

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto

Presidencial del 3 de abril de 1981



“Inversión en Energía Nuclear para países emergentes como alternativa al cambio climático”

CASO DE ESTUDIO

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN FINANZAS

Presenta

Juan Pablo Tena Sendra

Directora: Mtra. Dulcinea Rivas Correa

Lectores: Mtro. Mauricio Nieto Martinez

Mtro. Miguel Angel Gutierrez Banegas

CDMX, 2021

Resumen Ejecutivo

Energía nuclear: ¿La última alternativa al cambio climático y sus alteraciones irreversibles?

El presente caso de estudio analiza la viabilidad de la energía nuclear para países subdesarrollados como prospecto de inversión. Se presenta un modelo estructurado para países emergentes, tomando como punto de partida México, un país reconocido por sus altos recursos naturales y con una reciente reforma energética que continúa basándose como en los últimos 75 años, en la producción y venta de hidrocarburos como modelo económico para el crecimiento del país.

El proyecto se aborda a través de cuatro diferentes etapas cada una con un enfoque específico:

- 1) Mitos y Realidades de la Energía Nuclear
- 2) Energía Nuclear vs Otras Energías (Petróleo, Carbón, Gas natural y Energías renovables)
- 3) Energía Nuclear como proyecto de Inversión en México
- 4) Conclusiones del proyecto de inversión, así como el futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático

El caso de estudio tiene dos objetivos: el primero, fomentar y concientizar la delicada situación que estamos enfrentando como civilización, pues nos encontramos en un punto crítico respecto a las alteraciones irreversibles en el cambio climático. El segundo punto es demostrar que un proyecto desarrollado en países emergentes y enfocado en energías limpias puede ser altamente redituable. Evidenciar de manera integral que la sustentabilidad en materia de infraestructura energética y una solución altamente remunerativa no tienen que ser conceptos mutuamente excluyentes, y que estos pueden trabajar en armonía y obtener resultados altamente satisfactorios.

Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Iberoamericana por esta magnífica oportunidad, que no solamente constó de apoyo económico sino del orgullo y la satisfacción que me produjo el verme nuevamente como estudiante en tan magnífica casa de estudios.

Asimismo, agradezco a mi asesor de este caso de estudio, la Maestra Dulcinea Rivas, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza y la paciencia ofrecida en estos últimos seis meses.

A mi director de Maestría, el Mtro. Mauricio Nieto, por su orientación y atención a lo largo de estos últimos dos años de programa. Pero más allá de temas académicos, gracias por las palabras precisas en un momento personal de mucha duda y desconcierto. Las palabras de ese correo quedarán marcadas, pero sobre todas las cosas jamás olvidaré su calidad humana y sensibilidad como persona.

Por su orientación, atención y compañerismo, mi agradecimiento a mis compañeros de Maestría; Rodrigo Rodea, León Martínez, Henry Leyva y Agni Rocillo. “Por siempre traerme en porcelana” y el hacer de esta experiencia académica algo inolvidable.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Gracias a mi familia, a mis papas por nunca dejarme abandonar la idea de seguir preparándome, aprendiendo y apostar por el camino del crecimiento académico.

Gracias a mi novia y a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo. Por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la calidad de relaciones interpersonales. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A tod@s, muchas gracias.

Índice

Introducción.....	6
Capítulo 1 “Historia de la Energía Nuclear, mitos y realidades”	
El origen de la Energía Nuclear.....	11
¿Como funciona un Reactor Nuclear de agua ligera?.....	12
La situación actual de la Energía Nuclear.....	13
El mayor problema de la Energía Nuclear es la seguridad ¿Qué tan propensa a accidentes es la Energía Nuclear?.....	13
Nos va a pasar lo mismo que en Chernóbil ¿Cómo fue el accidente? ¿Puede repetirse?.....	14
La Energía Nuclear es sumamente contaminante ¿Puede realmente esta Energía ser considerada como una Energía Verde?.....	15
La Energía Nuclear genera una alta cantidad de residuos peligrosos ¿Qué son los residuos radioactivos y cuál es la relación de uso de materia prima para esta energía.....	16
 Capítulo 2 “Energía Nuclear vs Otras Energías: Petróleo, Carbón, Gas natural y Energías renovables”	
¿Qué es la energía y cómo se clasifica?	18
¿Qué es la energía solar y cómo se aprovecha?	19
¿Qué es la energía eólica y cómo se aprovecha?	20
¿Qué es la energía hidráulica y cómo se aprovecha?	21
¿Qué es el carbón y cómo se utiliza?	22
¿Qué es el gas natural y que usos tiene?	23
¿Qué es el petróleo y que usos tiene?	24
 Capítulo 3 “Energía Nuclear como proyecto de Inversión en México”	
Delimitando el proyecto.....	28
Costo promedio de construcción.....	28
Tiempo de construcción.....	29
Tasa de descuento y tasa de financiamiento.....	29
Tiempo de vida económico.....	29
Costo de combustible.....	30
Ingresos anuales.....	30
Capacidad de factor.....	31
Costos operativos.....	32
Deuda.....	32
Ejercicio financiero.....	33
Observaciones.....	35

Capítulo 4 “Conclusiones del proyecto de inversión, así como el futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático”

Duración de la construcción.....	36
Payback.....	36
Sensibilidad al precio de venta KWh.....	37
TIRM.....	38
Factores Independientes al ejercicio financiero.....	38
La respuesta a nuestras dos grandes preguntas del caso de estudio.....	39
El futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático.....	40
Bibliografía.....	42

Introducción

Desde el inicio de los tiempos, la especie humana ha sido un increíble ejemplo del proceso evolutivo. Tomando como punto de partida las evoluciones genéticas y físicas. Ponemos a punto de ejemplo el Australopiteco, que vivió aproximadamente hace cuatro millones de años atrás; este homínido aprendió a erguir su postura logrando caminar sobre 2 piernas para poder recorrer distancias más largas. A su paso llegó el Homo habilis, el cual vivió aproximadamente hace 1.5 millones de años y es distinguido porque tuvo un considerable crecimiento de cráneo y también porque fue el primer homo en generar útiles de piedra para realizar pequeñas tareas. El Homo erectus, (sucesor del Homo habilis) incrementó su masa corporal, estatura, volumen de cráneo y aprendió a desarrollar utensilios y herramientas de caza y pesca; 150,000 años después llegó el Hombre de Neanderthal quien a diferencia del Homo erectus, generó un volumen de cráneo aún mayor, desarrolló su sistema digestivo al tener una dieta más completa pues este se alimentó de verduras y vistió pieles para protegerse de la intemperie además de vivir en pequeñas comunidades. Por último, llegamos al Homo Sapiens quien aparece hace 100,000 años aproximadamente, este se dispersó por el mundo, desarrolló las primeras formas de arte, formas de comunicación y herramientas complejas para poder completar tareas más complejas tales como caza, collares y artesanías.

Sintetizando un poco la historia de la humanidad y su proceso evolutivo, podemos observar como desde el origen de las civilizaciones, la raza humana ha tenido una constante transformación y progreso. Como comentamos anteriormente el hombre primitivo, que contaba únicamente con el fuego como fuente de energía, el hombre cazador que quemaba madera para calentarse y cocinar, evolucionando a una sociedad sedentaria que trajo consigo la implementación de la agricultura y como consecuencia el desarrollo de estrategias para generar energía constante hasta dominar el uso del viento y del agua como fuentes de esta y XII siglos después una sociedad industrial que basaba sus recursos en el carbón y en el vapor, hasta llegar a la actual sociedad tecnológica, con los motores de combustión interna y la generación central de electricidad.

En un abrir y cerrar de ojos y sin un rumbo claro, en la mayoría de las etapas de la historia de la humanidad, nos encontramos con un planeta que hoy día alberga más de 7700 millones de personas. Con un estilo de vida que genera demandas desproporcionadas de recursos no renovables, con una cultura de apropiamiento hacia recursos naturales que ha tenido un impacto significativo en los sistemas ambientales de la Tierra y ha afectado por igual a las personas y a la naturaleza. Con una civilización, que a modo de

hábitos y una constante estimulación se ha encargado de normalizar un estilo de vida que devora nuestro planeta y sus recursos a tal punto que, si este comportamiento no cambia, las reservas y recursos potenciales de petróleo y gas no bastarán para atender las necesidades de producción de electricidad.

Para tener más en claro el último concepto, hay que poder distinguir entre varias formas de energía: por energía primaria se entiende la energía en la forma que tiene en sus recursos naturales (por ejemplo, estiércol de vaca, madera, carbón, petróleo, gas natural, viento, energía hidráulica, uranio natural, energía solar), mientras que las formas de energía secundaria son todas aquellas en las que la energía primaria puede necesitar transformarse para su distribución o consumo entre los usuarios, por ejemplo, la electricidad y la gasolina. En muchos países, la demanda de electricidad crece a ritmo más rápido que la energía primaria, ya que la sociedad moderna prefiere los beneficios derivados de esta forma de energía. En otras palabras, en un futuro próximo (durante el próximo siglo) habrá que sustituir parcialmente los combustibles fósiles por fuentes nuevas de energía. Las fuentes disponibles con este fin son las formas renovables de energía, como la energía solar, la eólica, la geotérmica, la hidráulica y la biomasa. Ahora bien, la mayoría de las fuentes renovables de energía no proporcionan densidades energéticas altas y sin nuevos sistemas colectores, dichas fuentes no serán adecuadas de manera uniforme. Por tanto, pueden no ser capaces de atender las principales necesidades de una generación continua de electricidad y la producción de calor para zonas industriales y urbanas.

Bajo esta óptica, pareciera que la urbanización, la continua industrialización y la subida del nivel de vida, particularmente en el mundo en desarrollo, (la raza humana hoy en día), se encontrará en un callejón sin salida. Sin embargo, ¿Qué pensarían si les dijera que ya existe una alternativa a este problema? misma que hoy día, es una de las fuentes más adecuadas para satisfacer esta demanda y en muchos países desarrollados contribuye ya de modo significativo al abastecimiento energético. ¿Lo creerían? Una alternativa que desde hace más de 70 años existe y en las últimas décadas ha demostrado ser ya una eficaz fuente industrial de generación eléctrica. Algunos países con pocos recursos energéticos tradicionales, como Bélgica, Bulgaria, Finlandia, Francia, Japón, Suecia y Suiza, han recurrido ya notablemente a esta energía. ¿Siguen escépticos ante esta revelación? Déjenme platicarles un poco más acerca de la *Energía Nuclear*.

El 2 de diciembre 1942, en un pequeño laboratorio bajo las gradas del estadio de la Universidad de Chicago, un grupo de científicos encabezados por Enrico Fermi, lograron producir y controlar la primera reacción nuclear en cadena autosostenida en un artefacto

llamado " pila atómica". Este hecho es reconocido como el nacimiento de la " era nuclear"
[1]

Según Katie Tubb, analista de políticas senior para asuntos energéticos y ambientales, la *Energía Nuclear* es aquella que se libera como resultado de cualquier reacción nuclear. Esta energía puede obtenerse bien por fisión (división de los elementos pesados), o bien por fusión (unión de núcleos muy ligeros). En las reacciones nucleares se libera una extraordinaria cantidad de energía y ello es debido a que en dichas reacciones se produce una disminución neta de masa que se transforma directamente en energía. Para dimensionar un poco más el alcance y la producción de esta energía (sin perder de vista su huella física), me gustaría hacer una comparación entre las energías limpias más comúnmente utilizadas y la *Energía Nuclear*.

Un solo reactor nuclear utiliza alrededor de 53 hectáreas de espacio terrestre por megavatio, en comparación con la energía eólica (28.7 hectáreas), la energía solar (17.8 hectáreas) y la hidroeléctrica (127.5 hectáreas). Dicho de otra manera, una granja solar necesitaría aproximadamente 72 kms cuadrados de tierra para producir la misma cantidad de electricidad que una planta de energía nuclear promedio, y una granja de energía eólica necesitaría aproximadamente 415 kms cuadrados. La energía eólica y solar disfrutan de una reputación mucho mejor como fuentes de energía limpia y también tienen beneficios como energía de cero emisiones. Sin embargo, ambas requieren condiciones climáticas favorables y energía de respaldo para estar en línea en caso de que el clima no coopere. Los reactores nucleares están en línea y generan energía el 94% del tiempo, en comparación con la eólica (37%) y la solar (26%). Y aunque la mayoría de las plantas de energía nuclear en Estados Unidos tienen licencia para operar durante 60 años, la vida útil de las energías renovables es aproximadamente la mitad del tiempo. [2]

Por último, me gustaría hablar del precio de la *Energía Nuclear*. En una reciente edición del diario de la Universidad de Alcalá (UAH), se informó que en un estudio contratado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) dice que la energía nuclear es más barata que el gas y que es levemente más cara que usar carbón. Por otro lado, Moisés Bittán, Consultor internacional, Magíster en Ciencias Económicas, argumenta que la *Energía Nuclear* es una tecnología cara y para corredores de maratón. Ya que un reactor de última generación, en los actuales proyectos para Estados Unidos (EE. UU.), cuesta cerca de nueve billones de dólares y sus plazos de construcción pueden tomar hasta una década, además del tiempo requerido para lograr aprobación regulatoria. Por ello, las incertidumbres regulatorias propias del debate nuclear plantean riesgos que un inversor privado no estará dispuesto a soportar por sí solo.

