

Nuevas tendencias en investigación

Juan José Nieto Roig

Académico de la Sección de Matemáticas, Física y Física del Cosmos

Presidente, Autoridades, Académicos, Premiados, Amigos

Es un honor que la RAGC haya tenido a bien encargarme esta lección en la inauguración de este.

Gracias al Presidente Prof. Dr. Ríos y al nuevo Presidente Prof. Dr. Lema también gracias y enhorabuena.

Intentaré ser riguroso y al mismo tiempo divulgativo por lo que soy consciente de que tengo unas altas posibilidades de fracasar en ambos intentos y aburrirles.

El título de mi lección es general y ambicioso por lo que los riesgos anteriormente señalados se acrecientan.

¿Cuáles son las actuales tendencias en investigación? No solo en el campo al que me dedico sino, en general, en las Ciencias.

Una posibilidad es remitirme a los distintos listados de temas o investigadores que aparecen en revistas u organizaciones de prestigio a finales de cada año. Pero esto sería como repetir los finalistas de los distintos deportes en el último campeonato mundial o las Olimpiadas, o, algo más discutible, los nominados al Balón de Oro ... de la Ciencia.

Por ello me van a permitir que haga una selección personal y que confío que, al menos, despierte su interés.

Como siempre es importante ver la historia, saber dónde estamos e intuir a dónde queremos ir y tratar de adivinar el futuro, dividiré mi lección en tres partes:

Pasado

Presente

Futuro

Hubo una época en el que el futuro era plano, y se podía prever. Hoy reina lo impredecible, lo complejo, lo imprevisible. Tenemos que saber convivir con esa incertidumbre, renunciar a los dogmatismos

Antonio Garrigues Walker (entrevista del mes pasado 2 de diciembre de 2018).

Esa incertidumbre nos crea un cierto desasosiego. Como decía Immanuel Kant

Se mide la inteligencia del individuo por la cantidad de incertidumbres que es capaz de soportar.

La incertidumbre es, pues, una posición incómoda. Pero la certeza es una posición absurda como bien señalaba Voltaire.

Por eso, duden, tengan espíritu crítico que es lo que siempre le recomiendo a mis alumnos.

En esa división histórica, transversal como bien dirían nuestros gestores científicos, vamos a comenzar con el

Pasado

Muchas de las herramientas, físicas o conceptuales, que usamos hoy en día son fruto de años de investigación y desarrollo de las ideas y de la técnica. Algunas no hace mucho serían casi objeto de novelas de ciencia ficción.

Una de las primeras novelas de ciencia ficción es *Somnium*, escrita en latín por Johannes Kepler en 1608 y publicada en 1634 por su hijo Ludwig.

Kepler presenta una imaginativa visión de la tierra desde la luna.

No solo hemos llegado a la luna (se cumplen este año 50 años), sino que recientemente hemos alunizado en la cara oculta de la luna

La sonda china se posó a principios de año en esa cara oculta de la luna.

Así mismo acaba de llegar una sonda espacial a 6.500 millones de km: a Ultima Thule, fuera del sistema solar y que nos podrá información muy valiosa sobre nuestro origen.

En 1910 se imaginaban así el colegio en el año 2000

Muchas de las predicciones no fueron acertadas como algunas del año 1967:

- La eliminación de enfermedades contagiosas (me aventuro a predecir que no solo no serán erradicadas sino que en breve brotarán algunas nuevas o rebrotarán otras). Incluso la Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) teme que una nueva enfermedad desconocida cause una pandemia mundial y, como bien nos enseña la historia, será algo nunca visto. Esta nueva enfermedad ha sido denotada por X, una notación muy matemática para esa incógnita.
- Control del tiempo atmosférico (está claro que con el cambio climático, que algunos niegan, cada vez se hace más difícil controlar los fenómenos naturales)
- Desarrollo de colonias espaciales

Y otros muchos que podríamos detallar.

Parece que el cambio ha sido menor de lo esperado, salvo que las ciudades están llenas de coches contaminando y que todos tenemos un teléfono-ordenador en nuestro bolso o bolsillo.

También hemos avanzado enormemente en el campo de los grandes datos (BigData), inteligencia artificial (IA), internet de las cosas (IoT) y Tecnologías de la Comunicación (TiC), Machine Learning

Algunos se atreven incluso a pronosticar una Singularidad Tecnológica, sobre el año 2040, que, una vez alcanzada, habrá máquinas que sean capaces de diseñar otras máquinas todavía más inteligentes que sobrepasarán a los humanos. ¿Qué pasará entonces con nosotros?

