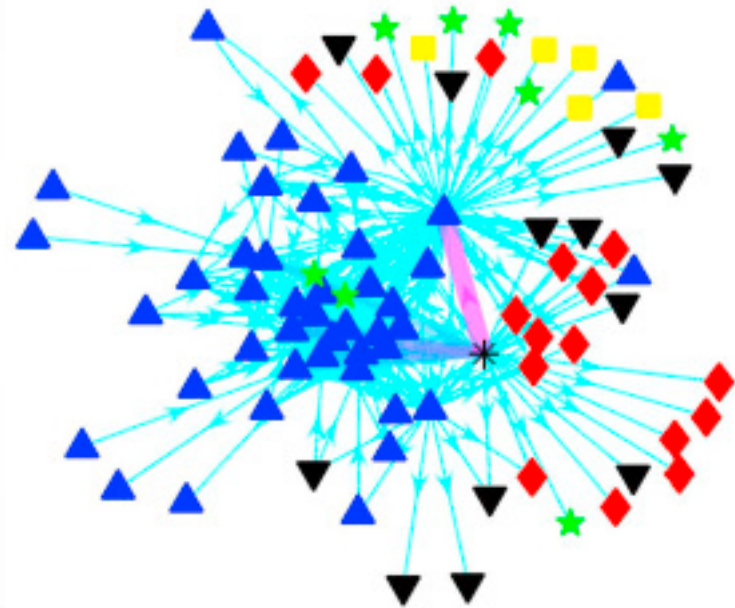
**Base de datos:** Del sistema de pagos de alto valor, registros de préstamos interbancarios y repos con el banco central.

**Metodología:** Análisis de redes, con énfasis en medidas de centralidad como receptores e irrigadores globales de liquidez.

**Logro:** Identificar instituciones que se destacan por su capacidad para distribuir la liquidez del banco central.

**Utilidad:** Identificar entidades sistémicamente importantes en la distribución de liquidez del banco central. Útil para monitorear la distribución de liquidez. Útil para determinar acceso a instrumentos de liquidez del banco central.

Ver: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572308916301310>



# Algunos ejemplos: Análisis de redes (2)

## **Efecto de la entidad de contrapartida central en el riesgo de contraparte y riesgo de liquidez**

Base de datos: Conciliación de datos de exposiciones de la ECC y de datos transaccionales de los sistemas de negociación de *forwards* COP/USD.

Metodología: Análisis de redes, con énfasis en la comparación de la estructura conectiva de las redes de negociación que serán compensadas bilateralmente con aquellas que serán compensadas y liquidadas a través de la ECC.

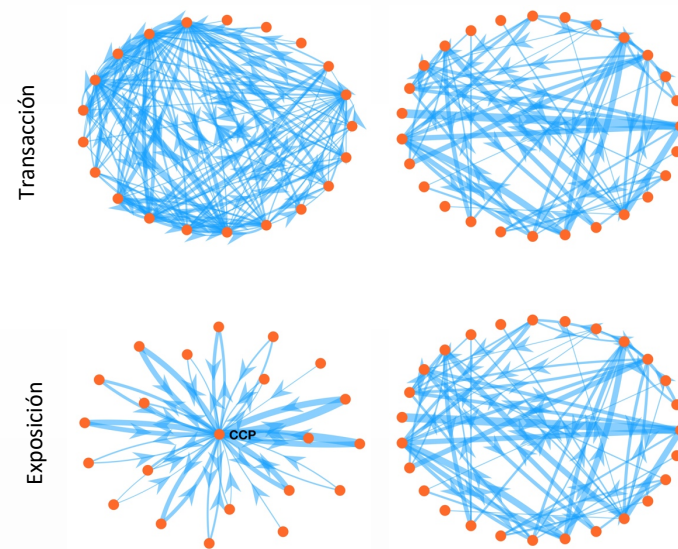
Logro: Aproximación cuantitativa y visual al efecto de la interposición de la ECC en el riesgo de liquidez y de contraparte

Utilidad: Evaluar el efecto de la interposición de la ECC en la dinámica de los mercados. Útil para monitoreo de la confianza de los agentes en del mercado de derivados.