Sin lugar a dudas, hay opiniones divididas respecto al costo de la *Energía Nuclear* ya que en gran parte este depende mucho del contexto y escenario específico donde se decida construir y operar. Las regulaciones, la mano de obra, la obtención de materiales, la capacitación, las tasas de crédito, la inversión recurrente en seguridad, las aprobaciones regulatorias de los gobiernos, etc. Lo que sí es un hecho, es que invertir en *Energía Nuclear* no es un ejercicio con utilidades a corto plazo, ni un prospecto de inversión con montos de inversión de capital pequeños, actualmente en ciertos países un proyecto está atado a una alta incertidumbre regulatoria. Sin embargo, mientras otras energías limpias, como la solar, generan decenas de mega watts, los reactores nucleares generan centenas, por poner un ejemplo, 1 kg de carbón produce 30000000 julios, 1 kg de uranio-235 produce 80000000000000 julios; es decir, unos dos millones de veces más energía. Cuando un parque solar llega al fin de su vida útil después de 25-30 años, una planta nuclear aún tiene por lo menos otros 25 años más para seguir generando energía. Sin lugar a dudas, el Due Diligence y prospecto de inversión hacia la *Energía Nuclear* no es cosa fácil, se necesita de mucha investigación, una magnífica planeación, atinadas negociaciones y como toda inversión un poco de buena suerte. Pero en caso de que los factores que acabamos de mencionar se lleven a cabo de manera favorable, esta alternativa de energía como proyecto de inversión a largo plazo, puede traer rendimientos altamente favorables.

Como todos los recursos energéticos, la *Energía Nuclear* tiene sus compensaciones, pero incluso en esos casos, la realidad es mucho mejor que las percepciones generales, el punto no es que la energía nuclear sea perfecta, sino que tiene un historial convincente. La *Energía Nuclear* tiene desafíos únicos y beneficios increíbles, entre estos últimos, se destaca, el alcance para generar las densidades energéticas demandadas actualmente, la magnitud energética para fácilmente fungir como sustituto de los combustibles fósiles e hidrocarburos y que puede ser considerada como una energía limpia en el sentido de que produce mucha energía por su pequeña huella física. Con esto llegamos a las dos preguntas principales de este caso de estudio:

¿Un proyecto enfocado en energías limpias y desarrollado en países emergentes puede ser realmente redituable y próspero?

¿La *Energía Nuclear* es la alternativa que tanto hemos estado buscando para salvar al mundo de las alteraciones irreversibles al cambio climático?

Para llevar a cabo este caso de estudio y poder resolver de manera satisfactoria nuestras dos preguntas, se desarrollará en una estructura de cuatro capítulos, como se describe a continuación:

El primer capítulo: “Mitos y Realidades de la Energía Nuclear” se desarrollará a través del método deductivo, este proceso parte de los análisis antes planteados, leyes y principios validados y comprobados por expertos y serán aplicados a casos particulares, buscando el poder desmentir o reforzar de la manera más transparente el potencial que tiene la *Energía Nuclear*.

El segundo capítulo: “Energía Nuclear vs Otras Energías (Petróleo, Carbón, Gas natural y Energías renovables)”, se basará en la documentación de múltiples casos, con distintos tipos de energías, a fin de realizar análisis comparativos para encontrar diferencias y relaciones.

El tercer capítulo y centro del caso de estudio, “Proyecto de Inversión en México” se utilizará un modelo financiero para poder resolver la segunda pregunta planteada inicialmente a través de datos duros. Dicho modelo, contará con la utilización de las *Nuclear Energy Economics* a modo de *drivers*, buscando establecer factores (de los cuales se tiene mayor control) como elementos secundarios y llegar así a cuatro diferentes escenarios bajo la variación del precio de venta: uno financieramente inaceptable, uno estresado, uno estable y uno financieramente aceptable, dentro de la augura de rangos de las cifras de los *Nuclear Energy Economics*.

El capítulo final, “El futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático”, se abordará mediante el método analítico, con base a los análisis financieros realizados se podrán establecer analogías para comprender conductas. Buscando concretamente poder plantear un escenario a futuro, bajo la implementación del prospecto de inversión del caso de estudio y poder predecir o encasillar todos sus alcanzables y consecuencias, tanto positivas como negativas y así poder plantear una respuesta o posible solución a nuestra primera pregunta de investigación.

Sin más que decir me gustaría invitarlos a continuar leyendo y platicarles un poco acerca de los mitos y realidades de la *Energía Nuclear*.

Capítulo 1

Historia de la Energía Nuclear, mitos y realidades

El origen de la Energía Nuclear

¿Alguna vez has estado en una discusión sobre *Energía Nuclear*? Si es así, seguramente lo has encontrado frustrante y confuso, así que intentaré explicar de la manera más simple el origen, mitos y realidades acerca de este tema.

Muchos de los grandes inventos de la historia tienen un origen militar. El caso de la *Energía Nuclear* no es una excepción. Todo comienza a finales de 1938, en los umbrales de la Segunda Guerra Mundial con el descubrimiento de la Fisión Nuclear. Fueron Otto Hahn y Lise Meitner, quienes pudieron deducir que, al bombardear el uranio con neutrones, éste capturaba un neutrón y se dividía en dos fragmentos, emitiendo una monumental cantidad de energía.

Tan solo cuatro años después del descubrimiento de la Fisión Nuclear un grupo de físicos nucleares dirigido por el gobierno de los Estados Unidos con el objetivo de encontrar algún uso y ventaja bélica se dio a la tarea de poner en marcha la primera reacción nuclear en cadena producida por el hombre. Los preparativos para este experimento fueron llevados a cabo con gran secreto; el objetivo de la investigación era la obtención de una reacción en cadena (en principio controlada) que permitiera el estudio de sus propiedades en vistas al posible desarrollo de una bomba atómica.

Después de inagotables esfuerzos realizados por los físicos encargados del experimento, el 6 de agosto de 1945, el mundo conoció la magnitud y el poder de la Energía Nuclear, se lanzaron las dos bombas nucleares que alterarían el rumbo de la historia. Little Boy fue lanzada sobre Hiroshima desde el avión Enola Gay y el 9 de agosto, Fat Man fue arrojada sobre Nagasaki.

Algunos años después de la conmoción y el horror por la Segunda Guerra Mundial y el uso de la bomba atómica, la *Energía Nuclear* prometía ser un pacífico subproducto de la nueva tecnología, que ayudaría al mundo a recomponerse. La imaginación de todo el mundo comenzó a volar, ¿Podría llegar a ser gratis la electricidad? ¿Podría ayudar la *Energía Nuclear* a asentarnos en la Antártida? ¿Habrían coches, aviones o casas nucleares? Parecía que se trataba sólo de unos pocos años de duro trabajo. Una cosa era cierta: el futuro era atómico.

Pocos años más tarde, hubo una especie de "resaca atómica", porque resultó que la *Energía Nuclear* era muy compleja y cara, convertir la física en ingeniería era fácil sobre el papel, pero difícil en la vida real. Además, las empresas privadas en ese momento consideraban que la *Energía Nuclear* era una inversión muy arriesgada ya que esta

requería de un monto inicial de inversión considerable con rendimientos a largo plazo. La iniciativa privada preferiría seguir con el gas, el carbón y el petróleo por sus redituables modelos a corto plazo. Sin embargo, hubo algunos políticos, gobiernos y líderes públicos que se resignaron a abandonar la promesa de la era atómica y de la nueva tecnología, la perspectiva de la electricidad baratísima, la perspectiva de ser independiente de las importaciones de petróleo y gas y en algunos casos un secreto deseo de poseer armas atómicas, proporcionando una fuerte motivación para seguir adelante.

El mejor momento de la *Energía Nuclear* llegó finalmente a principios de los 70, cuando la guerra en Oriente Medio hizo que los precios del petróleo se dispararan en todo el mundo. Ahora, el interés comercial y las inversiones hacia esta energía aumentaron a un ritmo deslumbrante, de hecho más de la mitad de todos los reactores nucleares que hay en el mundo fueron construidos entre 1970 y 1985.

¿Cómo funciona un Reactor Nuclear de agua ligera?

Pero ¿Cuál era el tipo de reactor que había que construir, dado el número de tipos diferentes que había para elegir? Un candidato perdedor sorprendente ganó el día, el reactor de agua ligera, sin ser muy innovador ni demasiado popular entre los científicos, pero tenía algunas ventajas decisivas: Estaba ahí, funcionaba y no era terriblemente caro. Entonces, ¿Qué hace un reactor de agua ligera? El principio básico es sorprendentemente simple:

Se calienta el agua usando una reacción en cadena artificial, la fisión nuclear libera varios millones de veces más energía que la que puede liberar cualquier reacción química, elementos realmente pesados al borde de la inestabilidad como el uranio 235, bombardeados con neutrones. El neutrón es absorbido, pero el resultado es inestable. La mayoría del tiempo, se divide inmediatamente en elementos más ligeros que se mueven rápido, algunos neutrones adicionales y energía en forma de radiación. La radiación calienta el agua circundante, mientras que los neutrones repiten el proceso con otros átomos, liberando más neutrones y radiación en una reacción en cadena estrechamente controlada. (Muy diferente de la veloz y destructiva reacción fuera de control de una bomba atómica). En el reactor de agua ligera, se necesita un moderador para controlar la energía de los neutrones. El agua normal y corriente hace el trabajo, lo cual es muy práctico ya que el agua se utiliza para impulsar las turbinas de todos modos. El reactor de agua ligera llegó a ser frecuente porque es simple y barato. Sin embargo, no es ni el reactor nuclear más seguro, ni más eficiente, ni técnicamente elegante [3].

La renovada fiebre nuclear apenas duró una década. En 1979, la planta nuclear de Three Mile Island en Pennsylvania escapó de una catástrofe por cuestiones milimétricas cuando su núcleo se fundió. En 1986, la catástrofe de Chernóbil amenazó directamente el centro de Europa con una nube radiactiva y en 2011, el desastre de la inundación de Fukushima provocó nuevas discusiones y preocupaciones. Mientras que en los inicios

de la década de 1980, 218 nuevos reactores de *Energía Nuclear* se pusieron en marcha, su número y proporción mundial de la *Energía Nuclear* de la producción de electricidad se ha estancado desde finales de los años 80.

La situación actual de la Energía Nuclear

Hoy en día, la *Energía Nuclear* constituye alrededor del 10% de la demanda de energía del mundo, existen alrededor de 439 reactores nucleares en 31 países, y cerca de 70 nuevos reactores están en construcción desde 2015 (la mayoría de ellos en países que están creciendo rápidamente). Generando un total de 160 nuevos reactores en todo el mundo; de los reactores existentes, la mayoría fueron construidos hace más de 25 años, con una tecnología bastante antigua, alrededor del 80% de estos reactores son de agua ligera. Muchos de los países que apostaron por esta energía en la época de la “fiebre nuclear” se enfrentan a dos opciones: la costosa situación de cambiar los antiguos reactores, posiblemente por modelos más eficientes pero menos probados, o un alejamiento de la *Energía Nuclear* frente a tecnologías más recientes o viejas con diferentes costos e impactos ambientales.

Ahora que ya sabemos un poco acerca de la *Energía Nuclear* y hemos entrado en contexto, me gustaría responder con información precisa las principales preguntas acerca de esta energía para que así el lector pueda hacer sus conjeturas y replantear si estas son mito o verdad.

“El mayor problema de la Energía Nuclear es la seguridad” ¿Qué tan propensa a accidentes es la Energía Nuclear?

Con la *Energía Nuclear* ocurre algo muy parecido a lo que ocurre con la aviación, aunque con diferente percepción social. Los accidentes aéreos causan un gran impacto mediático, generalmente un número elevado de víctimas mortales, y a pesar de esto todos sabemos que volar es la forma de transporte más segura. Sin embargo, la propaganda antinuclear ha conseguido su objetivo: trasladar a la población percepción de que la *Energía Nuclear* es más peligrosa que otras energías. Diversos estudios demuestran que la *Energía Nuclear* es la más segura de todas, en términos de muertes por unidad de energía generada incluyendo los accidentes, superando incluso a las renovables, por su menor siniestralidad laboral. Según la OMS, cerca de 4 millones de personas mueren cada año debido a la contaminación atmosférica producida por los combustibles fósiles. Sin embargo, el grave accidente nuclear de Fukushima, también con datos de la propia OMS, no mató a nadie por radiactividad y no se espera que aumenten los casos de cáncer en el futuro [4].

Eso no significa que no debamos poner todos los medios para evitar que se vuelva a producir un accidente nuclear. La industria de la Energía Nuclear ha mejorado la seguridad y el desempeño de los reactores y ha propuesto nuevos diseños de reactores más seguros (pero generalmente no probados) pero no hay garantía de que los reactores serán diseñados, construidos y operados correctamente. Los errores ocurren y los diseñadores de reactores en Fukushima, Japón, no anticiparon que un tsunami generado por un terremoto destruiría los sistemas de respaldo que se suponía tenían que estabilizar al reactor después del terremoto [5].

“Nos va a pasar lo mismo que en Chernóbil” ¿Cómo fue el accidente? ¿Puede repetirse?

La causa: El accidente de Chernóbil fue una combinación de un mal diseño de la central nuclear, que además no disponía de un recinto de contención, junto con los errores producidos por los operadores de la misma, dejando fuera de servicio voluntariamente varios sistemas de seguridad con el fin de realizar un experimento, en el marco de un sistema en el que el entrenamiento era escaso, y en el que no existía un organismo regulador independiente. La Unión Soviética no tenía un sistema independiente de inspección y evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares, es decir, un organismo regulador. El diseño de un reactor del tipo RBMK no hubiera sido nunca autorizado en los países occidentales. De hecho, nunca se ha construido un reactor de este diseño fuera de la antigua Unión Soviética. Las prácticas operativas de los reactores soviéticos no eran homologables a las de los países occidentales. En éstos, no hubieran sido nunca permitidas.

Efectos: Según el informe de la Organización Mundial de la Salud “Chernóbil, la verdadera escala del accidente” realizado a mediados de 2005, no llegan a 50 las defunciones atribuidas directamente a la radiación liberada por el accidente de Chernóbil; casi todas las muertes directas del accidente fueron de trabajadores de servicios de emergencia que sufrieron una exposición intensa y fallecieron a los pocos meses del accidente.