¿Podremos entonces repetir la famosa máxima de Descartes (1596-1650)?

Cogito ergo sum

Pienso, por lo tanto soy

Como el plagio ya existía, he de mencionar que esto ya lo había escrito un español en 1554:

Gómez Pereira (Medina del Campo, 1500 – ¿1558?) fue un filósofo, médico y humanista español, natural de Medina del Campo y en su obra 'De Immortalitate Animae'

aparece

Conozco que yo conozco algo. Todo lo que conoce es; luego yo soy.

Nosco me aliquid noscere: at quidquid noscit, est: ergo ego sum.

Posible retrato de Gómez Pereira, obra de El Greco

¿Viviremos cada vez más? ¿Y mejor?

La continua aceleración tecnológica ¿a dónde nos llevará?

Déjenme que les esboce cómo la humanidad ha evolucionado a lo largo de nuestra historia (de manera brevísima) para pasar luego a algunos temas de investigación.

Población

Pasamos de unos 20.000 humanos en el pleistoceno

unos 7.675 millones, aproximadamente 8.000 millones

Nacimientos hoy: aprox. 311.000 (un día cualquiera a las 6 de la tarde).

Eso nos da una proporción de

$$8.000.000.000/20.000 = 400.000$$

es decir la población actual es unas 400.000 (aprox medio millón) de veces mayor.

En notación científica $4 \cdot 10^5 = 4 \cdot 10E5$

Nada sorprendente

Vamos ahora con la

Velocidad de Transporte

En la prehistoria, aunque pensemos en el más rápido (Usain Bolt en los 100 metros lisos) estaríamos en una velocidad de 45 km/h de velocidad punta (a esa velocidad constante el record del mundo estaría en unos 8 segundos, no en casi 10 segundos). En caballo estaríamos entre 40-50 km/h.

La velocidad registrada mayor se alcanzó por el Apolo 10 y era de unos 39.897 km/h al entrar en la órbita terrestre.

En este caso tenemos una proporción de $1.000 = 1 \cdot 10E3$

Generación de Energía

Históricamente, la energía de la madera. Un fuego típico puede proporcionar

16.2 MJ/kg (megajoules por kilogramo)

mientras que una planta de energía nuclear moderna puede proporcionar unos 80.000.000 Mg/kg dando un factor de crecimiento de 5 millones: $5 \cdot 10^6$

Podríamos considerar muchos aspectos de nuestra vida.

Altura de edificios: Pasamos de 15m a una futura torre en Jeddah (Arabia Saudí) de casi un km de alto que se completará el año que viene

Resultando en un factor de aumento de 70.

En cualquier caso, quizás lo más relevante, junto con los datos anteriormente señalados de la población humana que habría que considerar en conjunto con las poblaciones de otras especies, sea nuestra esperanza de vida.

En el paleolítico era de unos 30 años. Ahora mismo en España sobre 82 y en Japón sobre 84. El principal problema era la mortalidad infantil, pero una vez superada la adolescencia las posibilidades aumentaban.

Por ejemplo

Socrates murió a la edad de 70 (y no de muerte natural)

Galileo a la edad de 77

Miguel Ángel a los 88

Newton, el gran científico, a los 84.

Por tanto la esperanza de vida se ha multiplicado tan solo por 3.

Ridículo comparado con la capacidad de comunicación, unos 20 millones; $2 \cdot 10^7$

O comparado con la velocidad de cálculo: pasamos de un par de cuentas por segundo a 93 PetaFLOPS ($93 \cdot 10^{15}$ FLOPS) del ordenador Sunway TaihuLight en Wuxi (China).

Aprovecho para decirles que 10^{15} es aprox. 2^{50}

El CESGA puede estar en torno a 460 billones de operaciones por segundo.

Así estamos hablando de un crecimiento en la velocidad de cálculo de 10^{17} .

Esto, en resumen, significa que lo que menos hemos desarrollado es nuestra medicina y esperanza de vida en comparación con otros aspectos que no es que hayan sido enormes

sino galácticos. Ello a pesar de los grandes avances en el campo de la biomedicina y la biotecnología.

Pasemos al

Presente

Tenemos, en primer lugar, los temas de los Premiados en esta ocasión por la RAGC:

Nanotecnología, cáncer o computación avanzada. No cabe duda que son y serán de gran relevancia en el futuro.