Ver: [https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9806/be\\_1101.pdf](https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9806/be_1101.pdf)

A través de la ECC

Bilateral



# Algunos ejemplos: Análisis de redes (3)

## Estudio de las redes de ACH Colombia

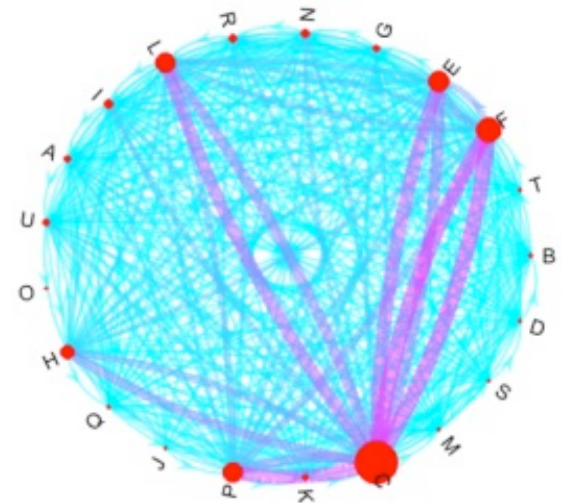
**Base de datos:** Del sistema de pagos de bajo valor, los pagos entre entidades financieras participantes de ACH Colombia.

**Metodología:** Análisis de redes, con énfasis en la comparación de la estructura conectiva de las redes de pago.

**Logro:** Estudiar una red que difiere de lo comúnmente encontrado en redes financieras, donde los clientes determinan la conectividad—no las entidades financieras.

**Utilidad:** Estudiar la estructura y evolución de una red de pagos de bajo valor. Útil para monitoreo de uso de redes de pago de bajo valor.

Ver: <http://www.scielo.org.co/pdf/le/n88/0120-2596-le-88-00109.pdf>



# Algunos ejemplos: Análisis de redes (4)

## Medición de la persistencia en relaciones interbancarias

Base de datos: Del sistema de pagos de alto valor, transacciones del mercado interbancario.

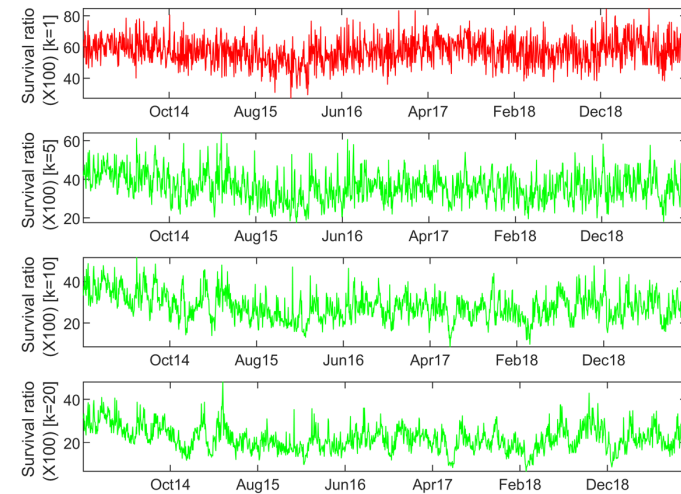
Metodología: Análisis de redes, con énfasis en la *razón de supervivencia* de las relaciones bilaterales a través del tiempo.

Logro: Estudiar la dinámica de la red del mercado interbancario, y cuantificar la proporción de relaciones que permanece de un día para otro ( $\sim 58\%$ ) o en periodos más largos de tiempo (5,10,20 días). Verificación de *interbank relationship lending*.

Utilidad: La razón de supervivencia es un indicador fácil de calcular y entender, que es útil para el monitoreo de la confianza de las entidades financieras en el mercado interbancario.

Ver: [https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9862/be\\_1118.pdf](https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9862/be_1118.pdf)

Extensión en curso: incluir el costo de los préstamos como factor de la persistencia de las relaciones.





# Algunos ejemplos: Análisis de redes (5)

## Estudio de plataformas de dinero electrónico

(en desarrollo)

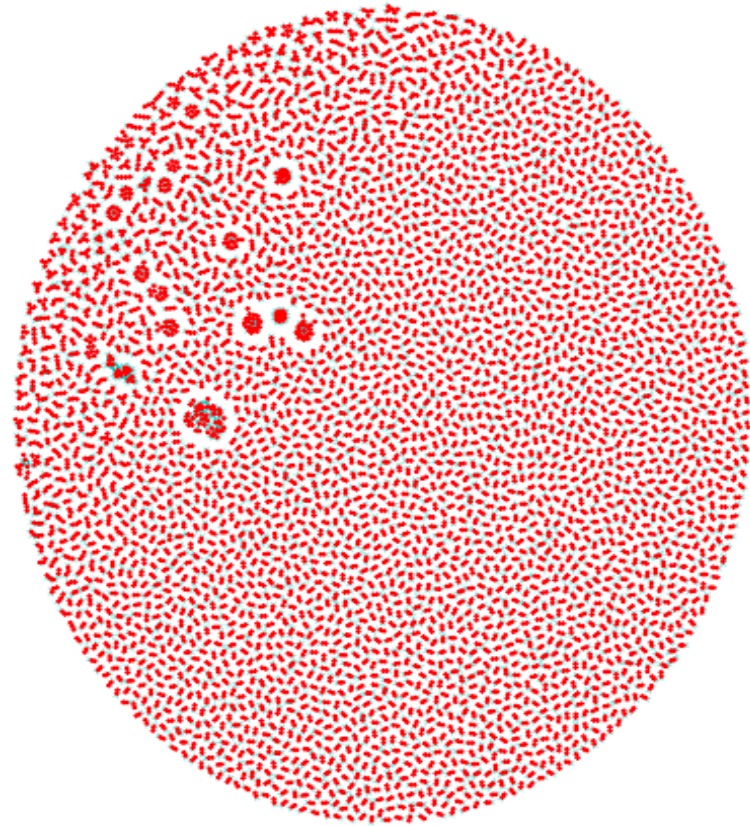
Base de datos: De una plataforma de dinero electrónico (sistema de pagos de bajo valor).