Después del accidente de la central nuclear de Chernóbil, las compañías eléctricas del mundo propietarias de las centrales nucleares fundaron la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO) con el objetivo de alcanzar los más altos niveles de seguridad y fiabilidad en la operación de las centrales nucleares, a través del intercambio de información técnica, de la comparación, emulación y comunicación entre sus miembros [6]

En el accidente de la central de Chernóbil se dieron una serie de circunstancias irrepetibles en las centrales occidentales. La falta de una cultura de seguridad, no contar con un organismo regulador y el hecho de que prevaleciera el poder político frente al conocimiento tecnológico, condujeron al accidente. A esto se une que este tipo de central, un reactor RBMK, no disponía de un recinto de contención donde habría quedado confinada la radiactividad, ya que el diseño no permitió la recuperación del control del reactor para evitar así la emisión de productos radiactivos a la atmósfera. Además, este tipo de reactor nunca habría obtenido la autorización para funcionar en los países occidentales. Desde este accidente, o bien se han parado definitivamente este tipo de reactores o se han perfeccionado gracias a los programas de mejora de la Unión Europea, Estados Unidos y Japón.

“La Energía Nuclear es sumamente contaminante” ¿Puede realmente esta Energía ser considerada como una Energía Verde?

Pues bien, solemos tender a confundir energías renovables con energía verde, y la diferencia está en que todas las energías verdes son renovables, pero no todas las energías renovables son verdes. Cuando hablamos de Energías Verdes nos referimos a recursos infinitos de fuentes no contaminantes y respetuosos con el medio ambiente. En este grupo destacan energías como la solar, la eólica, la mareomotriz, etc.

La *Energía Nuclear* al tener una fuente de energía finita no es considerada una Energía Verde; sin embargo es importante destacar que todas las fuentes energéticas (verdes y no verdes) tienen una repercusión medioambiental en algún momento de su ciclo de vida. Hoy por hoy, las únicas fuentes disponibles a gran escala que no emiten gases de efecto invernadero en su operación son las energías renovables y la *Energía Nuclear*.

Una central nuclear produce energía eléctrica mediante un proceso físico, la fisión del átomo de uranio. Según el informe del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la *Energía Nuclear* –tecnología que en su operación no produce emisiones de CO₂ y que en su ciclo completo de vida tiene unas emisiones medias de 12 g CO₂/KWh, similares a las de la energía eólica e inferiores a las de otras tecnologías renovables– juega un importante papel en la mayor parte de las sendas que limitan el calentamiento global a 1,5 °C. Por tanto, una central nuclear en su funcionamiento no envía a la atmósfera gases de efecto invernadero (óxidos de carbono, de azufre, de nitrógeno, etc.) ni otros productos de combustión, tales como las cenizas, que contribuyan al cambio

climático, a la acidificación de las lluvias, a la contaminación de las grandes ciudades, la destrucción de la capa de ozono o al efecto invernadero [7]. En cuanto a las “emisiones” de las torres de refrigeración, tan frecuentemente utilizadas como símbolo de la contaminación producida por las centrales nucleares, son sólo vapor de agua.

Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente, las centrales nucleares siempre han estado sujetas a un estricto control reglamentario institucional al que no están sometidas otras actividades industriales. Dicho marco reglamentario contempla todas y cada una de las fases que componen el ciclo de producción, así como la protección de los trabajadores, del público en general y del medio ambiente.

“La Energía Nuclear genera una alta cantidad de residuos peligrosos” ¿Qué son los residuos radioactivos y cuál es la relación de uso de materia prima para esta energía?

A diferencia de lo que muchos podrían pensar, la *Energía Nuclear* es probablemente la Energía más eficiente en cuanto a la generación de energía y su relación con el consumo de materia prima. Pues tan solo 5g de uranio llegan a generar la misma cantidad de energía que 1000kg de carbón, 565 litros de petróleo o 480m² de gas. Además, tomando en cuenta las 22 millones de toneladas de uranio que podrían obtenerse como subproducto de la explotación de los depósitos de fosfatos, los 4.000 millones de toneladas contenidas en el agua del mar, el desarrollo de nuevos reactores y el impulso de tecnologías avanzadas se puede asegurar que habrá disponibilidad de uranio por varios miles de años más.

El hecho de que la materia prima y por ende los residuos de esta energía sean muy pocos no los elimina del mapa. La *Energía Nuclear* genera residuos radioactivos, los cuales presentan dos propiedades; la primera es que en caso de no tener el tratamiento adecuado estos pueden ser muy peligrosos, ya que pequeñas cantidades de residuo pueden emitir radiación peligrosa para nuestra salud; la segunda, son muy duraderos, ya que pueden emitir radiación cientos o miles de años después. Pueden ser residuos de baja, media y alta actividad. Los de baja y media actividad dejan de ser nocivos pasados unos 300 años como máximo. Los de alta tardan miles de años en dejar de ser peligrosos. Los residuos que la *Energía Nuclear* genera son en un 90% de baja y media actividad y estos se almacenan de forma definitiva en lugares especiales. Con un sistema de almacenamiento que se basa, fundamentalmente, en la interposición de barreras de ingeniería (contenedores y celdas de hormigón) y barreras naturales y artificiales (capas

de cobertura) que aíslan de forma segura los residuos radiactivos durante el tiempo necesario para que se conviertan en sustancias inocuas.

Los residuos radiactivos pueden dejar de convertirse en un inconveniente porque tienen solución, actualmente ya se están reciclando parcialmente y se espera en las próximas décadas estos se puedan reciclar en su totalidad con los nuevos reactores de IV Generación.

Capítulo 2

Energía Nuclear vs Otras Energías (Petróleo, Carbón, Gas natural y Energías renovables)

¿Qué es la energía y como se clasifica?

La energía ha estado omnipresente todos los días de nuestras vidas y pudiera parecer algo exagerado pero sin ella no permaneceríamos vivos más que unas cuantas semanas. Las sociedades actuales, sea cual sea su nivel de bienestar, no pueden funcionar ni sobrevivir sin un abastecimiento adecuado y regular de energía, de forma que todo el proceso del ciclo energético constituye un apartado significativo del sistema económico mundial. También, por todo ello y por su carácter de “insustituible”, la energía es un factor geopolítico y geoeconómico que protagoniza las relaciones y la convivencia humana, con sus conflictos y sus logros. Pero no nos alarmemos y mejor vayamos desde el principio.

¿Qué es la energía? La energía es la capacidad que poseen los cuerpos para poder efectuar un trabajo a causa de su constitución (energía interna), de su posición (energía potencial) o de su movimiento (energía cinética). Es una magnitud homogénea con el trabajo, por lo que se mide en las mismas unidades, es decir en julios en el Sistema Internacional. Según la forma o el sistema físico en que se manifiesta, se consideran diferentes formas de energía: térmica, mecánica, eléctrica, química, electromagnética, nuclear, luminosa, etc. [8] En otras palabras; la energía es la consecuencia de la actuación mediante interacciones o intercambios de los cuatro tipos de fuerzas fundamentales de la naturaleza: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

Ahora que ya sabemos que es la energía, podemos proceder a como se clasifica y los criterios que contemplan su clasificación, ya que de otra manera generar una comparación entre los diferentes tipos de energías de manera directa no sería justo. A continuación, se presentan los tres tipos de clasificaciones:

- 1) Según sean o no renovables: Llamaremos fuentes de energía renovables a aquellas cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de otros planetas de nuestro sistema solar. Son la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y la biomasa. Las fuentes de energía no renovables son aquellas que existen en una cantidad limitada en la naturaleza. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface en un 94% con este tipo de fuentes: carbón, petróleo, gas natural y uranio.

- 2) Según su grado de disponibilidad: Fuentes de energía convencionales; si atendemos al segundo criterio de clasificación, llamaremos fuentes de energía convencionales a aquellas que tienen una participación importante en los balances energéticos de los países industrializados. Es el caso del carbón, petróleo, gas natural, hidráulica y nuclear. Por el contrario, se llaman fuentes de energía no convencionales, o nuevas fuentes de energía, a las que por estar en una etapa de desarrollo tecnológico en cuanto a su utilización generalizada, no cuentan con participación apreciable en la cobertura de la demanda energética de esos países. Es el caso de la energía solar, eólica, mareomotriz y biomasa.

- 3) Según sea la forma de su utilización: De acuerdo a su utilización las podemos clasificar en primarias y secundarias: Las primarias son las que se obtienen directamente de la naturaleza, como el carbón, petróleo y gas natural. Las secundarias, llamadas también útiles o finales, se obtienen a partir de las primarias mediante un proceso de transformación por medios técnicos. Es el caso de la electricidad o de los combustibles derivados del petróleo [9].

Para poder valorar una energía, se tiene que entender el contexto en la que se encuentra; solo así podremos identificar la clasificación de dicha energía para poder potencializar las ventajas y reducir las desventajas. En este caso de estudio nos estaremos enfocando en los competidores directos de la *Energía Nuclear*; fuentes de energía convencionales renovables (solar, eólica, hidráulica) y las fuentes de energía convencionales no renovables (petróleo, gas y carbón) comparando múltiples aspectos desde su origen, producción, materia prima, rendimiento energético, huella verde, etc. Sin más detalle, ¡vamos a ello!

¿Qué es la energía solar y cómo se aprovecha?

La energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, en donde es generada por un proceso de fusión nuclear. En el Sol se producen constantemente reacciones nucleares de fusión: los átomos de hidrógeno se fusionan dando lugar a un átomo de helio, liberando una gran cantidad de energía. La pequeña parte que llega a la Tierra, es además parcialmente reflejada hacia el espacio exterior por la presencia de la atmósfera terrestre.

La energía solar llega a la superficie de la Tierra por dos vías diferentes: incidencia sobre las áreas iluminadas (radiación directa) y/o por reflexión de la radiación absorbida por el

aire y el polvo atmosférico (radiación difusa). La primera es aprovechable de forma directa. Los colectores planos y las células fotovoltaicas aprovechan la segunda, en alguna medida.

La energía solar tiene la ventaja de ser una fuente energética inagotable a escala humana no contaminante y mediante tecnologías que logran su concentración, se pueden alcanzar temperaturas de hasta 3,000 °C, que en principio permiten poner en marcha ciclos termodinámicos de alto rendimiento. Sin embargo, también puede presentar múltiples inconvenientes; es discontinua y aleatoria por la variabilidad de la insolación. No garantiza el suministro energético continuo; su aprovechamiento exige disponer de sistemas de captación que ocupan grandes superficies de terreno y algunos de sus principales componentes son muy costosos. Por tanto la energía solar que llega a la Tierra es gratuita, pero su transformación en energía útil es muy costosa. En un artículo compartido por el Wall Street Journal, se comparó la inversión finlandesa en una nueva central nuclear con la inversión alemana en paneles solares, con el siguiente resultado: mientras que en Finlandia costará 7 centavos de dólar cada KiloWattio/Hora de energía nuclear, en Alemania el precio será de 32 centavos por la energía solar generada (casi cinco veces más cara). El artículo señala que, además, la vida útil de un panel solar es menos de la mitad comparado con una central nuclear y que los países que más han reducido sus emisiones de efecto invernadero son, precisamente, los que han invertido en energía nuclear, en especial Suecia y Francia.

¿Qué es la energía eólica y cómo se aprovecha?

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire, en donde la energía se obtiene al convertir el movimiento de las palas de un aerogenerador en energía eléctrica. Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento, las palas están conectadas al rotor, a su vez conectado al eje (colocado en el polo), que envía la energía de rotación al generador eléctrico. Este generador utiliza imanes para producir voltaje eléctrico y, por tanto, energía eléctrica.

La energía eólica es una de las fuentes de energía más limpias (después de la energía solar). Esto es así porque durante su proceso de generación no lleva implícito un proceso de combustión. Así, no produce gases tóxicos, ni residuos sólidos alguno. Para darnos una idea: Un aerogenerador alcanza una capacidad de energía similar a la de 1,000 Kg de petróleo [11].

Además, los costos de las turbinas eléctricas eólicas y el mantenimiento de la turbina son relativamente bajos. El costo por Kw producido es bastante bajo en las áreas muy ventosas. En algunos casos, el costo de producción es el mismo que el del carbón, e incluso la *Energía Nuclear*.

Por otra parte, es importante contemplar la otra cara de esta energía pues el viento es relativamente impredecible por lo que no siempre se cumplen las previsiones de producción, especialmente en unidades temporales pequeñas. Para minimizar los riesgos, las inversiones en este tipo de instalaciones son siempre a largo plazo, con lo que el cálculo del retorno de éstas es más seguro. Se entiende mejor este inconveniente con un dato: los aerogeneradores sólo funcionan correctamente con ráfagas de viento entre los 10 y los 40 Km/h. A velocidades menores la energía no resulta rentable y a mayores supone un riesgo físico para la estructura [12]. Además un parque eólico demanda extensiones de terreno grandes. El número de horas que una central eólica está disponible para producir energía eléctrica está en el orden de entre el 20% y el 30% de las horas del año, valor bajo si se compara con los de las centrales térmicas y nucleares que consiguen cifras hasta del 93%. Otro aspecto que limita su importancia es que, debido a la intermitencia del viento, no garantiza potencias para abastecimiento de puntas de demanda.

¿Qué es la energía hidráulica y cómo se aprovecha?

La energía hidráulica es el aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Esta se obtiene a partir de las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo. En su caída entre dos niveles del cauce, se hace pasar el agua por una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un alternador que la convierte en energía eléctrica.

La mayoría de las presas hidráulicas se destinan a la producción de energía eléctrica utilizando turbinas hidráulicas. Los países con gran potencial hidráulico y que disponen de caudales de ríos constantes y abundantes obtienen la mayor parte de la electricidad en centrales hidráulicas por sus grandes ventajas, entre ellas la de utilizar un recurso natural que solo hay que encauzar y es gratuito. Por otra parte, se trata del único recurso renovable almacenable, por lo que es muy útil para atender inmediatamente puntas de la demanda.

Pero también presenta inconvenientes, los emplazamientos hidráulicos suelen estar lejos de las grandes poblaciones, por lo que es necesario transportar la energía eléctrica producida a través de costosas redes de transmisión. Y por más “ilimitada” que se considere, la energía hidráulica no se utiliza más, a pesar de todas sus ventajas, porque para un aprovechamiento óptimo, precisa lugares geográficos muy concretos, y lo cierto es que la mayoría de esos lugares ya están siendo usados.