Otros señalados por la fundación Gadea: cuyos fines son contribuir a la mejora y avance del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación y de la que tengo el honor de formar parte

La tecnología CRISPR,

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, en español “Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente interespaciadas.”

es una herramienta molecular utilizada para “editar” o “corregir” el genoma de cualquier célula. Eso incluye, claro está, a las células humanas. Sería algo así como unas tijeras moleculares que son capaces de cortar cualquier molécula de ADN haciéndolo además de una manera muy precisa y totalmente controlada.

También nuevas herramientas de biología molecular como la metagenómica.

las ventajas de los drones

para, por ejemplo, la teledetección frente a incendios

el descubrimiento de nuevos exoplanetas

con el hallazgo de más de un centenar de nuevos planetas

la explosión de polímeros biodegradables

Materiales naturales y renovables, que no producen residuos y tienen innumerables aplicaciones. Por ejemplo, en el campo de la cirugía se han ideado suturas absorbibles o la dosificación de fármacos para la liberación controlada del medicamento, así como la

fabricación de envases alimentarios para facilitar el reciclaje y aminorar el desperdicio de alimentos.

las aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA)

con programas que avanza el diagnóstico de una enfermedad antes incluso de manifestarse o vehículos inteligentes que podrían reemplazar al propio conductor.

En física teórica tenemos los materiales 2D hasta dar con la última revolución del siglo XXI: el grafeno, componente que destaca por su flexibilidad ambiental, su resistencia bacteriana y su capacidad como conductor de la electricidad y el calor, por ejemplo, para fabricar pantallas mucho más eficientes en cuanto a resolución y consumo de energía.

Por su parte, la nanotecnología se ha constituido como una de las tecnologías más potentes del ser humano, con capacidad para generar tejidos que no retengan suciedad, desarrollar microchips capaces de almacenar trillones de unidades de información o construir vías sanguíneas artificiales que conduzcan los fármacos directamente hasta el tumor.

En el campo de la química,

la catálisis hidráulica para generar oxígeno a partir del agua,

el desarrollo de células fotovoltaicas diferentes al silicio

o la investigación para captura y transformación del CO₂.

Premios Nacionales de Investigación 2018

Los Premios Nacionales de Investigación, creados en 1982 y recuperados después de unos años sin convocarse.

el premio en el

área de ciencias físicas fue concedido a Rafael Rebolo López astrofísico y actual director del Instituto de Astrofísica de Canarias,

por «sus contribuciones pioneras en el descubrimiento de exoplanetas gigantes y supertierras, el decaimiento de estrellas en agujeros negros y la detección del fondo de microondas y su anisotropía (propiedad general de la materia según la cual cualidades como elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. varían según la dirección en que son examinadas)

El ministro de Ciencia, Pedro Duque, y el astrofísico Rafael Rebolo, el 10 de julio en La Laguna (Tenerife).

químicas a Luis Liz Marzán

químico, gallego,

por «sus numerosas y significativas contribuciones a los campos de la química coloidal y la nanociencia.

Aquí tenemos una foto de Luis Liz con motivo de una reciente reseña que nos hicieron en GCiencia.

ciencias y tecnologías de los recursos naturales a Pedro Jordano Barbudo

matemáticas y tecnologías de la información y las comunicaciones a Ramón López de Mántaras

informático, físico y actual director del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial del CSIC, ha recibido el Premio Nacional Julio Rey Pastor de Matemáticas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Y, por último, de transferencia de tecnología a Pablo Artal Soriano.

físico y catedrático de óptica de la Universidad de Murcia.

Las cinco categorías restantes (medicina, biología, ingenierías, humanidades, derecho y ciencias económicas y sociales), serán objeto de la convocatoria 2019.

En este apartado del presente me he centrado algo más en España, pero pasemos al

Futuro

donde daremos algunas pinceladas ya a nivel europeo y mundial.

Comenzaremos por un programa de la CE

Future and Emerging Technologies

Un programa de la CE para la innovación y tecnologías radicalmente nuevas, con un alto impacto en la tecnología y que redunden en beneficio de nuestra economía y sociedad europea. Un programa ambicioso y altamente competitivo.

Este programa activo actualmente pero que data de hace 30 años apoya proyectos de distintos tamaños, desde los exploratorios de nuevas ideas hasta los buque insignia.

En Galicia hay, o hubo porque ya finalizó, un proyecto FET

Dream

El sueño de dotar de cerebro a los robots

Investigadores de la UDC culminan un proyecto para que las máquinas sean capaces de aprender por sí mismas

Hay muchos sobre distintas temáticas, pero lo fundamental es que contengas ideas o técnicas no existentes y radicalmente disruptivas.