Metodología: análisis de redes, con énfasis en la dinámica de la estructura conectiva de los pagos y transferencias entre usuarios.

Logro: (en desarrollo)

Utilidad: Estudiar la estructura y evolución de la red que resulta del uso del dinero electrónico.

Ver: N/A



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
4. Algunos ejemplos
  - A. Simulación
  - B. Análisis de redes
  - C. Machine Learning
5. Perspectiva





# Algunos ejemplos: Machine Learning (1)

## Nowcasting de actividad económica con base en pagos electrónicos

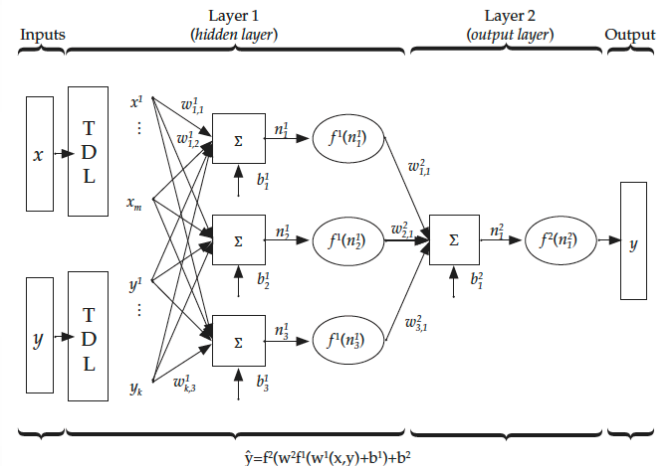
**Base de datos:** De sistemas de pago de bajo valor que compensan y liquidan electrónicamente (ACH Colombia, ACH Cenit, Cedec).

**Metodología:** Redes neuronales artificiales para series de tiempo (NARX). Machine Learning supervisado.

**Logro:** Disponer de un buen pronóstico que reduce el rezago en cerca de dos meses, que complementa modelos tradicionales.

**Utilidad:** Pronóstico de actividad económica basado en parte de los pagos que realizan los individuos, firmas y gobierno—complementa modelos tradicionales.

Ver: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.7205>



# Algunos ejemplos: Machine Learning (2)

## **Reconocimiento de patrones de pago de instituciones financieras en el sistema de pagos de alto valor**

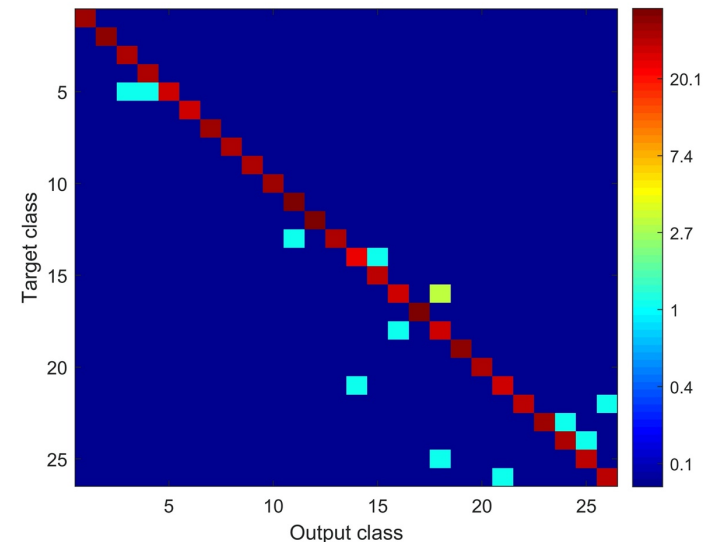
Base de datos: Pagos en el sistema de pagos de alto valor.

Metodología: Redes neuronales artificiales para clasificación.  
Machine Learning supervisado.