¿Qué es el carbón y cómo se utiliza?

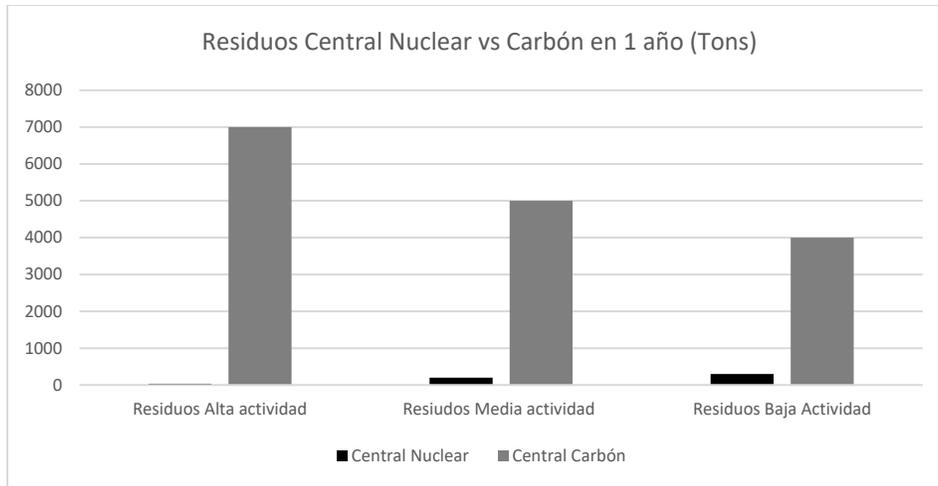
El carbón es un combustible fósil, resultado final de una serie de transformaciones sobre restos vegetales acumulados en lugares pantanosos, lagunas y deltas fluviales, principalmente durante el período carbonífero de la Era primaria.

Barbara Freese, abogada de derecho medioambiental y autora del libro “A human History”, describe el carbón como una “cuenta de ahorros solar” de miles de años, depositada en increíbles cantidades en el manto terrestre. La humanidad “abriría” esta particular cuenta bancaria en China, hace unos 3,500 años, cuando se registra el primer caso de utilización de carbón como fuente de combustible.

A lo largo de los años, diferentes civilizaciones alrededor del mundo utilizaron el carbón como fuente de energía, sin embargo el verdadero “boom” de este material llega hasta el siglo XVIII. Fue el carbón el responsable de encender, literalmente, la revolución industrial, al ser el principal combustible de toda la maquinaria de vapor que cambiaría la historia de la civilización humana para siempre.

Hoy día, el carbón es responsable de más de un tercio de la electricidad a nivel mundial. El hambre energética es lo que ha llevado a la escalación de las operaciones mineras a niveles que ponen en aprietos al medio ambiente. En 2015, el carbón aportó el 44.9% de todo el CO₂ generado por combustión.

El carbón y la *Energía Nuclear* son dos tipos de fuentes de energías que tienen características similares que a veces parecen ser las dos caras de una misma moneda. ¿En que se parece el carbón y la energía nuclear? En que estas dos fuentes de energía son muy utilizadas en el mundo para la generación de electricidad, son recursos abundantes y por ende la energía que producen es barata. Sin embargo, el carbón produce grandes cantidades de emisiones de CO₂ y las plantas nucleares generan solamente vapor. Hablando de la eficiencia energética de la materia prima y los residuos que generan; a continuación se presenta una gráfica en donde se comparan los residuos de una central nuclear y una central de carbón con la misma producción energética anual (1000 MWe).



Fuente: El gas natural, ¿el mayor enemigo de la energía nuclear? www.elmundo.es / Consultado el 22 octubre 2020.

Aunque ciertamente el uso de carbón se ha reducido en los últimos 3 años, no parece que sucederá ni remotamente tan rápido como se necesita para evitar los peores efectos del cambio climático. Barato, abundante y el más contaminante de los combustibles fósiles, el carbón todavía es la fuente más grande de energía para generar electricidad en todo el mundo.

¿Qué es el gas natural y que usos tiene?

El gas natural es una mezcla de gases entre los que se encuentra en mayor proporción el metano. La proporción en la que se encuentra este compuesto es del 75% al 95% del volumen total de la mezcla. El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón.

El desarrollo del empleo del gas natural se ha realizado con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural que aparecía en casi todos los yacimientos petrolíferos se quemaba como un residuo más. A pesar de su enorme poder calorífico no se podía aprovechar, por los grandes problemas que planteaban su almacenamiento y transporte.

La necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía, la puesta a punto de las técnicas de licuefacción de gas y procedimientos de soldadura de tuberías para resistir grandes presiones, han hecho posible la utilización de todos estos recursos energéticos.

El gas natural se utiliza como combustible doméstico e industrial: tiene un gran poder calorífico. Su combustión es regulable y produce escasa contaminación. Incluso la producción de CO₂ es poco mayor de la mitad de la producida por los restantes combustibles fósiles [14].

Hoy en día el gas natural juega un importante papel en la industria energética, según la Agencia Internacional de Energía (AIE), después del petróleo (32%), y el carbón (29%), el gas natural (21%) representa el tercer puesto en la combinación energética mundial.

El desarrollo y la producción de gas natural juega un papel sumamente importante con el desarrollo y crecimiento de la *Energía Nuclear* pues los mayores productores de gas natural (EE. UU., Rusia, Irán, Canadá, etc.) son también países que han apostado por la energía del núcleo. Así, el gas natural, es decir, la economía y no el medio ambiente es lo que pudiera amenazar con eliminar a la energía nuclear en EE. UU. y posiblemente, también en otros países, como China. Las cifras son irrefutables, una nuclear cuesta unos 1,500 dólares por kilovatio de potencia, una térmica de gas natural, 400 dólares [15].

Hay matices, sin embargo, el ciclo de vida de una central nuclear es entre 40 y 60 años de duración, mientras que el de una central de gas es de 35. Por otra parte, recordemos que la materia prima de gas es mucho menor al del uranio, por tanto, nadie sabe dónde va a estar el precio del gas en un mediano plazo.

Sí, el gas natural es más limpio que el carbón y el petróleo, pero esto no quita el hecho de que este genera importantes cantidades de azufre, mercurio y otras partículas, un combustible fósil con menor impacto ambiental, pero comparándolo directamente con la *Energía Nuclear* este libera metano que es perjudicial para el medio ambiente. Como puede atrapar el calor en la atmósfera, el metano contribuye al cambio climático. Aunque la duración del metano en la atmósfera es relativamente corta comparada con la de otros gases de efecto invernadero, es más eficaz a la hora de atrapar el calor que esos otros gases ya que este es hasta 84 veces más dañino para la atmósfera que el dióxido de carbono, atrapando el calor de manera más eficaz e intensificando el calentamiento global.

¿Qué es el petróleo y que usos tiene?

El petróleo se forma de manera muy parecida al carbón. Cuando las plantas y los animales que viven en el agua mueren, se depositan en el fondo de los océanos, estanques o pantanos. Estos restos fueron atacados en los fondos fangosos por

bacterias anaerobias que consumieron su oxígeno dejando únicamente moléculas de carbono e hidrógeno llamadas hidrocarburos.

Pero mientras el carbón requiere millones de años para formarse, el petróleo se forma en tan sólo un millón de años. A medida que aumenta la presión sobre diferentes materiales, se va formando el petróleo que, poco a poco, se introduce en las aberturas de las rocas o en rocas especiales llamadas rocas productivas. Las rocas productivas son porosas, lo que permite que se llenen de petróleo. El petróleo, tal como mana del pozo, tiene muy pocas aplicaciones. Para obtener los diversos derivados es necesario someterlo a un proceso de refinado, cuya operación principal es la destilación fraccionada. En ella obtenemos, a distintas temperaturas, toda una gama de productos comerciales a partir del petróleo bruto. Sustancias gaseosas tales como, metano, etano, propano y butano; líquidas como las gasolinas, el queroseno y el fuelóleo; sólidas como las parafinas y los alquitranes, se obtienen a distintas temperaturas en este proceso.

Una de las aplicaciones más importantes del petróleo es su utilización como materia prima en toda la industria petroquímica. El 60% de los productos químicos que se encuentran en el mercado y el 80% del sector orgánico proceden de la petroquímica. Abonos, plásticos, anticongelantes, detergentes, cauchos sintéticos, colorantes, explosivos, fibras plastificantes, disolventes son productos obtenidos a partir del petróleo [16].

Uno de los principales temas es que no solamente es altamente contaminante cuando se utilizan los múltiples derivados que se obtienen a raíz de la materia prima. Algo que no se toma en cuenta es que el proceso de extracción y refinado del petróleo para obtener gasolina y diésel es tremendamente contaminante. Pero ¿hasta qué punto? Esta pregunta la ha tratado de responder Auke Hoekstra en un artículo recientemente publicado en Innovation Origins. Para su sorpresa, después de investigar ha descubierto que este proceso es todavía más perjudicial para el medio ambiente de lo que creía inicialmente.

Basándose en un estudio que cubría el 98% de la producción mundial de petróleo, Hoekstra constató que extraer un barril de petróleo supone unas emisiones de unos 63 kg de dióxido de carbono (10.3 gramos de dióxido de carbono por mega joule). A esto habría que sumar el proceso de refinado, que supone agregar 10.2 gramos de dióxido de carbono por Mega joule para la gasolina y 5.4 gramos de dióxido de carbono por mega joule para el diésel.

El petróleo es de las pocas energías no renovables que afecta múltiples escenarios del planeta. El ecosistema dañino se ve altamente perjudicado cuando se produce el vertido, el hidrocarburo forma una mancha negra, una lámina que flota sobre el agua. Esta lámina impide que penetre la luz del sol y que se realice la fotosíntesis. Esto causa que los organismos primarios se vean afectados y con ellos toda la cadena alimenticia.

La contaminación por petróleo se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente.

La contaminación involucra todas las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos, que conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente. Afecta en forma directa al suelo, agua, aire y a la fauna y flora.

Daños al ecosistema terrestre; cuando la marea negra llega a las costas las playas se tiñen de negro y las rocas se cubren de una película de hidrocarburo. El crudo se introduce entre los granos de arena y penetra en el suelo, en este momento se produce la contaminación del terreno. Los seres vivos más afectados son los invertebrados que habitan en este ecosistema. Las poblaciones intersticiales que viven en este hábitat mueren. La película de crudo forma una capa que impide el crecimiento de nuevas plantas y animales cercanos a la playa.

¿Efectos del petróleo en el aire? El efecto invernadero. La combustión de petróleo es parte de los contaminantes atmosféricos, un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el gasóleo en los motores de los coches y camiones.

Todas las fuentes de energía son importantes, pero desde el punto de vista de su utilización concreta, las distintas fuentes de energía pueden ser o no ser sustitutivas entre sí. Por ejemplo, para la producción de energía eléctrica en una central podemos utilizar carbón, petróleo, gas natural o uranio. Sin embargo, en un proceso siderúrgico el uranio nunca podría sustituir al carbón, y como carburante los derivados del petróleo no pueden ser sustituidos por carbón, uranio, madera. Lo decisivo de una fuente energética de cara a su utilización en las economías modernas, es su capacidad para garantizar el abastecimiento. Esto impulsa a que sea, finalmente, la complementariedad de cada una de ellas, de acuerdo con sus características, la solución que se demanda para resolver esta exigencia social y económica.

Capítulo 3

Energía Nuclear como proyecto de Inversión en México

La capacidad económica de los países no solo depende de su productividad, también de su capacidad energética. Y en caso de no contar con dicha capacidad, las empresas tanto públicas como privadas no pueden crecer al no ser posible dotarlas de energía eléctrica.

México es el país número 14 en extensión territorial y el 11 en población. Se considera su economía como la doceava más grande del mundo por su PIB y la segunda en América Latina. Al ser el séptimo mayor productor de petróleo en el mundo, esto incide en su capacidad de energía, en la primera década del siglo XXI, el 93% de su energía provino de combustibles fósiles.

Suena demoledor este último dato y nos hace replantearnos la siguiente pregunta: ¿Cuál es realmente el potencial de México en energía renovable?

La energía renovable es la clave para lograr la soberanía energética de México, es decir, satisfacer las necesidades de energía de la mayor parte de la población y con recursos propios. Actualmente, más del 40% de los hogares del país están en situación de pobreza energética, es decir, no cuenta con los recursos energéticos necesarios para satisfacer sus necesidades básicas o destinan una parte elevada de sus ingresos a este rubro. Esta situación es parte de los cimientos de la desigualdad en México.

Las fuentes renovables son energía accesible, limpia y suficiente que puede mejorar sustancialmente la calidad de vida de la población y frenar el cambio climático. Además, son una alternativa que está totalmente a nuestro alcance, ya que México cuenta con abundantes recursos, suficientes para generar 100% de la energía consumida anualmente en el país, e incluso podría existir un excedente que podría ser exportado, de acuerdo con el reporte de *El potencial renovable de México. La soberanía energética que no se ve*, de Greenpeace.

A continuación, se presenta el ejercicio financiero de inversión de *Energía Nuclear* en un país emergente como lo es México. Primeramente, se explicará las características del proyecto, posteriormente, se abordan todos los supuestos que se tomaron en cuenta para poder dar vida a la corrida financiera y por último se explicarán los resultados obtenidos en el ejercicio.

Delimitando el proyecto:

El ejercicio fue estructurado para una Planta Nuclear con una capacidad de 1500MWh. Para darnos una mejor idea, un proyecto energético se mide por cuanta energía puede producir en una hora. Sin ninguna excepción, los parques solares, parques eólicos y plantas todos se dimensionan con base en cuanta energía por hora pueden producir. La medida de energía es el julio (Watts) y Mega es la unidad de conversión para poder utilizar cifras de manera más sencilla; 1MWh es equivalente a 1000000 julios. Por tanto, la planta que se busca desarrollar en este proyecto tiene la capacidad de producir 1'500,000,000 watts en una hora. ¿Y esto es mucho? Esta producción energética puede ser ubicada como el de una planta de media gama. Las centrales nucleares más grandes ubicadas en China, India, Rusia pueden llegar a generar alrededor de los 4000MWh a 5000MWh y las más pequeñas de unos 1000MWh.