Por ejemplo El proyecto BIOMICS

Biological and Mathematical Basis of Interaction Computing

Unconventional Computation

que tuve el privilegio de conocer muy de cerca,

Ese Proyecto combinaba distintos aspectos de las matemáticas con la biología para sentar las bases de su interacción usando métodos de computación no convencionales.

Dentro del programa FET, tenemos los buques insignia (FET Flagships) que son iniciativas a gran escala con vision de future de grandes retos científicos y tecnológicos.

Estos son a largo plazo y abordando temas que conduzcan a la UE al liderazgo tecnológico e industrial.

Ahora mismo hay dos en marcha

Uno sobre el Grafeno

Y otro sobre el Cerebro Humano.

Proximamente se lanzará y se presentará otro para

Revelar todo el potencial de las Tecnologías Cuánticas así como para acelerar su desarrollo para futuros productos comerciales.

Quantum Technologies

Otro que se lanzará próximamente

Sobre Baterías Inteligentes, de gran capacidad, seguras y sostenibles.

En Galicia hay una pequeña iniciativa apoyada por el CESGA y de la que formo parte, denominada

iQGal

Recordarán que les comenté que 10^{15} es aprox. 2^{50}

$10 \times 10 \times 10 \dots \times 10$ (15 veces) es aprox. Igual a $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2$ (50 veces)

¿Por qué usamos 2 como base? Es decir en vez del sistema decimal, el sistema binario de numeración. Pues muy sencillo, porque la información básica en un computador clásico es 0 ó 1 (2 estados; apagado-encendido. Verdadero-Falso. Sí-No). Esa unidad en un bit.

En computación cuántica, basada en la mecánica cuántica, la información básica es un qubit y puede ser, simplificando,

0

1

Ninguno de los dos

Los dos a la vez

Es decir 4 estados.

Creo que esto encaja muy bien con la ciencia que se hace en Galicia y además con nuestra personalidad

Sí

No

Depende

al que hay que añadir otra cuarta respuesta, o no.

Esos cuatro estados, técnicamente se representan en la esfera de Bloch

Que desde el punto de vista matemático, no se austen, resulta ser la esfera de Riemann o el plano complejo ampliado o compactificado.

Fíjense que está íntimamente relacionado con la proyección estereográfica que sirve para proyectar la tierra sobre un plano.

Volviendo a la computación cuántica, basada en la mecánica cuántica, debido a ese factor 2, supondría una mayor capacidad de cómputo.

$$2^{50}=4^{25}$$

A pesar de que hasta ahora parecía ciencia ficción, ya hay grandes empresas involucradas en el desarrollo de computadores cuánticos. Les daré algunos nombres que les serán familiares como IBM, Google, Alibaba, NASA, Airbus, Toshiba

Otros que quizá no tanto, como D-Wave Systems, Rigetti y otras.

Para desarrollar y construir un ordenador cuántico, además de la parte física, es necesario implementar nuevos algoritmos matemáticos. Es decir el hardware es importante, pero el software lo será igualmente, y este será de naturaleza completamente distinta. Necesitaremos “informáticos cuánticos”.

Expresión, por cierto, que parece no existir en la actualidad.

Por otra parte, los procesos cuánticos son aleatorios intrínsecamente. O sea, que no hay quien entienda esto. Ni yo que estoy hablando y me tiene que perdonar mi atrevimiento, pero considero que esto es el futuro no solo el nuestro sino el de nuestros hijos y nietos.

Por ahora hay algoritmos sencillos que parecen funcionar pero que no mejoran sustancialmente lo obtenido en un ordenador convencional.

Rigetti ofrece un premio de un millón de dólares al que muestre la ventaja de la computación cuántica en su plataforma cuántica en la nube

Otro aspecto de la computación cuántica es la llamada factorización de un entero es sus factores primos.

Recuerdo que un número primo es aquel que solo es divisible por sí mismo (y naturalmente la unidad)

$$7 \text{ es primo } 7=1 \times 7 \quad \text{Pero } 6 \text{ no es primo } 6=2 \times 3$$

Ya los griegos conocían que hay infinitos números primos. Pero, ¿Cómo están distribuidos? Ese es un problema matemático sin resolver.

Este año 2019 parece primo, pero no es evidente. Determinar si un número grande es primo no es sencillo, es más, es un problema, desde el punto de vista computacional, muy complejo!

$$2019 = 3 \cdot 673$$

Además 2019 es un número feliz (en un sentido matemático). El próximo será 2026.