Logro: Entrenar una red neuronal para que identifique patrones de pago con un error de ~3% para bancos y ~11% para todas las entidades financieras.

Utilidad: El reconocimiento de patrones será la base de una herramienta de monitoreo de anomalías en el comportamiento de las instituciones financieras que participan del sistema de pagos de alto valor.

Ver: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666143820300119>



# Algunos ejemplos: Machine Learning (3)

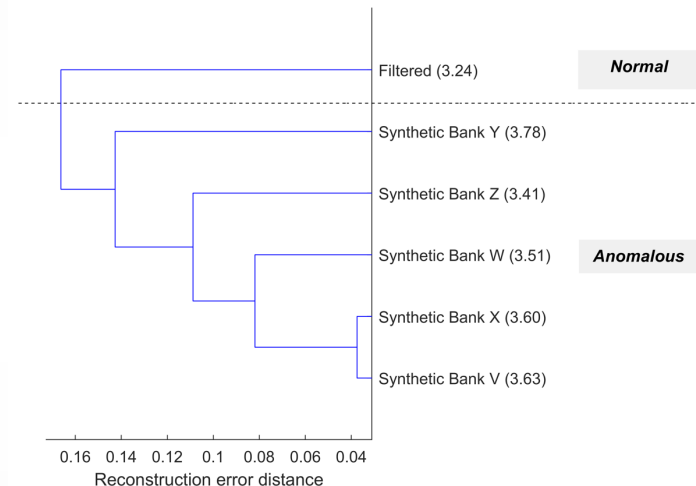
## Detección de redes de pago anómalas en el sistema de pagos de alto valor

Base de datos: Pagos en el sistema de pagos de alto valor.

Metodología: Análisis de Componentes Principales para reducción de dimensiones y algoritmos de agrupación (*clustering*). Machine Learning no supervisado.

Logro: Desarrollar una metodología que consigue identificar redes anómalas (sintéticas) en ~80%.

Utilidad: Útil como herramienta de monitoreo de anomalías en el comportamiento agregado del sistema de pagos de alto valor.



Ver <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666143820300016>



# Algunos ejemplos: Machine Learning (4)

**No olvidar las ventajas de las metodologías de reducción de dimensiones  
(e.g. Análisis de Componentes Principales)**

- A partir de un conjunto de indicadores (e.g. índices de centralidad de instituciones financieras), construir un único indicador que los agregue con la menor pérdida de información posible. Esto facilita el monitoreo cuando existen varios indicadores potencialmente relacionados entre sí.

Ver: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/isaf.1371>

- A partir de un conjunto de múltiples características de las instituciones financieras, comprimir la información en un número menor de características sintéticas. Esto permite evitar la redundancia y *ruido* entre dichas características y facilitar el procesamiento de los modelos.

Ver: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666143820300119>



# Agenda

1. El impulso reciente al monitoreo de las IMF
2. Las IMF como fuente de datos
3. Las metodologías (*brevemente*)
4. Algunos ejemplos
5. Perspectiva



# Perspectiva

- Luego de la crisis de 2008, gracias a que los sistemas financieros fueron reconocidos entre muchos otros sistemas adaptativos complejos, nuevas fuentes de información y nuevas metodologías han adquirido un gran impulso.
- Los datos que provienen de las IMF son particularmente útiles para estudiar y monitorear los sistemas financieros: Granularidad, oportunidad, confiabilidad, contenido y disponibilidad de los datos...
- El **primer gran reto es desarrollar e implementar las herramientas** que permitan aprovechar los datos que provienen de las IMF.
- En nuestra experiencia, las herramientas de simulación, el análisis de redes y Machine Learning son las mejores para este propósito.
- El **segundo gran reto es hacerlas operativas**. Que se conviertan en parte de la caja de herramientas de monitoreo automático no es tarea fácil.



# Perspectiva

- Como cualquier herramienta, el capital humano es clave para su correcta utilización e interpretación. Entonces, **el tercer gran reto es la capacitación y la investigación.**
- Con seguridad, lo que hemos alcanzado es apenas una muestra de lo que se puede conseguir.
- Hay muchas metodologías por estudiar (e.g. *agent based models*, *random forest*) y hay muchas metodologías que hoy día se están desarrollando.
- Por eso, las herramientas de monitoreo evolucionan constantemente. Ese es el **cuarto gran reto: seguir el paso de los desarrollos metodológicos.**



# **Herramientas analíticas para el Monitoreo de Infraestructuras del Mercado Financiero**

Curso sobre Infraestructuras del Mercado Financiero  
CEMLA | Banco de España | Banco Central de Reserva del Perú  
23 al 27 de noviembre de 2020