Consideraremos la Central Nuclear del ejercicio con el antecedente global de media tabla, algo parecido a las plantas que podemos encontrar en países como Estados Unidos, Alemania y Francia.

Ahora que ya hemos delimitado la capacidad de la planta, profundizaremos en los siguientes supuestos:

Supuestos	Supuesto	Unidad	Justificación
	Costo Promedio de Construcción MXN	\$ 120,240,000,000	Se asumirá promedio de \$6000 costo por kw Para una planta de 1500MW
	Tiempo de construcción en años	6.00	Tiempo promedio 6 +- 2 años.
	Tasa de Descuento	10.6%	WACC calculada
	Tasa de Financiamiento	19%	Costo de fondeo de deuda soberana México a 10 años es del 10% iniciativa privada por esos montos Promedio entre 15-20% se utilizará 19%
	Tiempo de vida Económico en años	40	Una planta nuclear en promedio tiene una vida útil de 40 +- 5 años
	Costo de combustible (Anual) en MXN	\$ 115,920,000.00	Costo Uranio por MWh a la capacidad neta anual de la planta
	Ingreso (Anual) en MXN	\$ 65,696,832,000.00	Capacidad de planta por tarifa ponderada de precio energía en México
	Capacidad de Factor	92%	Promedio de 30 plantas en diferentes países: 85% +- 10
	Costos Operativos en MXN	\$ 172,619,667.78	Ponderado a KWh Comparativo Central Laguna Verde Vera Cruz
	Tipo de Cambio Promedio en MXN	\$ 20.04	Al 28 Noviembre del 2020
	ISR Promedio	30%	Impuesto Sobre la renta en México
	Inflación Promedio	3.5%	Inflación Promedio

Costo promedio de construcción:

Así como las centrales nucleares se miden por la capacidad energética que pueden producir, el costo de su construcción se maneja de la misma manera. Históricamente el precio promedio de una central nuclear va de los \$5500 + \$8100 USD por KW. Nos centraremos en un monto ligeramente por debajo del promedio de \$6000 USD por KW para el ejercicio financiero, por tanto, para una central de 1500Mwh la cantidad necesaria de dinero para su construcción será de \$6 Billones de Dólares (\$6,000,000,000). \$120,240,000,000 Expresado en pesos mexicanos con el tipo de cambio al día de la realización del ejercicio \$20.04 (28 de noviembre del 2020).

Tiempo de construcción

El tiempo medio de construcción para una Central Nuclear ronda entre los 4 a 8 años. Para el ejercicio financiero se tomó un promedio de construcción de 6 años con la siguiente distribución de gastos por año:

Año	Distribución Gasto
Año 1	25%
Año 2	25%
Año 3	20%
Año 4	10%
Año 5	10%
Año 6	10%

Tasa de descuento y tasa de financiamiento:

La tasa de descuento se calculó con base en las tasas de financiamiento definidas para proyectos de infraestructura en México. Se utilizó el caso del Tren Maya, la refinería de Dos Bocas para poder llegar a una tasa de financiamiento más precisa. De igual manera se hizo una segunda consulta, tomando la comparación con proyectos en otros países de montos de inversión parecidos en donde fondos de inversión de alto renombre como *BlackRock*, *Vanguard Group* y *JP Morgan Chase* tuvieron participación. La tasa definida para el caso de estudio fue del 19%, la cual esta ligeramente por encima del promedio de las tasas consultadas. Ahora bien, la tasa de descuento se calculó con la siguiente manera:

Tasa de descuento					
Rentabilidad financiera					
Año	E.N.	Mercado		R _m :	20.30%
2017	13.20%	17.00%		Varianza:	0.00045306
2018	14.80%	19.63%		Covarianza:	0.00015185
2019	15.00%	21.05%		Beta:	0.33516532
2020	15.00%	22.63%		Prima de riesgo:	4.997%
2021	15.00%	21.19%		K _{rp} :	10.3873%
R _c :	5.3900%				
Estructura de financiamiento:					
% financiamiento Capital	97.00%	95.00%	93.00%	91.00%	94%
% financiamiento Pasivos	3.00%	5.00%	7.00%	9.00%	6%
Tasa ISR	30%	30%	30%	30%	
K _{de} =		19.00%			
K _{de} =		10.39%			
WACC= [K _d *(1-T)*(Pasivo/(Pasivo+Capital))]+[K _{rp} *(Capital/(Pasivo+Capital))]					10.56%
WACC Fuente 1					8.66%
WACC Fuente 2					6.78%

Tiempo de vida económico:

Para el año 2000, más de 50 centrales nucleares habrán estado suministrando electricidad durante 25 años o más. La vida útil de la mayoría de las centrales nucleares oscila entre 25 y 55 años. Para el ejercicio financiero se tomo una vida útil del promedio al histórico de centrales nucleares,(los 40 años de vida útil)

Costo de combustible:

El costo del combustible se calculó de la siguiente manera:

Costo del combustible				
Planta Nuclear (MWh)	Costo Uranio (Tons)	Capacidad Energética 1 Tons Uranio (MW)	Uranio Requerido (Tons Año)	Costo de combustible
1500	\$ 200,449.00	425000	28.05	\$ 5,623,514.16

Primeramente, se hizo un cálculo de la materia prima necesaria para operar la capacidad energética de la planta, 1 tonelada de Uranio es capaz de producir 425,000 MW de energía.

Como segundo paso, se calculó la cantidad de Uranio necesario en un año de operación. Para esto se multiplicó la capacidad de la planta (1500MWh) x factor de capacidad (92%) x 24 x 360 (cantidad de horas de producción en un año). Obteniendo la módica cantidad de 28.05 toneladas de mercurio como consumo de combustible anual para operar la Central.

Como tercer paso, se busco el precio de venta promedio en los últimos años de este elemento, con lo cual se consideró un precio promedio de \$49USD por kg.



Fuente: Perspectiva Histórica del Uranio, www.elmundo.es / Consultado el 01 diciembre del 2020.

Finalmente, se hizo la multiplicación de la materia prima requerida por su precio de venta y con esto obtuvimos el costo anual de combustible.

Ingresos anuales:

Para el cálculo de los ingresos anuales se investigó como se vende la electricidad en México, la cual es controlada y regulada por la Compañía Federal de Electricidad (CFE). Este organismo tiene 3 diferentes tarifas de venta dependiendo el sector al cual va dirigido; baja, media y alta tensión. La primera enfocada en uso residencial y familiar, la segunda para negocios e industrias pequeñas y la última clasificación va dirigida a uso

industrial y de mayor escala. Fuentes del CEDOVE muestran las siguientes tarifas energéticas del año 2019:

Baja tensión \$.055 por KW hora, Media tensión \$.099 por KW hora y Alta tensión \$.071 con una participación de mercado de 36%, 9% y 55% respectivamente. Para obtener una tarifa media se realizó un ponderado entre las diferentes tarifas y su participación porcentual anual teniendo un precio promedio de venta de \$1.71 MXN por KW hora. Sin embargo, es importante destacar que la CFE no cuenta con la capacidad de suministrar por completo al país con electricidad, de hecho, empresas energéticas privadas generan cerca del 50% de la electricidad que consumen los mexicanos, una de las situaciones que ha criticado el actual Gobierno.

Los precios de venta por parte de los agentes privados hacia la CFE varían, aquí depende mucho la relación entre las instituciones. Factores como la promesa de compra venta a futuro, relaciones interpersonales, capacidad de cobertura y la inmediatez de servicio juegan un papel importante a la hora de determinar el precio de venta por KW hora. Estos precios rondan entre los \$30-\$200USD MWh. Para el ejercicio financiero se utilizará un precio de venta de \$4.5 MXN por KWh. El cual ronda por encima de los precios promedio de las instituciones financieras. (Aproximadamente un 35% por encima de la media)

Una vez que obtuvimos nuestro precio unitario de venta por KWh es cuestión de multiplicarlo por la capacidad energética de la Central Nuclear:

La energía en México se vende en diferentes tarifas dependiendo el sector; Baja (Domestico), Media y Alta Tensión. Tarifas de compra de energía CFE			
Tarifa	Venta (MXN) por Kwh	Venta 2019 (Gwh)	Porcentaje de Energía total en Mexico
Baja	\$ 1.57	54000	31.20%
Media	\$ 3.27	16200	9.4%
Alta	\$ 1.56	103000	59.5%

Precio Ponderado (MXN) por kwh	
\$	0.49
\$	0.31
\$	0.93
\$	1.73
\$	4.50
\$	4,500

Capacidad de factor:

El factor de planta (también llamado factor de capacidad) de una central eléctrica es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme a los valores nominales de las placas de identificación de los equipos. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo.

Como vimos anteriormente, la capacidad de factor promedio para una Central Eólica es del 37%, respectivamente para un parque solar es del 26%. En el caso de una Central

Nuclear este puede llegar hasta el 98%. Para este ejercicio financiero utilizaremos un factor de capacidad del 92% el cual es ligeramente inferior al promedio de las centrales nucleares actualmente activas.

Costos operativos:

Los costos operativos del ejercicio fueron simulados con el apoyo de los documentos “Informe sobre el Desempeño Anual 2017”, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) de la Central Nuclear de Laguna Verde, una planta actualmente activa en el estado de Veracruz. Esta Nuclear tiene una capacidad energética de 1620MWh, por lo que los costos administrativos y operativos fueron ajustados de manera porcentual a la capacidad energética de la planta del ejercicio financiero.

Costo de Operación		
Muebles de Oficina y Estantería		\$ 1,833,682.80
Equipo medio y de laboratorio		\$ 1,177,481.36
Mantenimiento maquina y equipo Agropecuario		\$ 111.30
Mantenimiento maquinaria y equipo Industrial		\$ 2,189,038.90
Mantenimiento equipo de comunicación y telecomunicaciones		\$ 1,914,688.90
Generación eléctrica y aparatos de accesorios Eléctricos		\$ 41,489,041.40
Otros Equipos		\$ 6,591,909.82
Remuneraciones al personal de carácter permanente		\$ 20,787,179.93
Remuneraciones al personal de carácter transitorio		\$ 10,984,195.08
Seguridad Social		\$ 13,771,217.79
Otras prestaciones sociales y económicas		\$ 45,471,765.47
Pago de estímulos a servidores públicos		\$ 43,625.17
Material de Administración y emisión documentos		\$ 855,154.14
Alimentos y utensilios		\$ 218,127.96
Artículos construcción y reparación		\$ 143,534.24
Vestuarios blancos y prendas de protección		\$ 181,582.41
Servicios básicos		\$ 2,615,590.56
Servicios Profesionales Científicos y Técnicos		\$ 2,876,732.59
Servicios instalación Reparación y Mantenimiento		\$ 5,083,796.16
Servicios Financieros y Bancarios		\$ 536,990.98
Otros servicios generales		\$ 3,268,081.37
Prima de seguros y Sinistros ocurridos		\$ 25,362.25
Protocolos de Seguridad		\$ 10,560,777.20
Total		\$ 172,619,667.78

Deuda:

La deuda generada en el año 6, equivalente a 200 mil MDP. Se amortizó a un esquema de pagos igualitarios para la vida útil de la planta, es decir 40 años. Con una tasa de interés anual del 19%. A continuación se presenta el ejercicio financiero y los montos de amortización anuales:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOP	\$ 200,319,840.00	\$ 195,311,844.00	\$ 190,303,848.00	\$ 185,295,852.00	\$ 180,287,856.00	\$ 175,279,860.00	\$ 170,271,864.00	\$ 165,263,868.00	\$ 160,255,872.00	\$ 155,247,876.00
Amortización	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00
EOP	\$ 195,311,844.00	\$ 190,303,848.00	\$ 185,295,852.00	\$ 180,287,856.00	\$ 175,279,860.00	\$ 170,271,864.00	\$ 165,263,868.00	\$ 160,255,872.00	\$ 155,247,876.00	\$ 150,239,880.00
Intereses	\$ 37,585,009.980	36633490740	35681971500	34730452260	33778933020	32827413780	31875894540	30924375300	29972856060	29021336820

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$ 150,239,880.00	\$ 145,231,884.00	\$ 140,223,888.00	\$ 135,215,892.00	\$ 130,207,896.00	\$ 125,199,900.00	\$ 120,191,904.00	\$ 115,183,908.00	\$ 110,175,912.00	\$ 105,167,916.00	\$ 100,159,920.00
\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00	\$ 5,007,996.00
\$ 145,231,884.00	\$ 140,223,888.00	\$ 135,215,892.00	\$ 130,207,896.00	\$ 125,199,900.00	\$ 120,191,904.00	\$ 115,183,908.00	\$ 110,175,912.00	\$ 105,167,916.00	\$ 100,159,920.00	\$ 95,151,924.00
28069817580	27118298340	26166779100	25215259860	24263740620	23312221380	22360702140	21409182900	20457663660	19506144420	18554625180

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
\$ 100,159,920,000.00	\$ 95,151,924,000.00	\$ 90,143,928,000.00	\$ 85,135,932,000.00	\$ 80,127,936,000.00	\$ 75,119,940,000.00	\$ 70,111,944,000.00	\$ 65,103,948,000.00	\$ 60,095,952,000.00	\$ 55,087,956,000.00
\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00
\$ 95,151,924,000.00	\$ 90,143,928,000.00	\$ 85,135,932,000.00	\$ 80,127,936,000.00	\$ 75,119,940,000.00	\$ 70,111,944,000.00	\$ 65,103,948,000.00	\$ 60,095,952,000.00	\$ 55,087,956,000.00	\$ 50,079,960,000.00
18554625180	17603105940	16651586700	15700067460	14748548220	13797028980	12845509740	11893990500	10942471260	9990952020