Dos investigadores de la UPM, Jose Rosales y Vicente Martin, han diseñado un simulador cuántico que está relacionado con una conjetura matemática de Hilbert y Pólya y que aceleraría la descomposición de un número en factores primos. Si la teoría de ambos investigadores fuese válida, proporcionaría una prueba experimental de la famosa Hipótesis de Riemann.

La HR es quizás el problema sin resolver más relevante de todas las matemáticas. Es relativa a ciertas propiedades de una función de variable compleja. Su interés radica, entre otros aspectos, en que está íntimamente relacionada con la distribución de los números primos y de su relevancia da buena muestra que el Instituto Clay de Matemáticas ofrece un premio de un millón de dólares a quien resuelva dicha HR.

Al mismo tiempo la resolución de la HR tendría probablemente implicaciones en la criptografía de clave pública RSA, llamada así por las iniciales de sus creadores RSA (Rivest–Shamir–Adleman) basado esencialmente en la dificultad de factorizar un número muy grande y que, por supuesto no voy a detallar.

Actualmente, muchas transacciones y protocolos de ciber-seguridad dependen de la efectividad de la llamada criptografía de clave pública que les acabo de mencionar y que todos usamos, por ejemplo, al hacer una transacción comercial o firmar un documento digitalmente.

Algoritmos matemáticos que todos usamos pero que no vemos. Son invisibles, pero muy importantes.

Pues bien, la computación cuántica haría estos protocolos vulnerables. Quizás suceda dentro de años y podríamos estar tranquilos, pero ¿qué pasará con, por ejemplo, información confidencial o sensible entonces? ¡El impacto e incertidumbre empieza ya! Hay que estar preparados.

Para resolver eso, hay distintas posibles vías como la generación de nuevos protocolos matemáticos para la era post-cuántica.

Volviendo a las Tecnologías Cuánticas, habría toda una panoplia de productos que se podrán ir desarrollando como, por ejemplo, un radar cuántico

En la feria CES Consumer Electronics Show (CES) o Feria de Electrónica de Consumo, Las Vegas 8-11 enero 2019

Se han presentado multitud de novedades,

Por ejemplo

Tangle Lake, Intel's new 49-qubit superconducting quantum test chip

O IBM que ha presentado el primer ordenador cuántico comercial del mundo, el primer ordenador cuántico para uso comercial, Q System One.

pero lo me ha llamado la atención es que un

Un Tesla semiautónomo parece 'atropellar' a un 'Promobot' es un robot autónomo diseñado para fines comerciales, y que es capaz, según sus desarrolladores, de "comunicarse con personas sobre cualquier tema, reconocer caras, responder preguntas y moverse evitando obstáculos".

Parece que ambos siguieron su camino sin inmutarse. Lo más destacable era que el robot pertenecía a una empresa rusa.

Otro tema de gran impacto fue el del científico chino He Jiankui, a finales de noviembre pasado, anunció que había modificado genéticamente dos bebés. Esto es un tema de gran transcendencia no solo desde el punto de vista médico sino con implicaciones éticas y de todo tipo.

Este científico chino ha vuelto a dar recientemente señales de vida después de un supuesto arresto domiciliario.

Las ciencias están todas enlazadas entre sí:
es mucho más fácil aprender todas juntas a la vez que separar unas de las otras

R. Descartes (1596-1650)

Aunque esto ya lo había dicho Roger Bacon (1204-1292)

Pero esto ya lo había señalado Roger Bacon, otro plagio, como me indico recientemente el Dr. Fernando Baquero del Instituto Ramón y Cajal de Investigaciones Sanitarias
Todas las ciencias están conectadas y se prestan auxilios como partes del mismo todo; cada una de entre ellas haciendo su propia obra, no solo para sí misma sino para las otras.

Ommes scientiae sunt connexae et mutuis fovent auxiliis sicut partes ejusdem totius, quarum quaelibet opus suum peragit non solum propter se sed pro aliis.

Opus Tertium (1266)

Como señalaba nuestro Presidente en una reciente entrevista,

La gente aún no es consciente de que detrás de cada una de las innovaciones tecnológicas hay ciencia . . . No se ve, pero está en todas partes, en todas y cada una de nuestras actividades diarias.

Y ya Como matemático que soy Me van a permitir que acabe con una frase del Presidente de la Academia de Ciencias

La matemática es una ciencia presente en casi todo.

Y, a pesar de ello, invisible.

Jesús María Sanz Serna

Presidente de la Real Academia de Ciencias

Y que este que les habla es simplemente un científico resistente al embeleso de la percepción