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
\$ 50,079,960,000.00	\$ 45,071,964,000.00	\$ 40,063,968,000.00	\$ 35,055,972,000.00	\$ 30,047,976,000.00	\$ 25,039,980,000.00	\$ 20,031,984,000.00	\$ 15,023,988,000.00	\$ 10,015,992,000.00	\$ 5,007,996,000.00
\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ 5,007,996,000.00
\$ 45,071,964,000.00	\$ 40,063,968,000.00	\$ 35,055,972,000.00	\$ 30,047,976,000.00	\$ 25,039,980,000.00	\$ 20,031,984,000.00	\$ 15,023,988,000.00	\$ 10,015,992,000.00	\$ 5,007,996,000.00	\$ -
9039432780	8087913540	7136394300	6184875060	5233355820	4281836580	3330317340	2378798100	1427278860	475759620

Una vez presentados de manera detallada los supuestos financieros, se procede con el ejercicio financiero. El cual fue prospectado a 40 años de operación más los 6 de construcción:

Ejercicio Financiero:

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos							\$ 53,654,400,000	\$ 55,532,304,000	\$ 57,475,934,640	\$ 59,487,592,352	\$ 61,569,658,085	\$ 63,724,596,118	\$ 65,954,956,882
Costo de Construcción	\$ (30,060,000,000)	\$ (30,060,000,000)	\$ (24,048,000,000)	\$ (12,024,000,000)	\$ (12,024,000,000)	\$ (12,024,000,000)							
Costo Operativos													
Costos Servicios							\$ (139,039,585)	\$ (143,905,970)	\$ (148,942,679)	\$ (154,155,673)	\$ (159,551,121)	\$ (165,135,411)	\$ (170,915,150)
Costo de Combustible							\$ (14,381,192)	\$ (15,405,492)	\$ (16,484,533)	\$ (17,624,684)	\$ (18,830,344)	\$ (20,102,344)	\$ (21,443,156)
Costos Variables							\$ (5,623,514)	\$ (5,820,337)	\$ (6,024,049)	\$ (6,234,891)	\$ (6,453,112)	\$ (6,678,971)	\$ (6,912,735)
Protocolo de Seguridad							\$ (19,198,891)	\$ (19,870,853)	\$ (20,566,333)	\$ (21,286,154)	\$ (22,031,170)	\$ (22,802,269)	\$ (23,600,340)
Beneficio Contable	\$ (30,060,000,000)	\$ (30,060,000,000)	\$ (24,048,000,000)	\$ (12,024,000,000)	\$ (12,024,000,000)	\$ (12,024,000,000)	\$ 53,476,156,818	\$ 55,347,822,307	\$ 57,184,303,496	\$ 59,289,970,950	\$ 61,651,119,934	\$ 64,206,540,540	\$ 66,735,850,601
Depreciación							\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
Costo de Financiamiento	\$ (5,711,400,000)	\$ (5,711,400,000)	\$ (4,569,120,000)	\$ (2,284,560,000)	\$ (2,284,560,000)	\$ (2,284,560,000)	\$ (37,585,009,980)	\$ (36,633,490,740)	\$ (35,681,971,500)	\$ (34,730,452,260)	\$ (33,778,933,020)	\$ (32,827,413,780)	\$ (31,875,894,540)
ISR							\$ 50,469,846,812	\$ 52,341,512,301	\$ 54,177,993,490	\$ 56,283,660,944	\$ 58,358,809,928	\$ 60,495,896,534	\$ 62,729,540,595
Beneficio después de In	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 15,140,954,044	\$ 15,702,453,690	\$ 16,253,398,047	\$ 16,885,098,283	\$ 17,507,642,978	\$ 18,148,768,960	\$ 18,818,862,178
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ (2,256,117,212)	\$ 5,567,870	\$ 2,242,623,943	\$ 4,668,110,401	\$ 7,072,233,929	\$ 9,519,713,794	\$ 12,034,783,876
Flujo de Efectivo Neto	\$ (35,771,400,000)	\$ (35,771,400,000)	\$ (28,617,120,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ 750,192,794	\$ 3,011,877,877	\$ 5,248,933,949	\$ 7,674,420,407	\$ 10,078,543,935	\$ 12,526,023,800	\$ 15,041,093,883

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
\$ 68,263,380,476	\$ 70,652,598,793	\$ 73,125,439,751	\$ 75,684,830,142	\$ 78,333,799,197	\$ 81,075,482,169	\$ 83,913,124,045	\$ 86,850,083,386	\$ 89,889,836,305	\$ 93,035,980,575	\$ 96,292,239,896	\$ 99,662,468,292
\$ (176,897,180)	\$ (183,088,582)	\$ (189,496,682)	\$ (196,129,066)	\$ (202,993,583)	\$ (210,098,358)	\$ (217,451,801)	\$ (225,062,614)	\$ (232,939,806)	\$ (241,092,699)	\$ (249,530,943)	\$ (258,264,526)
\$ (18,296,892)	\$ (18,937,283)	\$ (19,600,088)	\$ (20,286,091)	\$ (20,996,104)	\$ (21,730,968)	\$ (22,491,552)	\$ (23,278,756)	\$ (24,093,513)	\$ (24,936,786)	\$ (25,809,573)	\$ (26,712,908)
\$ (7,154,680)	\$ (7,405,994)	\$ (7,664,273)	\$ (7,932,522)	\$ (8,210,160)	\$ (8,497,516)	\$ (8,794,929)	\$ (9,102,752)	\$ (9,421,348)	\$ (9,751,095)	\$ (10,092,383)	\$ (10,445,617)
\$ (24,426,351)	\$ (25,281,274)	\$ (26,166,118)	\$ (27,081,933)	\$ (28,029,800)	\$ (29,010,843)	\$ (30,026,223)	\$ (31,077,140)	\$ (32,164,840)	\$ (33,290,610)	\$ (34,455,781)	\$ (35,661,733)
\$ (11,066,832)											
\$ 68,036,605,372	\$ 70,406,819,728	\$ 72,882,512,590	\$ 75,433,400,530	\$ 78,062,115,378	\$ 80,806,144,483	\$ 83,634,359,540	\$ 86,549,707,057	\$ 89,591,216,798	\$ 92,726,909,386	\$ 95,960,081,221	\$ 99,331,383,507
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ (30,924,375,300)	\$ (29,972,856,060)	\$ (29,021,336,820)	\$ (28,069,817,580)	\$ (27,118,298,340)	\$ (26,166,779,100)	\$ (25,215,259,860)	\$ (24,263,740,620)	\$ (23,312,221,380)	\$ (22,360,702,140)	\$ (21,409,182,900)	\$ (20,457,663,660)
\$ 65,030,295,366	\$ 67,400,509,722	\$ 69,876,202,584	\$ 72,427,090,524	\$ 75,055,805,372	\$ 77,799,834,477	\$ 80,628,049,534	\$ 83,543,397,051	\$ 86,584,906,972	\$ 89,720,599,380	\$ 92,953,771,214	\$ 96,325,073,501
\$ 19,509,088,610	\$ 20,220,152,917	\$ 20,962,860,775	\$ 21,728,127,157	\$ 22,516,741,612	\$ 23,339,950,343	\$ 24,188,414,860	\$ 25,063,019,115	\$ 25,975,472,038	\$ 26,916,179,814	\$ 27,886,331,364	\$ 28,879,522,505
\$ 14,596,831,456	\$ 17,207,500,746	\$ 19,892,004,988	\$ 22,629,145,787	\$ 25,420,765,420	\$ 28,293,105,034	\$ 31,224,374,814	\$ 34,216,637,316	\$ 37,297,213,374	\$ 40,443,717,426	\$ 43,658,456,950	\$ 46,969,887,791
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ 17,603,141,462	\$ 20,213,810,752	\$ 22,898,314,995	\$ 25,635,455,793	\$ 28,427,075,427	\$ 31,299,415,040	\$ 34,230,684,820	\$ 37,222,947,322	\$ 40,303,523,381	\$ 43,450,027,432	\$ 46,664,766,956	\$ 49,976,197,797

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
\$ 103,150,654,682	\$ 106,760,927,596	\$ 110,497,560,062	\$ 114,364,974,664	\$ 118,367,748,777	\$ 122,510,619,984	\$ 126,798,491,684	\$ 131,236,438,893	\$ 135,829,714,254	\$ 140,583,754,253	\$ 145,504,185,652	\$ 150,596,832,150
\$ (267,303,785)	\$ (276,659,417)	\$ (286,342,497)	\$ (296,364,484)	\$ (306,737,241)	\$ (317,473,044)	\$ (328,584,601)	\$ (340,085,062)	\$ (351,988,039)	\$ (364,307,621)	\$ (377,058,387)	\$ (390,255,431)
\$ (27,647,860)	\$ (28,615,535)	\$ (29,617,079)	\$ (30,653,676)	\$ (31,726,555)	\$ (32,836,985)	\$ (33,986,279)	\$ (35,175,799)	\$ (36,406,952)	\$ (37,681,195)	\$ (39,000,037)	\$ (40,365,038)
\$ (10,811,213)	\$ (11,186,606)	\$ (11,581,242)	\$ (12,006,116)	\$ (12,460,116)	\$ (12,940,330)	\$ (13,454,883)	\$ (13,994,742)	\$ (14,569,033)	\$ (15,178,064)	\$ (15,820,843)	\$ (16,504,404)
\$ (36,909,894)	\$ (38,201,740)	\$ (39,538,801)	\$ (40,922,659)	\$ (42,354,953)	\$ (43,837,376)	\$ (45,371,684)	\$ (46,959,693)	\$ (48,603,282)	\$ (50,304,397)	\$ (52,065,051)	\$ (53,887,328)
\$ (12,699,444)											
\$ 102,807,981,930	\$ 106,393,561,854	\$ 110,130,480,443	\$ 113,985,047,258	\$ 117,961,379,988	\$ 122,103,632,249	\$ 126,377,259,378	\$ 130,786,859,495	\$ 135,378,479,677	\$ 140,116,726,466	\$ 145,006,731,792	\$ 150,096,540,309
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ (19,506,144,420)	\$ (18,554,625,180)	\$ (17,603,105,940)	\$ (16,651,586,700)	\$ (15,700,067,460)	\$ (14,748,548,220)	\$ (13,797,028,980)	\$ (12,845,509,740)	\$ (11,893,990,500)	\$ (10,942,471,260)	\$ (9,990,952,020)	\$ (9,039,432,780)
\$ 99,801,671,924	\$ 103,387,251,847	\$ 107,124,170,437	\$ 110,978,737,252	\$ 114,955,069,982	\$ 119,097,322,243	\$ 123,370,949,372	\$ 127,780,549,488	\$ 132,372,169,671	\$ 137,110,416,460	\$ 142,000,421,786	\$ 147,090,230,302
\$ 29,940,501,577	\$ 31,016,175,554	\$ 32,137,251,131	\$ 33,293,621,176	\$ 34,486,520,995	\$ 35,729,196,673	\$ 37,011,284,812	\$ 38,334,164,847	\$ 39,711,650,901	\$ 41,133,124,938	\$ 42,600,126,536	\$ 44,127,069,091
\$ 50,355,025,927	\$ 53,816,451,113	\$ 57,383,813,366	\$ 61,033,529,377	\$ 64,768,481,527	\$ 68,619,577,350	\$ 72,562,635,580	\$ 76,600,874,902	\$ 80,766,528,270	\$ 85,034,820,262	\$ 89,409,343,230	\$ 93,923,728,432
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ 53,361,335,933	\$ 56,822,761,119	\$ 60,390,123,372	\$ 64,039,839,383	\$ 67,774,791,533	\$ 71,625,887,356	\$ 75,568,945,587	\$ 79,607,184,908	\$ 83,772,838,276	\$ 88,041,130,268	\$ 92,415,653,236	\$ 96,930,038,438

37	38	39	40	41	42	42	44	45	46
\$ 155,867,721,275	\$ 161,323,091,519	\$ 166,969,399,723	\$ 172,813,328,713	\$ 178,861,795,218	\$ 185,121,958,051	\$ 191,601,226,582	\$ 198,307,269,513	\$ 205,248,023,946	\$ 212,431,704,784
\$ (403,914,371)	\$ (418,051,374)	\$ (432,683,172)	\$ (447,827,083)	\$ (463,501,031)	\$ (479,723,567)	\$ (496,513,892)	\$ (513,891,878)	\$ (531,878,094)	\$ (550,493,827)
\$ (41,777,815)	\$ (43,240,038)	\$ (44,753,439)	\$ (46,319,810)	\$ (47,941,003)	\$ (49,618,938)	\$ (51,355,601)	\$ (53,153,047)	\$ (55,013,404)	\$ (56,938,873)
\$ (16,336,486)	\$ (16,908,263)	\$ (17,500,052)	\$ (18,112,554)	\$ (18,746,493)	\$ (19,402,620)	\$ (20,081,712)	\$ (20,784,572)	\$ (21,512,032)	\$ (22,264,953)
\$ (55,773,384)	\$ (57,725,453)	\$ (59,745,844)	\$ (61,836,948)	\$ (64,001,241)	\$ (66,241,285)	\$ (68,559,730)	\$ (70,959,320)	\$ (73,442,896)	\$ (76,013,398)
\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)	\$ (14,572,904)
\$ 155,349,919,219	\$ 160,772,593,488	\$ 166,414,717,216	\$ 172,239,232,318	\$ 178,252,522,494	\$ 184,506,971,640	\$ 190,964,715,648	\$ 197,632,869,836	\$ 204,566,177,520	\$ 211,725,993,733
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ (8,087,913,540)	\$ (7,136,394,300)	\$ (6,184,875,060)	\$ (5,233,355,820)	\$ (4,281,836,580)	\$ (3,330,317,340)	\$ (2,378,798,100)	\$ (1,427,278,860)	\$ (475,759,620)	\$ -
\$ 152,343,609,213	\$ 157,766,283,482	\$ 163,408,407,210	\$ 169,232,922,312	\$ 175,246,212,488	\$ 181,500,661,634	\$ 187,958,405,642	\$ 194,626,559,830	\$ 201,559,867,514	\$ 208,719,683,727
\$ 45,703,082,764	\$ 47,329,885,045	\$ 49,022,522,163	\$ 50,769,876,694	\$ 52,573,863,746	\$ 54,450,198,490	\$ 56,387,521,692	\$ 58,387,967,949	\$ 60,467,960,254	\$ 62,615,905,118
\$ 98,552,612,909	\$ 103,300,004,137	\$ 108,201,009,987	\$ 113,229,689,799	\$ 118,390,512,161	\$ 123,720,145,804	\$ 129,192,085,849	\$ 134,811,313,021	\$ 140,616,147,639	\$ 146,103,778,609
\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006	\$ 3,006,310,006
\$ 101,558,922,915	\$ 106,306,314,144	\$ 111,207,319,993	\$ 116,235,999,805	\$ 121,396,822,168	\$ 126,726,455,810	\$ 132,198,395,855	\$ 137,817,623,027	\$ 143,622,457,646	\$ 149,110,088,615

En el ejercicio podemos observar cómo los primeros 6 años son meramente de construcción y desarrollo del proyecto. A partir del año 7 comienza la operación de la Central y los flujos de efectivo son continuos con la excepción de que cada 3 años se tiene un protocolo de revisión de instalaciones y auditoría en la calidad de los procesos de la planta:

Año	Flujo	Flujo Descontado	Flujos Acumulados
\$ -	\$ (30,060,000,000)	\$ (35,771,400,000)	\$ (35,771,400,000)
\$ 1	\$ (30,060,000,000)	\$ (35,771,400,000)	\$ (71,542,800,000)
\$ 2	\$ (24,048,000,000)	\$ (28,617,120,000)	\$ (100,159,920,000)
\$ 3	\$ (12,024,000,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ (114,468,480,000)
\$ 4	\$ (12,024,000,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ (128,777,040,000)
\$ 5	\$ (12,024,000,000)	\$ (14,308,560,000)	\$ (143,085,600,000)
\$ 6	\$ 53,654,400,000	\$ 750,192,794	\$ (142,335,407,206)
\$ 7	\$ 55,532,304,000	\$ 3,011,877,877	\$ (139,323,529,329)
\$ 8	\$ 57,475,934,640	\$ 5,248,933,949	\$ (134,074,595,380)
\$ 9	\$ 59,487,592,352	\$ 7,674,420,407	\$ (126,400,174,972)
\$ 10	\$ 61,569,658,085	\$ 10,078,543,935	\$ (116,321,631,037)
\$ 11	\$ 63,724,596,118	\$ 12,526,023,800	\$ (103,795,607,237)
\$ 12	\$ 65,954,956,982	\$ 15,041,093,883	\$ (88,754,513,354)
\$ 13	\$ 68,263,380,476	\$ 17,603,141,462	\$ (71,151,371,892)
\$ 14	\$ 70,652,598,793	\$ 20,213,810,752	\$ (50,937,561,140)
\$ 15	\$ 73,125,439,751	\$ 22,898,314,995	\$ (28,039,246,146)
\$ 16	\$ 75,684,830,142	\$ 25,635,455,793	\$ (2,403,790,352)
\$ 17	\$ 78,333,799,197	\$ 28,427,075,427	\$ 26,023,285,074
\$ 18	\$ 81,075,482,169	\$ 31,299,415,040	\$ 57,322,700,114
\$ 19	\$ 83,913,124,045	\$ 34,230,684,820	\$ 91,553,384,934
\$ 20	\$ 86,850,083,386	\$ 37,222,947,322	\$ 128,776,332,256
\$ 21	\$ 89,889,836,305	\$ 40,303,523,381	\$ 169,079,855,636
\$ 22	\$ 93,035,980,575	\$ 43,450,027,432	\$ 212,529,883,069
\$ 23	\$ 96,292,239,896	\$ 46,664,766,956	\$ 259,194,650,025
\$ 24	\$ 122,031,155,620	\$ 49,976,197,797	\$ 309,170,847,822
\$ 25	\$ 126,302,246,066	\$ 53,361,335,933	\$ 362,532,183,755
\$ 26	\$ 130,722,824,679	\$ 56,822,761,119	\$ 419,354,944,874
\$ 27	\$ 135,298,123,542	\$ 60,390,123,372	\$ 479,745,068,246
\$ 28	\$ 140,033,557,866	\$ 64,039,839,383	\$ 543,784,907,629
\$ 29	\$ 144,934,732,392	\$ 67,774,791,533	\$ 611,559,699,162
\$ 30	\$ 150,007,448,025	\$ 71,625,887,356	\$ 683,185,586,519
\$ 31	\$ 155,257,708,706	\$ 75,568,945,587	\$ 758,754,532,105
\$ 32	\$ 160,691,728,511	\$ 79,607,184,908	\$ 838,361,717,013
\$ 33	\$ 166,315,939,009	\$ 83,772,838,276	\$ 922,134,555,289
\$ 34	\$ 172,136,996,874	\$ 88,041,130,268	\$ 1,010,175,685,558
\$ 35	\$ 178,161,791,765	\$ 92,415,653,236	\$ 1,102,591,338,794
\$ 36	\$ 184,397,454,477	\$ 96,930,038,438	\$ 1,199,521,377,232
\$ 37	\$ 190,851,365,383	\$ 101,558,922,915	\$ 1,301,080,300,147
\$ 38	\$ 197,531,163,172	\$ 106,306,314,144	\$ 1,407,386,614,291
\$ 39	\$ 204,444,753,883	\$ 111,207,319,993	\$ 1,518,593,934,284
\$ 40	\$ 211,600,320,268	\$ 116,235,999,805	\$ 1,634,829,934,088
\$ 41	\$ 219,006,331,478	\$ 121,396,822,168	\$ 1,756,226,756,256
\$ 42	\$ 226,671,553,080	\$ 126,726,455,810	\$ 1,882,953,212,066
\$ 43	\$ 234,605,057,437	\$ 132,198,395,855	\$ 2,015,151,607,921
\$ 44	\$ 242,816,234,448	\$ 137,817,623,027	\$ 2,152,969,230,948
\$ 45	\$ 251,314,802,653	\$ 132,198,395,855	\$ 2,285,167,626,804
\$ 46	\$ 260,110,820,746	\$ 137,817,623,027	\$ 2,422,985,249,831

VPN	\$ 30,107,438,923
Capital Requerido	\$ 200,319,840,000
TIRM	14.51%
Payback	16 años
Vida del Proyecto	40 años

Observaciones:

En la segunda imagen del ejercicio podemos observar como la tasa de financiamiento se aplica a los flujos de efectivo descontados y no es hasta el año 17 que los flujos comienzan a ser positivos.

El *payback* del proyecto como bien podemos intuir es hasta el año 17, en otras palabras, la empresa encargada de gestionar el proyecto no recibirá flujos de efectivo hasta el año 7 una vez que la planta este operando, y no es hasta el año 17 en donde se considera que el proyecto se ha pagado por sí solo.

Por otra parte, el capital requerido para financiar y poder gestionar le proyecto es de una cantidad de casi los 200 mil MDP. Casi el doble de lo que involucra la construcción de la planta por sí sola (\$ 120 mil millones de pesos). Una cantidad sumamente considerable tomando en cuenta que la construcción de solamente una central puede igualarse a la magnitud de proyectos de infraestructura como lo es el tren Maya (315 mil MDP) y la refinería de Dos Bocas (180 mil MDP).

En su caso la Tasa Interna de Retorno Modificada es ligeramente superior a los 14 puntos porcentuales, una cifra por encima de cualquier proyecto de infraestructura energética gubernamental. Tomemos como punto de comparación el caso de ENERFIN (Fondo de inversión en el sector Energético) la cual se puede invertir por CETES directo, sin embargo, esta cuenta con una tasa interna de retorno de 9.18%. Este ejercicio financiero presenta un retorno por encima del doble del promedio de los fondos de inversión de sector Energéticos actuales en México.

Los números no mienten, el ejercicio es rentable y cuenta con apetecibles rendimientos. Sin embargo, hay muchos focos rojos, y escenarios poco favorables para la inversión de *Energía Nuclear* en países subdesarrollados. A lo cual me gustaría ligar y profundizar con apoyo del mismo ejercicio en las conclusiones del caso de estudio.

Capítulo 4

Conclusiones del proyecto de inversión así como el futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático

A lo largo de este caso de estudio, hemos comparado y argumentado la *Energía Nuclear* con sus competidores energéticos actuales. Capítulo a capítulo hemos tratado de convencer al lector de que las Centrales Nucleares en países emergentes son una opción de proyecto de infraestructura que puede salvar a nuestro planeta de los irreversibles cambios en el cambio climático y a su vez ser altamente redituable. Pero, ¿Realmente esto es así? El proyecto, como lo muestra el modelo es redituable y genera aceptables rendimientos a largo plazo, sin embargo, hay algunos puntos que me gustaría dejar en claro y que dan mucho soporte al porque la inversión en *Energía Nuclear* es tan controversial.

Duración de la construcción:

La duración del proyecto (para que sea redituable) es bastante extensa y los flujos de efectivo positivos tardan más de lo pensado en llegar. Como punto de comparación, un parque solar o una planta eólica toman solamente 2 años en construirse, a diferencia de una Central Nuclear que su tiempo de construcción es de tres veces más (aproximadamente 6 años). La problemática de tener un tiempo de construcción tan prolongado es que el proyecto no genera ingresos hasta que esta terminado y en condiciones de operar, (para este ejercicio el sexto año del proyecto). En donde un presupuesto inicial de 120 mil MDP como costo de construcción, con el paso del tiempo y la tasa de financiamiento se incrementa a los 200 mil MDP. Prácticamente para el año 6, se tiene el doble de deuda y la Central ni siquiera ha comenzado a operar, un suceso o un factor independiente al proyecto sucede o se detona en este periodo de tanto riesgo y puede ser el final para un proyecto de esta índole.

Payback:

El tiempo que tarda una Central Nuclear en comenzar a tener flujos positivos es en promedio 17 años. Para el ejercicio financiero presentado en este estudio de caso el *Payback time* estuvo ligeramente por debajo del promedio (16.3 años). Esto nos habla de que los flujos y supuestos son congruentes al comportamiento de una Central Nuclear real, sin embargo, me gustaría recalcar que el *Payback time* es sumamente alto a comparación de sus competidores, 7.5 años en el caso de los parques solares y 6 para un parque eólico. A menor tiempo para alcanzar el periodo de reinversión en cualquier

proyecto existe una mayor iniciativa de inversión por parte de los fondos de inversión ya que el capital invertido corre menos riesgo.

Sensibilidad al precio de venta KWh

Hay un punto de inflexión para que los resultados dentro de la inversión en *Energía Nuclear* sean positivos. Y probablemente este sea el *Finding* más importante del caso de estudio, este es el precio al que se vende la energía.

El proyecto se ve afectado de manera total al precio en el que se vende la energía. Una variación o alguna irregularidad en el precio de KWh (por cuestión de centavos) en los años futuros al proyecto pueden generar que este no logre salir de la curva del interés al monto de la inversión inicial. Para este caso de estudio específicamente si la energía no se vende por arriba de los \$4.6KWh el proyecto no es rentable. A continuación, se presentan los flujos de efectivo descontados a diferentes tarifas con variaciones de centavos de MXN.

Año	Financieramente Inaceptable	Estresable	Estable	Financieramente Aceptable
	Flujos con Venta \$1 Kw	Flujos con Venta \$2Kw	Flujos con Venta \$4.5 Kw	Flujos con Venta \$5.5 Kw
1	\$ (35,771,400,000.00)	\$ (35,771,400,000)	\$ (35,771,400,000)	\$ (35,771,400,000.00)
2	\$ (71,542,800,000.00)	\$ (71,542,800,000)	\$ (71,542,800,000)	\$ (71,542,800,000.00)
3	\$ (100,159,920,000.00)	\$ (100,159,920,000)	\$ (100,159,920,000)	\$ (100,159,920,000.00)
4	\$ (114,468,480,000.00)	\$ (114,468,480,000)	\$ (114,468,480,000)	\$ (114,468,480,000.00)
5	\$ (128,777,040,000.00)	\$ (128,777,040,000)	\$ (128,777,040,000)	\$ (128,777,040,000.00)
6	\$ (143,085,600,000.00)	\$ (143,085,600,000)	\$ (143,085,600,000)	\$ (143,085,600,000.00)
7	\$ (171,547,247,205.50)	\$ (163,201,007,206)	\$ (142,335,407,206)	\$ (133,989,167,205.50)
8	\$ (198,769,623,728.97)	\$ (181,785,025,329)	\$ (139,323,529,329)	\$ (122,338,930,928.97)
9	\$ (224,813,143,083.61)	\$ (198,887,843,740)	\$ (134,074,595,380)	\$ (108,149,296,035.61)
10	\$ (249,526,411,846.06)	\$ (214,347,487,025)	\$ (126,400,174,972)	\$ (91,221,250,151.38)
11	\$ (272,969,126,201.15)	\$ (228,212,699,011)	\$ (116,321,631,037)	\$ (71,565,203,847.16)
12	\$ (295,137,604,731.74)	\$ (240,468,462,590)	\$ (103,795,607,237)	\$ (49,126,465,095.36)
13	\$ (316,005,320,761.49)	\$ (251,076,518,645)	\$ (88,754,513,354)	\$ (23,825,711,237.83)
14	\$ (335,567,797,558.44)	\$ (260,020,247,368)	\$ (71,151,371,892)	\$ 4,396,178,298.55
15	\$ (353,820,401,705.03)	\$ (267,282,447,258)	\$ (50,937,561,140)	\$ 35,600,393,306.95
16	\$ (370,734,826,130.15)	\$ (272,821,803,277)	\$ (28,039,246,146)	\$ 69,873,776,707.24
17	\$ (386,305,555,636.53)	\$ (276,619,336,984)	\$ (2,403,790,352)	\$ 107,282,428,300.18
18	\$ (400,526,881,994.94)	\$ (278,655,405,690)	\$ 26,023,285,074	\$ 147,894,761,379.55
19	\$ (413,368,562,802.33)	\$ (278,885,344,826)	\$ 57,322,700,114	\$ 191,805,918,090.27
20	\$ (424,823,912,184.54)	\$ (277,287,541,579)	\$ 91,553,384,934	\$ 239,089,755,539.30
21	\$ (434,886,010,261.83)	\$ (273,839,626,685)	\$ 128,776,332,256	\$ 289,822,715,832.35
22	\$ (443,522,508,869.31)	\$ (268,493,261,868)	\$ 169,079,855,636	\$ 344,109,102,638.16
23	\$ (450,725,404,194.82)	\$ (261,223,893,548)	\$ 212,529,883,069	\$ 402,031,393,715.41
24	\$ (456,486,412,292.77)	\$ (252,006,108,773)	\$ 259,194,650,025	\$ 463,674,953,544.32
25	\$ (460,770,891,676.97)	\$ (240,787,537,534)	\$ 309,170,847,822	\$ 529,154,201,964.41
26	\$ (463,569,356,626.59)	\$ (227,540,345,089)	\$ 362,532,183,755	\$ 598,561,195,292.24
27	\$ (464,871,989,420.54)	\$ (212,235,722,479)	\$ 419,354,944,874	\$ 671,991,211,815.45
28	\$ (464,641,648,748.94)	\$ (194,816,872,465)	\$ 479,745,068,246	\$ 749,569,844,530.31
29	\$ (462,867,184,461.00)	\$ (175,252,301,007)	\$ 543,784,907,629	\$ 831,399,791,083.03
30	\$ (459,537,056,150.65)	\$ (153,509,411,776)	\$ 611,559,699,162	\$ 917,587,343,537.42
31	\$ (454,611,395,230.15)	\$ (129,526,543,302)	\$ 683,185,586,519	\$ 1,008,270,438,447.01
32	\$ (448,077,184,004.79)	\$ (103,268,122,259)	\$ 758,754,532,105	\$ 1,103,563,593,851.06
33	\$ (439,920,949,160.57)	\$ (74,697,330,254)	\$ 838,361,717,013	\$ 1,203,585,335,920.24
34	\$ (430,099,844,200.64)	\$ (43,747,158,632)	\$ 922,134,555,289	\$ 1,308,487,240,858.00
35	\$ (418,598,757,914.68)	\$ (10,377,488,351)	\$ 1,010,175,685,558	\$ 1,418,396,955,121.01
36	\$ (405,402,050,200.00)	\$ 25,453,203,798	\$ 1,102,591,338,794	\$ 1,533,446,592,791.94
37	\$ (390,463,620,376.89)	\$ 63,817,807,511	\$ 1,199,521,377,232	\$ 1,653,802,805,119.77
38	\$ (373,766,012,377.73)	\$ 104,761,505,486	\$ 1,301,080,300,147	\$ 1,779,607,818,011.31
39	\$ (355,291,159,172.55)	\$ 148,331,061,817	\$ 1,407,386,614,291	\$ 1,911,008,835,280.10
40	\$ (334,989,401,250.83)	\$ 194,605,837,473	\$ 1,518,593,934,284	\$ 2,048,189,173,007.67
41	\$ (312,840,658,189.80)	\$ 243,636,653,890	\$ 1,634,829,934,088	\$ 2,191,307,246,167.74
42	\$ (288,824,146,751.94)	\$ 295,476,111,250	\$ 1,756,226,756,256	\$ 2,340,527,014,258.12
43	\$ (262,886,312,547.18)	\$ 350,210,694,485	\$ 1,882,953,212,066	\$ 2,496,050,219,098.23
44	\$ (235,004,140,053.41)	\$ 407,897,502,225	\$ 2,015,151,607,921	\$ 2,658,053,250,199.59
45	\$ (205,153,808,205.27)	\$ 468,595,631,553	\$ 2,152,969,230,948	\$ 2,826,718,670,706.59
46	\$ (177,271,635,711.50)	\$ 526,282,439,293	\$ 2,285,167,626,804	\$ 2,988,721,701,807.94

Con el ejemplo de la corrida en precios que se acaba de presentar, se puede entender el porque la inversión en *Energía Nuclear* es considerada tan riesgosa. Una inversión inicial sumamente alta que coloca el proyecto por debajo del agua durante los primeros 6 años. Con un periodo de recuperación bastante extenso (17 años) en donde la más mínima variación en los precios, ya sea por alguna reforma gubernamental, cambio de sexenio, apertura a competidores directos (por nombrar algunas) puede hacer que los flujos del proyecto sean muy volátiles.

TIRM:

Como se comentó en el capítulo anterior, la tasa interna de retorno del proyecto esta por encima de los retornos que ofrecen los proyectos energéticos gubernamentales. Sin embargo, tomando en cuenta el riesgo y el monto inicial de inversión pareciera que un 14.87% de retorno no le hace justicia a todo lo que el proyecto involucra. Por tanto difícilmente algún fondo de inversión o iniciativa privada pensaría en tomar el proyecto como apto para su portafolio de riesgo y rendimientos. Un proyecto con estas características debe tener el subsidio y garantías de la inversión de un Estado o entidad gubernamental.

Factores Independientes al ejercicio financiero:

Aunado a los puntos anteriores, como en todo ejercicio y proyección financiera es importante considerar aquellos factores que viven fuera de los números y que pueden repercutir en la buena gestión del modelo de inversión.

Sabemos que la *Energía Nuclear* ha tenido problemas en cuanto a temas de seguridad y protocolos de calidad. A pesar de que ya hemos demostrado y argumentado detalladamente en el capítulo 2 que un escenario parecido al de Chernóbil o Fukushima es prácticamente imposible que vuelva a suceder. No podemos descartar al 100% esta posibilidad y sobretodo no podemos quitar de la noche a la mañana la connotación negativa que tiene la sociedad con respecto a las Centrales Nucleares pues estos tabúes toman años en desaparecer.

Como segundo punto a los factores independientes del ejercicio financiero, un proyecto de infraestructura (sobre todo energético) esta sumamente condicionado al comportamiento y decisiones de los dirigentes del país de donde se encuentra. Sin el apoyo de los mismos será sumamente difícil poder tener un proyecto satisfactorio. Como vago ejemplo; una destinación de presupuesto en una refinería sobre la de energías limpias puede tumbar de un solo golpe este tipo de proyectos.

La respuesta a nuestras dos grandes preguntas del caso de estudio:

Como se propuso en la introducción de este caso de estudio, el objetivo era poder llegar a los indicadores, para poder responder con seguridad a nuestras dos grandes incógnitas:

¿Un proyecto enfocado en energías limpias y desarrollado en países emergentes puede ser realmente redituable y próspero?

Un proyecto enfocado en energías limpias desarrollado en países emergentes claro que puede ser realmente redituable, de esto no hay duda alguna. Los números no mienten y los rendimientos son bastante buenos. En cuanto a la “prosperidad” del proyecto esto no procedería. Existen demasiados factores (que se dan en mucho mayor probabilidad dentro de países emergentes) que repercuten en el encumbramiento del proyecto. Una alta inversión inicial, un periodo de *payback* bastante prolongado y una aguda sensibilidad en el cambio de precios del activo (el cual esta sumamente ligado a factores independientes) para los flujos de efectivo positivos, no son el escenario más alentador para países que tiene una economía inestable o que dependen de terceros para la definición de sus reformas energéticas o proyectos de infraestructura. Ahora bien, en perspectiva el ejercicio sigue siendo congruente y dando sentido al porque la mayoría de los países que invierten en *Energía Nuclear* son países de primer mundo o con economías estables y monedas muy fuertes.

¿La Energía Nuclear es la alternativa que tanto hemos estado buscado para salvar al mundo de las alteraciones irreversibles al cambio climático?

Como fundamentamos en el capítulo 1 y 2, la *Energía Nuclear* tiene increíbles cualidades; un factor de rendimiento que supera magnánimamente el de cualquier otro tipo de energía (incluso las no renovables). Una incomparable eficiencia de materia prima sobre combustible respecto a sus competidores directos y aunque no soluciona el problema de raíz, pues esta genera desechos radioactivos y sus reservas de materia prima no deja de ser un recurso finito, si puede ser la alternativa al período de transición de como se genera energía actualmente (fuentes no renovables a métodos energéticos más eficientes sin repercusiones medioambientales).

Me gustaría dejar en claro y a modo de respuesta para la segunda pregunta de nuestro caso de estudio, que la *Energía Nuclear* no es la solución a la situación tan desfavorable en la que hemos terminado como civilización. Pero sí que es la única alternativa que tiene el poder energético y eficiencia de materia prima finita para poder sustentar y dar

cobertura a nuestro desmedido estilo de vida generando las menores repercusiones al planeta tierra con la finalidad de sostener a la humanidad este periodo de transición que menciono anteriormente (2020-2050).

Los números y proyecciones de utilización energética en los próximos 30 años no están cerca de una disminución y la infraestructura en energía solar, eólica o hidroeléctrica están lejos de poder dar cobertura a lo que como civilización necesitaremos en un futuro. Por otra parte las energías no renovables, (petróleo, gas natural y carbón) no son opción pues estudios revelan que si seguimos utilizándola como lo hemos hecho en los últimos 50 años nuestra actual hogar, el planeta Tierra, en cuestión de años pueda pasar a ser algo inhabitable.

El futuro de la Energía Nuclear y su relevancia con el cambio climático

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) presentó su informe anual World Energy Outlook 2020, en el que indica que la producción de *Energía Nuclear* podría incrementarse en un 90 % en los mercados emergentes y en los países en desarrollo en el año 2030, si y solo si los gobiernos implementan políticas energéticas limpias al tiempo que se sigue ampliando los programas nucleares de China, Rusia, India y Oriente Medio.

El 2020 ha sido un año sin precedentes, y nos ha demostrado que en un abrir y cerrar de ojos una crisis como la del Covid-19 puede reconfigurar el futuro de todo tipo de industrias y sectores, la energía (sin ser la excepción) sugiere que en el Escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) –uno de los cuatro escenarios contemplados, que explora el efecto de un ambicioso cambio en las políticas energéticas- los gobiernos brindarían su apoyo a la energía nuclear mediante la extensión de las autorizaciones de explotación de las centrales, el desarrollo de nuevas construcciones hasta 2030 y el impulso a la innovación, incluyendo los reactores modulares pequeños (SMR por sus siglas en inglés).

Con este escenario de Desarrollo Sostenible se conseguiría que el sistema energético cumpliera los objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas, el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos y una mejora sustancial en la calidad del aire. Se añadirían entre 40 GW y 140 GW de nueva potencia nuclear en el periodo hasta 2030, principalmente en Rusia y China, países que ya han demostrado que pueden construir reactores en un plazo de cinco a siete años. De esta forma, China se convertiría en el país con el mayor parque nuclear por delante de Estados Unidos. Actualmente, el gigante asiático dispone de 49 reactores en operación y 12 en construcción. Sin embargo, la producción nuclear en las economías avanzadas disminuiría en un 10% en 2030 respecto a 2019.

Como comentamos anteriormente la demanda energética para 2050 se duplicará y a pesar de que se proyecta que la capacidad de generación eléctrica nuclear mundial aumentará a 496 GW para 2030 y a 715 GW para 2050 en el caso alto, representando un aumento del 25% sobre los niveles actuales para 2030 y un aumento del 80% en la capacidad para 2050. Aunque los números determinen de manera sumamente favorable a la *Energía Nuclear*, esta se encuentra muy por debajo de las alternativas renovables como lo son la energía eólica y solar. Sin lugar a dudas y a ojos de los expertos esta energía tiene futuro y un alto potencial, sin embargo su crecimiento es limitado y de cierta manera prudente ante los demás contendientes. ¿Será que solo unos pocos están dispuestos a aceptar el riesgo que esta inversión involucra? ¿Ya estamos listos para el futuro que viene? ¿Acaso estamos viviendo el fin de nuestra civilización como la conocemos? El futuro está más cerca de lo que creemos y no es ciencia ficción, nuestro destino yace en las estrellas, no por nuestra curiosidad o pasión por los viajes, sino para asegurarnos nuestra propia supervivencia.

Bibliografía

Artículos:

- [1] Galletti Vanessa, Wargny, TRABAJO DE INVESTIGACIÓN "Generación Nucleoeléctrica". Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. 1997, sf.
- [2] Tubb Katie, LA ENERGIA NUCLEAR PODRIA SER LA FUENTE DE ENERGIA LIMPIA QUE EL MUNDO NECESITA. EEUU. 16 septiembre 2017, sf.
- [3] Zarubin Bobby, NRC FACTS AT A GLANCE. Stanford University EE. UU.. Invierno 2015, pg. 28.
- [4] Garcia Alfredo, TRABAJO DE INVESTIGACIÓN "Desmontando mitos sobre la energía nuclear". España. Libre Mercado. 24/07/2020, sf.
- [5] Gusterson Hugh, THE LESSON OF FUKISHAMA. "Bulletin of the Atomic Scientists" EE. UU.. 6 de junio de 2013.

Libros:

Cravens GWYNETH, "Power to save the world The truth about Nuclear Energy" 2011 Oxford.

Páginas en internet:

- [6] Foro Nuclear / Preguntas y respuestas / Sobre Protección Radiológica y Radiación/ Chernóbil ¿Cómo fue el accidente? <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-proteccion-radiologica-y-radiacion/chernobil-como-fue-el-accidente/>. Consultado 1ro Octubre 2020.
- [7] Foro Nuclear / Preguntas y respuestas / Sobre Energía Nuclear y medio Ambiente / <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear-y-medio-ambiente/como-influye-la-energia-nuclear-en-el-medio-ambiente/> . Consultado 1ro Octubre 2020.
- [8] <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>

[9] <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>

[10] <https://www.wsj.com/articles/green-energy-wont-slip-on-cheap-oil-11587975878?mod=searchresults&page=9&pos=7>

[11] <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>

Estás en: [factorenergia](#) > [Blog](#) > [Eficiencia energética](#) > [Energía eólica](#). Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas.

[12] <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>